

PUCRS

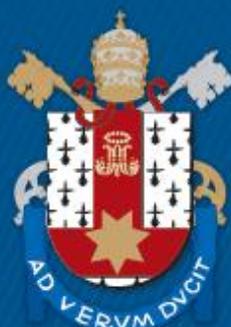
ESCOLA POLITÉCNICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA  
DOUTORADO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

CASSIANO SCOTT PUHL

**INTERAGINDO COM OS NÚMEROS COMPLEXOS: UM MATERIAL POTENCIALMENTE  
SIGNIFICATIVO PARA ACADÊMICOS DE ENGENHARIA**

Porto Alegre  
2021

PÓS-GRADUAÇÃO - *STRICTO SENSU*



Pontifícia Universidade Católica  
do Rio Grande do Sul

**CASSIANO SCOTT PUHL**

**INTERAGINDO COM OS NÚMEROS COMPLEXOS: UM MATERIAL  
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO PARA ACADÊMICOS DE ENGENHARIA**

Tese apresentada como requisito para a obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências e Matemática, da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Área de concentração: Tecnologias na educação em Ciências e Matemática

Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Valderez Marina do Rosário Lima

Coorientador: Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Isolda Gianni de Lima

**PORTO ALEGRE**

**2021**

**CASSIANO SCOTT PUHL**

**INTERAGINDO COM OS NÚMEROS COMPLEXOS: UM MATERIAL  
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO PARA ACADÊMICOS DE ENGENHARIA**

Tese apresentada como requisito para a obtenção do grau de Doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências e Matemática, da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Área de concentração: Tecnologias na educação em Ciências e Matemática

Aprovada em: \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Dra. Valderez Marina do Rosário Lima (Orientadora - PUCRS)

---

Dr. Alberto Bastos do Canto Filho (UFRGS)

---

Dra. Laurete Teresinha Zanol Sauer (UCS)

---

Dr. Lori Viali (PUCRS)

**PORTO ALEGRE**

**2021**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar sempre me guiando nas escolhas profissionais e pessoais, dando-me entusiasmo e força para concluir esta importante etapa de minha formação profissional. Em especial, agradeço a um anjo da guarda que me protege todos os dias, desde que soube da minha existência no seu ventre, minha falecida mãe Maria Laçalete Scott Puhl.

Aos meus pais, Paulino Puhl e Fátima Scott Puhl, por terem me ensinado a viver com simplicidade, dignidade, respeito e amor, além de sempre estarem ao meu lado, incentivando-me à contínua busca de aperfeiçoamentos dos meus conhecimentos.

À minha namorada, Paloma Neuschrack, que me acompanhou durante toda esta caminhada, com carinho, amor e palavras de incentivo, sem esquecer das inúmeras correções ortográficas realizadas.

À professora Thaísa Jacintho Müller, que me acompanhou como orientadora durante a maior parte da caminhada do doutorando.

À professora Valderez Marina do Rosário Lima, que aceitou me guiar, exercendo a função de orientadora nessa etapa final do doutorado, e que se mostrou sempre disposta a ajudar e sobretudo confiar no meu trabalho.

À professora Isolda Gianni de Lima, amiga e companheira na minha caminhada de formação profissional, como professora na licenciatura, como orientadora no mestrado e agora coorientadora no doutorado.

À professora Andréa Cantarelli Morales, por acreditar no potencial do MatElettric e aceitar utilizá-lo durante suas aulas, além de sempre se mostrar disposta a auxiliar na compreensão de conteúdos relacionados aos circuitos elétricos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Educação da PUCRS, os quais me transformaram como professor e pesquisador, proporcionando novos conhecimentos e novas possibilidades para futuras pesquisas.

A todos os que contribuíram, de alguma forma, para esta pesquisa, em especial, aos professores da banca de qualificação e aos da defesa, que proporcionaram momentos ricos de discussão e de aprendizagens.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa que apoiou financeiramente a realização desta pesquisa.

## RESUMO

Nesta tese, busca-se compreender o impacto da utilização do objeto de aprendizagem multimodal MatElettric no ensino de circuitos elétricos em corrente alternada para acadêmicos de Engenharia, a partir dos pressupostos teóricos da Teoria da Aprendizagem Significativa e da Resolução de Problemas. Essa investigação tem uma abordagem qualitativa, do tipo estudo de caso, cujo *corpus* foi analisado a partir da perspectiva metodológica da Análise Textual Discursiva. A tese defendida é de que os objetos de aprendizagem podem colaborar significativamente no processo de ensino de conteúdos se o material didático desenvolvido seguir as orientações de pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa integradas à estratégia da resolução de problemas. Na busca por esses entendimentos, realizou-se um estudo em uma instituição de ensino superior da Serra Gaúcha, na qual o MatElettric foi utilizado por uma turma de acadêmicos de Engenharia que estavam estudando o conteúdo de circuitos elétricos em corrente alternada. O MatElettric foi utilizado pelo professor como um material didático para introduzir conceitos gerais de circuitos elétricos em corrente alternada, mas também para estudar conteúdos considerados básicos, possibilitando uma base sólida de conhecimento para os acadêmicos aprenderem significativamente. Diante desse contexto, utilizaram-se diferentes instrumentos para construir os dados desta pesquisa: *slides*, que os acadêmicos avaliavam, o MatElettric; questionário virtual e entrevistas semiestruturadas respondidas por acadêmicos e pelo professor; e registros das observações das aulas virtuais. Dentre os resultados obtidos, constatou-se que, na elaboração de objetos de aprendizagem multimodais como material didático, em uma fase introdutória, faz-se pertinente contextualizar o conteúdo, mostrando a sua aplicação em situações reais, relacionando-os com a formação profissional dos acadêmicos, buscando assim motivá-los a realizar um esforço cognitivo para construir significados. A construção de significado implica considerar os conhecimentos prévios no processo de ensino, pois a aprendizagem ocorre no estabelecimento de relações não arbitrárias e não literais do conteúdo estudado com os conhecimentos dos acadêmicos. Diante disso, na elaboração de objetos de aprendizagem multimodais como material didático, deve-se dispor de organizadores prévios, para que os acadêmicos verifiquem o seu nível de entendimento dos conhecimentos considerados base para compreender o conteúdo didático, além de diferentes recursos didáticos para preencher lacunas de aprendizagem e ativar esses conhecimentos na sua estrutura cognitiva. Por fim, a resolução de problemas consiste em uma estratégia didática para unificar as etapas anteriores – de contextualização do conteúdo e de organizadores prévios –, permitindo que os

acadêmicos estabeleçam novas relações e compreendam conceitos mais específicos do conteúdo estudado. Portanto, tem-se a compreensão de que o tripé Teoria da Aprendizagem Significativa, Resolução de Problemas e Tecnologias Digitais constitui um pressuposto teórico com potencial para promover o protagonismo dos acadêmicos de Engenharia no processo de aprendizagem, superando assim um ensino transmissivo e repetitivo. Tal processo se dá por meio de diferentes recursos que proporcionam a construção de significados, além do desenvolvimento de habilidades e capacidades consideradas essenciais na sua formação profissional e pessoal.

**Palavras-chave:** Objetos de Aprendizagem Multimodais. Ensino em Engenharia. Teoria da Aprendizagem Significativa. Resolução de Problemas.

## ABSTRACT

This thesis seeks to understand the impact of the use of the MatEletric multimodal learning object used in the teaching of alternating current electrical circuits to Engineering students, based on the theoretical assumptions of the Meaningful Learning Theory and Problem Solving. This research has a qualitative approach, of the case study type, whose corpus was analyzed from the methodological perspective of Textual Discourse Analysis. The thesis defended is that learning objects can collaborate significantly in the process of content teaching, if the didactic material developed follows the orientations of the assumptions of the Meaningful Learning Theory integrated with the problem solving strategy. In the search for these understandings, a study was conducted in a Higher Education Institution in Serra Gaúcha, in which MatEletric was used by a class of Engineering students who were studying the content of alternating current electrical circuits. MatEletric was used by the professor as a didactic material to introduce general concepts of alternating current electrical circuits, but also to study contents considered basic, enabling a solid knowledge base for the students to learn significantly. Given this context, different instruments were used to build the data of this research: slides that the academics evaluated MatEletric; a virtual questionnaire and semi-structured interviews of the academics and the teacher; and the records of the observations of the virtual classes. Within the results obtained, it was found that in the elaboration of multimodal learning objects, as didactic material, in an introductory phase, it is pertinent to contextualize the content, showing its application in real situations, relating it to the professional training of the students, thus seeking to motivate them to make a cognitive effort to construct meaning. The construction of meaning implies considering previous knowledge in the teaching process, because learning occurs when non-arbitrary and non-literal relationships are established between the content studied and the students' knowledge. Therefore, in the elaboration of multimodal learning objects, as didactic material, it should have prior organizers for the students to verify their level of understanding of the knowledge considered as a basis for understanding the didactic content, besides having different didactic resources to fill learning gaps and activate this knowledge in their cognitive structure. Finally, problem solving is a teaching strategy to unify the previous steps - contextualization of content and previous organizers - allowing students to establish new relationships and understand more specific concepts of the content studied. Therefore, it has the understanding that the tripod of the Meaningful Learning Theory, Problem Solving and Digital Technologies are theoretical assumptions with potential to promote the role of the Engineering students in

the learning process, overcoming a transmissive and repetitive teaching, through different resources that provide the construction of meanings, the development of skills and abilities considered essential in their professional and personal training.

**Keywords:** Multimodal Learning Objects. Engineering Teaching. Meaningful Learning Theory. Problem Solving.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Mapa conceitual da organização didática do MatEletric .....	60
<b>Figura 2</b> – Número de artigos por evento mapeado .....	66
<b>Figura 3</b> – Número de dissertações sobre números complexos nas últimas décadas .....	68
<b>Figura 4</b> – Erro cometido por um estudante da pesquisa do A4.....	83
<b>Figura 5</b> – <i>Complex</i> , o recurso didático construído na D17 .....	85
<b>Figura 6</b> – Características relevantes para a criação do OAM .....	103
<b>Figura 7</b> – Aproveitamento nas resoluções do Grupo 1 .....	107
<b>Figura 8</b> – Aproveitamento nas resoluções do Grupo 2 .....	107
<b>Figura 9</b> – Aproveitamento nas resoluções do Grupo 3 .....	108
<b>Figura 10</b> – Classificação dos tipos básicos de estudos de casos. ....	119
<b>Figura 11</b> – <i>Homepage</i> do OAM.....	126
<b>Figura 12</b> – Características relevantes para a criação do OA.....	127
<b>Figura 13</b> – Radice fornecendo informações aos acadêmicos.....	128
<b>Figura 14</b> – Mapa <i>web</i> .....	129
<b>Figura 15</b> – MatEletric mostrando o significado geométrico das reatâncias .....	130
<b>Figura 16</b> – Tela de acesso ao organizador prévio de números complexos .....	131
<b>Figura 17</b> – Radice apresentando os conteúdos essenciais aos acadêmicos.....	133
<b>Figura 18</b> – Radice fornecendo dicas aos acadêmicos. ....	135
<b>Figura 19</b> – Radice lançando um desafio para o estudante .....	139
<b>Figura 20</b> – Radice e o estudante precisam estudar.....	139
<b>Figura 21</b> – Interface do “Show do milhão”.....	141
<b>Figura 22</b> – Sumário do MatEletric para agilizar o acesso aos conteúdos .....	153
<b>Figura 23</b> – Mapa <i>Web</i> do MatEletric .....	154
<b>Figura 24</b> – Tela do MatEletric que contextualiza o ensino de números complexos .....	159
<b>Figura 25</b> – Exemplo que relaciona números complexos com componentes elétricos .....	160
<b>Figura 26</b> – Gráfico que sintetiza a avaliação da qualidade de conteúdo do MatEletric .....	163
<b>Figura 27</b> – Exemplo de interação promovida pelo Radice .....	164
<b>Figura 28</b> – Gráfico que sintetiza a avaliação da acessibilidade do MatEletric .....	165
<b>Figura 29</b> – Tela do MatEletric em que estão texto e vídeo explicando o conteúdo.....	166
<b>Figura 30</b> – Exemplo de dica inserida no organizador prévio sobre números complexos....	173
<b>Figura 31</b> – Exemplo de <i>feedback</i> ao acertar ou errar no organizador prévio.....	175
<b>Figura 32</b> – Exemplo de aplicativo do GeoGebra para ensinar números complexos.....	178

<b>Figura 33</b> – Gráfico que sintetiza a avaliação da interatividade do MatElettric.....	179
<b>Figura 34</b> – Tela que mostra a modificação do sumário .....	183
<b>Figura 35</b> – Exemplo de tela mostrando o conteúdo que um acadêmico não compreendeu .	184
<b>Figura 36</b> – Exemplo de circuitos elétrico analisado pelos acadêmicos em aula.....	190
<b>Figura 37</b> – Exemplo de dicas dadas pelo Radice antes da resolução detalhada .....	191
<b>Figura 38</b> – Acadêmicos apresentando respostas ao exercício proposto pelo professor .....	197
<b>Figura 39</b> – Tela acrescentado após a aplicação do MatElettric aos acadêmicos.....	197
<b>Figura 40</b> – Gráfico que sintetiza a avaliação da efetividade do MatElettric .....	200
<b>Figura 41</b> – Exemplo de tela que mostra diferentes recursos para estudar um conteúdo.....	210
<b>Figura 42</b> – Diferentes recursos utilizados no MatElettric .....	211
<b>Figura 43</b> – Situação que causou estranheza ao acadêmico .....	212
<b>Figura 44</b> – Exemplos de recursos disponibilizados para sanar dúvidas dos acadêmicos ....	214
<b>Figura 45</b> – Imagens citadas no fragmento AS03F38 .....	218
<b>Figura 46</b> – Gráfico que sintetiza a avaliação da usabilidade do MatElettric .....	227
<b>Figura 47</b> – Tela que mostra a possibilidade de qualquer usuário avaliar o MatElettric .....	233
<b>Figura 48</b> – Gráfico que sintetiza a avaliação da apresentação do MatElettric .....	237
<b>Figura 49</b> – Gráfico que sintetiza a avaliação da interação do MatElettric .....	243
<b>Figura 50</b> – Modificações realizadas no MatElettric para destacar o ambiente do Fórum ....	244
<b>Figura 51</b> – Tela que mostra a incorporação de simuladores no MatElettric .....	248
<b>Figura 52</b> – Tela acrescenta no MatElettric para facilitar a navegação no MatElettric.....	251
<b>Figura 53</b> – Tela do MatElettric que mostra a disponibilização de um áudio .....	253
<b>Figura 54</b> – Problema relatado no fragmento AS04F30.....	254

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Relação da quantidade de pesquisas nos quadriênios de 1997 até 2019 .....	68
<b>Tabela 2</b> – Categorização dos temas das pesquisas desenvolvidas .....	69
<b>Tabela 3</b> – Comparação do índice de acertos em 2013 e 2017.....	109

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Relação das produções acadêmicas selecionadas para o mapeamento .....	73
<b>Quadro 2</b> – Informações sobre os participantes da pesquisa.....	98
<b>Quadro 3</b> – Conhecimentos dos acadêmicos considerando o tipo de escolaridade .....	110
<b>Quadro 4</b> – Tipos de erros em operações básicas .....	110
<b>Quadro 5</b> – Síntese dos instrumentos para a construção dos dados .....	116
<b>Quadro 6</b> – Codificação utilizada na presente pesquisa.....	124
<b>Quadro 7</b> – Relação de problemas apresentados aos acadêmicos.....	134
<b>Quadro 8</b> – A frequência dos fragmentos das categorias finais com suas subcategorias.....	144
<b>Quadro 9</b> – Pressupostos teóricos constatados nos relatos dos participantes da pesquisa ....	201
<b>Quadro 10</b> – Pressupostos teóricos constatados nos relatos dos participantes da pesquisa ..	228
<b>Quadro 11</b> – Pressupostos teóricos constatados nos relatos dos participantes da pesquisa ..	255

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RS	Rio Grande do Sul
UCS	Universidade de Caxias do Sul
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
OAM	Objeto de Aprendizagem Multimodal
PUCRS	Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
MEC	Ministério da Educação
EUA	Estados Unidos da América
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
RP	Resolução de Problemas
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCNEM	Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
TD	Tecnologias Digitais
OA	Objeto de aprendizagem
EAD	Ensino a Distância
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
SBEM	Sociedade Brasileira de Educação Matemática
ENEM	Encontro Nacional de Educação Matemática
SIPEM	Seminário Internacional de Pesquisa em Educação Matemática
CIEM	Congresso Internacional de Ensino da Matemática
CIBEM	Congresso Ibero-americano de Educação Matemática
SBC	Sociedade Brasileira de Computação
CBIE	Congresso Brasileiro de Informática na Educação
CIAED	Congresso Internacional ABED de Educação a Distância
TISE	Conferência Internacional sobre Informática na Educação
CINTED	Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
ABENGE	Associação Brasileira de Educação de Engenharia
COBENGE	Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia
ICECE	Congresso Internacional em Educação em Engenharia e Computação
ATD	Análise Textual Discursiva

AVA	Ambiente Virtual de Aprendizagem
IFRS	Instituto Federal do Rio Grande do Sul
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>25</b>
2.1 PRINCÍPIOS DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA .....	25
<b>2.1.1 Um pouco da vida de Ausubel .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.2 A Teoria da Aprendizagem Significativa .....</b>	<b>27</b>
2.2 RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS .....	39
2.3 OBJETOS DE APRENDIZAGEM MULTIMODAIS .....	48
2.4 A RELAÇÃO DOS PRESSUPOSTOS TEÓRICOS COM A INVESTIGAÇÃO.....	57
<b>3 ESTADO DO CONHECIMENTO.....</b>	<b>63</b>
3.1 MAPEAMENTOS TEÓRICOS .....	64
<b>3.1.1 Identificação .....</b>	<b>65</b>
<b>3.1.2 Classificação e organização.....</b>	<b>69</b>
<b>3.1.3 Reconhecimento e análise.....</b>	<b>78</b>
<b>3.1.4 Confluências e divergências com a pesquisa .....</b>	<b>86</b>
<b>4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>91</b>
4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO.....	91
4.2 MÉTODO DE PESQUISA.....	93
4.3 CONTEXTO DA INVESTIGAÇÃO .....	95
<b>4.3.1 A perspectiva de professores de Engenharia sobre os números complexos .....</b>	<b>97</b>
<b>4.3.2 O nível de compreensão de acadêmicos sobre números complexos .....</b>	<b>105</b>
4.3.2.1 Confluências entre os grupos de acadêmicos .....	109
4.4 INSTRUMENTOS PARA CONSTRUÇÃO DE DADOS.....	113
4.5 ESTUDO DE CASO.....	117
4.6 MÉTODO DE ANÁLISE.....	120
<b>5 ELABORAÇÃO DO MATELETRIC .....</b>	<b>126</b>
5.1 CAMINHADA HISTÓRICA .....	137
5.2 ESPAÇO DO VESTIBULANDO .....	137
5.3 FAZER E COMPREENDER .....	138
5.4 APOIO TECNOLÓGICO.....	140
5.5 ROTAS DE APRENDIZAGEM .....	140
5.6 QUEM QUER DINHEIRO? SHOW DO MILHÃO.....	141
5.7 FOCO NA TEORIA .....	142
5.8 CALCULADORA .....	142

5.9	APLICAÇÕES.....	142
5.10	FÓRUM DE DISCUSSÕES.....	143
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>144</b>
6.1	ORGANIZAÇÃO DIDÁTICA E DOS CONTEÚDOS.....	147
<b>6.1.1</b>	<b>Compreensões sintéticas da categoria.....</b>	<b>201</b>
6.2	ENSINO INDIVIDUALIZADO E AUTOAVALIAÇÃO DO CONHECIMENTO.....	206
<b>6.2.1</b>	<b>Compreensões sintéticas da categoria.....</b>	<b>227</b>
6.3	SUGESTÕES DE APERFEIÇOAMENTOS.....	232
<b>6.3.1</b>	<b>Compreensões sintéticas da categoria.....</b>	<b>255</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>261</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>269</b>
	<b>APÊNDICE A – INFORMAÇÕES DA BUSCA POR PERIÓDICOS.....</b>	<b>288</b>
	<b>APÊNDICE B – EXERCÍCIOS PARA OS ACADÊMICOS.....</b>	<b>290</b>
	<b>APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO AOS PROFESSORES DE ENGENHARIA.....</b>	<b>292</b>
	<b>APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO AOS ACADÊMICOS.....</b>	<b>294</b>
	<b>APÊNDICE E – COMPARAÇÃO ENTRE OS TIPOS DE ESCOLA.....</b>	<b>297</b>

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho é um seguimento, com avanços e aprofundamento, de uma pesquisa que iniciei<sup>1</sup> durante o curso de licenciatura, sendo um recorte de um estudo que vem sendo realizado há cerca de uma década. Desse modo, inicialmente, esta tese retrata um pouco do meu percurso profissional e acadêmico, explicitando circunstâncias que motivaram a investigação sobre o tema que envolve o ensino e a aprendizagem de números complexos no Ensino Superior.

No final de 2007, encerrava-se o meu ciclo como estudante do Ensino Médio, oriundo de uma escola pública de um município do interior do Rio Grande do Sul (RS). Como a maioria dos adolescentes, não tinha convicção da escolha da área em que iria me profissionalizar. Ser professor era considerado com especial interesse, e, mesmo não sendo uma profissão muito valorizada pela sociedade, optei por cursar Licenciatura Plena em Matemática na Universidade de Caxias do Sul (UCS). A escolha de ser professor de Matemática deve-se a dois motivos: a facilidade em compreender os conteúdos matemáticos e o apreço em promover aprendizagens. Naquela época, já tinha uma pequena experiência como professor, pois lecionava cursos de informática para crianças, adultos e idosos.

Passados cinco anos e já formado, em agosto de 2012, na minha cidade natal no interior do estado do RS, iniciei minha caminhada como professor da Educação Básica, lecionando Matemática para séries finais do Ensino Fundamental de uma escola pública. Minha concepção de professor não era a de alguém que, simplesmente, transmite informações, mas que forma cidadãos com habilidades e capacidades para se adaptarem às mudanças oriundas do avanço tecnológico e das demandas da atual sociedade. Contudo, de um modo geral, a escola e os professores não estão conseguindo atingir esse objetivo. Um indício disso são os recorrentes programas de reformas educacionais que presenciei nesse tempo enquanto professor: o Ensino Médio Politécnico no estado do RS (SEDUC, 2011); o Pacto Nacional pelo Fortalecimento do Ensino Médio (BRASIL, 2013), o Ensino Médio Inovador (BRASIL, 2014) e, recentemente, a criação da Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018).

As reformas educacionais trouxeram informações e a expectativa de qualificar os processos de ensino, melhorando, no geral, a educação brasileira. No entanto, a ruptura da

---

<sup>1</sup> Pelo caráter subjetivo referente à contextualização do percurso acadêmico-profissional e aos interesses do pesquisador, optou-se pelo uso do verbo na primeira pessoa do singular para a apresentação desta tese. Após a introdução, utiliza-se a forma impessoal.

cultura educacional – de um ensino meramente expositivo e a promoção de aprendizagens mecânicas – é uma transformação lenta, que já deveria ter acontecido e que poderia ser promovida pela predisposição do professor a repensar sua prática em sala de aula. A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é o programa mais recente e visa a efetivar essa transformação. A BNCC foi planejada em consonância com os princípios das Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica, indicando competências e habilidades consideradas fundamentais para os estudantes da Educação Básica (BRASIL, 2018).

Para colaborar nessa transformação, é necessário que o professor inove na sua prática, propondo estratégias didáticas que minimizem o ensino meramente expositivo e a aprendizagem mecânica. Em busca de contribuir nesse processo de mudanças, compartilho – em periódicos (PUHL; VIALI, 2020; DIAS; PUHL, 2020; PUHL; MÜLLER; VIALI; LAHM, 2018; PUHL; LIMA, 2018a, 2018b; PUHL; LIMA, 2017a; PUHL; FELTES, 2017; PUHL; LIMA, 2016) e em anais de eventos de Educação Matemática (PUHL; MÜLLER; LIMA, 2019a; FELTES; PUHL, 2018; PUHL; LIMA, 2017c; FELTES; PUHL, 2017; PUHL; VIGANÓ, 2016; FELTES; PUHL, 2016; PUHL; LIMA, 2015; RABER *et al.*, 2014; PUHL *et al.*, 2014) – estratégias didáticas e materiais potencialmente significativos para envolver os estudantes em processos que tenham potencial para promover uma aprendizagem ativa e significativa.

Além disso, observo que a BNCC propõe uma nova demarcação de conteúdos escolares, como, por exemplo, em relação aos números complexos, que deixam de ser incluídos nos estudos fundamentais do Ensino Médio (BRASIL, 2018). Alguns conteúdos matemáticos, como os números complexos, já estavam sendo evitados no ensino público, o que pode ter colaborado para que não constassem como conteúdos a serem desenvolvidos no Ensino Médio. Esse cenário pôde ser observado durante a licenciatura, no período de 2007 a 2012, quando constatei, por experiência própria, um hiato, em relação a conhecimentos matemáticos, entre os estudos propiciados na escola pública e na escola privada. Nas disciplinas específicas de Matemática, os estudantes de escola privada apresentavam um nível de conhecimento maior em relação aos de escola pública. Por exemplo, na licenciatura, na disciplina “Números Complexos e Equações Polinomiais”, fiquei espantado com o nome da disciplina, pois nunca havia estudado e nem escutado tais conteúdos. Nessa disciplina, tive o conhecimento da existência de um valor para a raiz quadrada de um número negativo e, conseqüentemente, que os conjuntos numéricos não se limitam aos números reais.

Esse fato causou-me incertezas e estranheza. Contudo, disposto a aprender sobre esse tipo de número, realizei um estudo histórico sobre as contribuições de diferentes matemáticos

para a formalização do conjunto dos números complexos. Durante a disciplina, observei que os colegas oriundos de escolas privadas apresentavam familiaridade com o conteúdo e, utilizando-o como conhecimento prévio, tinham melhores condições para aumentar o nível de compreensão, em termos de detalhamento e especificidade, sobre as propriedades e as operações com números complexos.

Além dessa disciplina, houve outra que abordou os conjuntos numéricos, denominada “Fundamentos dos Processos de Ensino e de Aprendizagem de Matemática”. Nessa disciplina, tendo um conhecimento geral sobre números complexos, pude estudar e compreender alguns conceitos específicos, relacionando-os em termos de diferenças e semelhanças com os conhecimentos prévios assimilados na disciplina anterior, enriquecendo-os e qualificando-os em um nível maior de compreensão. Como produto final dessa disciplina, criou-se um *site*<sup>2</sup> informativo sobre números complexos e com reflexões sobre algumas vertentes da Educação Matemática.

No final de 2012, com o término da licenciatura e o início da docência de Matemática em escola pública, senti necessidade de aperfeiçoar-me, em busca de compreender como ocorre o processo de aprendizagem e quais recursos e estratégias poderiam ser utilizados para qualificar o processo de ensino. Cabe ressaltar que, durante a licenciatura, estudei sobre a Epistemologia Genética de Piaget, sobre a didática do professor; porém, naquele momento da minha formação profissional, não conseguia estabelecer relação entre o conteúdo proposto no Ensino Superior e meus conhecimentos ou experiências prévias de docência. De fato, não havia conhecimentos para se estabelecer relações; ou seja, naquele momento, não conseguia construir significados para o contexto pedagógico, o que resultava em aprendizagens mecânicas. Provavelmente, por não ter havido interação entre conhecimentos e experiências prévias (subsunçores) com os novos conhecimentos, não houve, de minha parte, ação cognitiva e nem predisposição para aprender.

A partir da minha experiência com números complexos – a lacuna do Ensino Médio e as aprendizagens desenvolvidas no Ensino Superior –, decidi continuar aprendendo e investigando estratégias didáticas que os professores da Educação Básica utilizavam para ensinar tal conteúdo. Em 2013, ingressei na primeira turma de mestrado profissional do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da UCS. Na pesquisa do mestrado, criei um Objeto de Aprendizagem Multimodal (OAM) sobre números complexos,

---

<sup>2</sup> Disponível em: <https://sites.google.com/site/matematicacomplexa/>. Acesso em: 10 jan. 2019.

disponível virtualmente<sup>3</sup>, com diferentes espaços de aprendizagem e com uma rota de aprendizagem<sup>4</sup> que foi aplicada experimentalmente em uma turma do Ensino Médio.

Os espaços de aprendizagem do OAM foram construídos com base em: pareceres de professores do Ensino Básico e do Ensino Superior; coletadas por meio de questionários e de entrevistas; leituras de trabalhos e pesquisas com temáticas similares; participação em eventos de Educação Matemática; e em uma perspectiva própria de estratégias didáticas para a aprendizagem de números complexos. Os espaços de aprendizagem criados buscam contemplar as necessidades de diferentes estudantes, os quais podem ter ou não conhecimentos prévios e compreender em maior ou menor grau de especificidade o conteúdo de números complexos. Além disso, busquei diversos métodos e recursos para o estudante interagir com o OAM, contemplando a característica de um objeto de aprendizagem multimodal. Dentre eles, evidenciam-se ações como fazer leituras, resolver exercícios, assistir a vídeos e realizar atividades lúdicas.

A pesquisa realizada (PUHL, 2016) para esse fim apresentou evidências de que o ensino de números complexos pode ser desenvolvido de modo que os estudantes construam significados, a partir de seus conhecimentos prévios e de atividades desafiadoras e investigativas. A análise dos dados evidenciou a promoção de aprendizagem significativa de números complexos e uma avaliação favorável dos estudantes em relação ao OAM, que foi reconhecido como um material potencialmente significativo.

Essa pesquisa de mestrado proporcionou o contato com professores e acadêmicos de Engenharia de uma universidade da Serra Gaúcha, com base no qual se descortinou uma defasagem quanto às operações envolvendo números complexos e à compreensão de conceitos necessários para a resolução de problemas em disciplinas cujo foco seja, principalmente, a eletricidade. Nesse contato, observei que os ingressantes de cursos de Engenharia, em geral, não apresentam conhecimentos básicos sobre números complexos; além disso, constatei que não há uma disciplina que aborde esse conteúdo (MORALES; PUHL; LIMA, 2013).

Para atenuar o problema, professores universitários utilizam esse conhecimento como base para novas aprendizagens e, em virtude disso, optam por dedicar uma ou parte de uma aula para apresentar a definição de números complexos e mostrar como fazer operações nas formas algébrica e trigonométrica (PUHL; LIMA, 2014a, 2014b). Contudo, rápidas

---

<sup>3</sup> Disponível em: <http://numeroscomplexos.online/0.html>. Acesso em: 10 jan. 2021.

<sup>4</sup> “Rota de aprendizagem” é o termo escolhido para designar, neste trabalho, uma sequência didática. Escolheu-se essa expressão porque ela sugere um caminho que foi trilhado e que poderia ser modificado a qualquer momento, ajustando-se aos objetivos de ensino do professor ou de aprendizagem dos estudantes.

explanções dos professores dificilmente auxiliarão o acadêmico a aprender conceitos relativos ao conteúdo; isso por que, muitas vezes realizam um ensino meramente expositivo, devido à necessidade de utilizar esse conhecimento, e os acadêmicos, dessa forma, estão aprendendo de modo mecânico. Como consequência, observam-se dificuldades de aprendizagem em áreas como a da Engenharia Elétrica, por exemplo, uma vez que os números complexos simplificam o processo da análise dos componentes de circuitos elétricos em corrente alternada (MELLO, 2005; REIS, 2009; LIRA, 2014; JOHNSON, 2014; VILAS BOAS JUNIOR, 2014; CIPTOWIYONO, 2015; GERMANO, 2016; JESUS; TESTANI, 2016; SILVA, 2016; AGRICCO JUNIOR, 2017; LINHARES, 2017; BIANCHINI *et al.*, 2017; LIMA, 2017; PORTOLAN, 2017; OLIVEIRA, 2018; CARNEIRO, 2019).

Diante desse cenário, cabe refletir sobre algumas questões: uma ou parte de uma aula expositiva é o suficiente para os acadêmicos compreenderem as propriedades de um novo conjunto numérico? Como os acadêmicos compreendem e aceitam a existência de um número que, possivelmente, para eles, não existia?

Em 2017, ingressei no doutorado do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), interessado em continuar investigando essa problemática, criando ou aperfeiçoando o OAM “Números Complexos: interação e aprendizagem” para servir como recurso de aprendizagem de números complexos no Ensino Superior, principalmente para acadêmicos de Engenharia. Desse modo, por meio da investigação da tese, desenvolveu-se um OAM denominado MatEletric<sup>5</sup>, que aborda o conteúdo de circuitos elétricos em Corrente Alternada (CA), com base na Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) e na estratégia didática da Resolução de Problemas (RP), para romper com o ensino meramente expositivo, buscando promover uma aprendizagem ativa e significativa. Assim, além de auxiliar os professores, propiciaram-se conteúdos e recursos para os acadêmicos se envolverem ativamente e construir significados a partir da interatividade<sup>6</sup> com o MatEletric.

As reformas educacionais propostas pelo Ministério da Educação (MEC) têm o objetivo de qualificar a educação básica brasileira, mas as mudanças propostas pela BNCC irão refletir no Ensino Superior, pois ela define um conjunto padrão de conteúdos escolares a

---

<sup>5</sup> MatEletric é o OAM desenvolvido e aplicado na presente pesquisa. Seu nome refere-se a uma fusão das palavras “matemática” com “elétrica”, sendo esse um dos objetivos do material didático, isto é, relacionar conceitos considerados básicos de Matemática com conteúdos específicos da Elétrica. O MatEletric está disponível virtualmente em <http://numeroscomplexos.online/mateletric.html>.

<sup>6</sup> A interatividade é a relação do usuário com a tecnologia, uma relação tecno-social, por meio do compartilhamento de informações e conteúdo pelas interfaces gráficas (BELLONI, 1999; TORREZANN; BEHAR, 2009). Em compensação, a interação é a relação entre dois ou mais indivíduos que ocorre por meio da comunicação (BELLONI, 1999; TORREZANN; BEHAR, 2009).

serem desenvolvidos em todas as escolas, sendo que os números complexos não são contemplados. Antes da BNCC, muitos conteúdos “clássicos” de matemática básica, já não estavam mais sendo abordados, ou mesmo superficialmente, devido à restrição da carga horária no currículo escolar.

Em relação ao estudo de números complexos, Batista (2004), Mello (2005), Mello e Santos (2005), Panaoura, Elia, Gagatsis e Giatalis (2006), Eli (2014), Pereira (2016) e Costa (2016) afirmam que é um conteúdo que dificilmente é proposto no Ensino Médio e, conforme apontam Nobre (2013), Chaves (2014), Guedes Junior (2016) e Avelar (2016), quando o assunto é abordado, geralmente não é compreendido pelos estudantes. O resultado da falta de conhecimento sobre os números complexos reflete-se na Educação Superior (COELHO, 2013), principalmente, para os acadêmicos de Engenharia, que necessitam desse conhecimento para simplificar o processo da análise dos componentes de circuitos elétricos em CA (MELLO, 2005; REIS, 2009; STUMP; ABAR, 2013; LIRA, 2014; VILAS BOAS JUNIOR, 2014; JOHNSON, 2014; CIPTOWIYONO, 2015; JESUS; TESTANI, 2016; GERMANO, 2016; SILVA, 2016; AGRICCO JUNIOR, 2017; LINHARES, 2017; LIMA, 2017; PORTOLAN, 2017; OLIVEIRA, 2018; CARNEIRO, 2019).

Considerando esse cenário do Ensino Superior e os resultados da pesquisa de mestrado, aprimoraram-se os estudos e desenvolveu-se o MatEletric, especificamente, para os acadêmicos de Engenharia. O MatEletric é um material didático, em forma de objeto de aprendizagem multimodal, que permite a realização de um procedimento experimental para o presente pesquisador construir dados e indicativos para confirmar a tese defendida. Diante disso, como pesquisa de doutorado, investigaram-se as possíveis respostas para o seguinte problema norteador: como é avaliado, por acadêmicos e um professor<sup>7</sup> de Engenharia Elétrica de uma universidade do Rio Grande do Sul, o objeto de aprendizagem multimodal MatEletric, na condição de material didático, utilizado no ensino de circuitos elétricos em corrente alternada?

Para responder a esse problema, considerei pressupostos teóricos de métodos qualitativos de investigação, negando a existência de uma realidade objetiva<sup>8</sup>, pois é impossível apresentar uma única resposta considerada verdadeira ao problema. Diante disso,

---

<sup>7</sup> O MatEletric foi aplicado em uma disciplina que estuda circuitos elétricos em CA, integrando no contexto natural da aula, sendo assim, na tese, têm-se as percepções dos acadêmicos e do professor titular da respectiva turma.

<sup>8</sup> A realidade objetiva é única, concreta e captável pelos sentidos, ou seja, é o que está presente no mundo, independentemente do sujeito que conhece ou que faz parte desse contexto, derivada do senso comum (MORAES, 2007, 2018). Diante disso, “se entendermos que a realidade é algo dado, imutável em sua essência, acreditamos na possibilidade de construir teorias acabadas sobre ela, bastando para isto apenas investigar o suficiente” (MORAES, 2007, p. 198-199).

buscou-se compreender o fenômeno e, a partir disso apresentar os resultados que emergiram da investigação e do processo de análise dos dados construídos. A investigação tem o objetivo de avaliar o objeto de aprendizagem multimodal MatEletric, como um exemplo de material didático desenvolvido seguindo as orientações de pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa de forma integrada à estratégia da resolução de problemas, a partir das percepções de acadêmicos e de um professor de Engenharia Elétrica.

Esta investigação difere da maioria das teses porque, além da própria pesquisa, é compartilhado, com professores da Educação Básica e do Ensino Superior, um produto educacional, um OAM como um recurso para o ensino de números complexos, disponível virtualmente e de acesso gratuito, que integra rotas de aprendizagem. Apesar do estudo já ter sido compartilhado em eventos e periódicos que abordam a Educação Matemática, tem-se a expectativa de que o MatEletric seja utilizado por outros professores ou pesquisadores, fornecendo poderão fornecer seus *feedbacks* e seus resultados para planejar novas rotas de aprendizagem ou aprimorar os espaços e os recursos de aprendizagem.

Para atingir o objetivo da investigação, definem-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar lacunas de aprendizagem sobre conceitos e operações de números complexos constatados por outros pesquisadores;
- Identificar dificuldades que os acadêmicos apresentam sobre os números complexos e estratégias didáticas utilizadas pelos professores para superar essas dificuldades;
- Verificar o nível de compreensão sobre números complexos de acadêmicos de Engenharia de uma Instituição de Ensino Superior do Rio Grande do Sul, identificando e analisando erros cometidos nas operações matemáticas;
- Compreender a aplicação de números complexos na análise de circuitos elétricos em CA, como subsídio teórico para a construção do OAM;
- Construir um OAM, considerando pressupostos teóricos da Aprendizagem Significativa, com percursos de aprendizagem que abordem conceitos e operações para compreender e analisar circuitos elétricos em CA, considerando os pressupostos teóricos da Aprendizagem Significativa;
- Identificar, na perspectiva de acadêmicos e professores, as qualidades do MatEletric, em relação às características de um objeto de aprendizagem;

- Identificar, na perspectiva de acadêmicos e professores, evidências de que o MatEletric é um material potencialmente significativo para a análise de circuitos elétricos em CA.

Por meio desses objetivos pretende-se construir argumentos convincentes para defender a tese de que os objetos de aprendizagem podem colaborar significativamente no processo de ensino de conteúdos, se o material didático desenvolvido seguir as orientações de pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa de forma integrada à estratégia da resolução de problemas.

Em relação à organização da tese, além da introdução, o presente trabalho está estruturado com nove capítulos. Nesses capítulos abordam-se: os pressupostos teóricos considerados na pesquisa; o mapeamento de produções com temas relacionados; os procedimentos metodológicos; o processo de elaboração do MatEletric; os resultados da análise dos dados com os respectivos metatextos; as considerações finais; as referências; e os apêndices.

Nesta *Introdução*, busquei ressaltar a relevância e a justificativa para a realização da pesquisa, explicitando o objetivo geral, os específicos, o problema norteador desta investigação e a tese a ser defendida.

No segundo capítulo, *Educação matemática e suas tecnologias*, apresento o referencial teórico a ser utilizado na investigação e são abordados os pressupostos teóricos da aprendizagem significativa, a estratégia de resolução de problemas e a utilização de objetos de aprendizagem para qualificar os processos de ensino e de aprendizagem.

Na continuidade, como terceiro capítulo, é apresentado o *Estado do conhecimento*, em que é realizado um mapeamento teórico com base em anais, periódicos, dissertações e teses que se constituem como cenário das produções já realizadas sobre o uso de tecnologias para a aprendizagem de números complexos no Ensino Superior. Esse capítulo, além de mostrar o conhecimento já produzido sobre o ensino e a aprendizagem de números complexos, é elaborado com a intenção de apresentar indicativos de um estudo inédito que pode auxiliar professores e acadêmicos que precisam trabalhar com tais números. Além disso, o mapeamento forneceu informações e conhecimentos que foram agregados ao MatEletric.

No quarto capítulo, *Procedimentos metodológicos*, são descritos os métodos de pesquisa, sendo que o estudo de caso é apresentado como abordagem da investigação. Diante da escolha do estudo de caso, descreve-se o contexto no qual a investigação será realizada, além de definir o critério para a escolha dos participantes da pesquisa. Além disso, apresentam-se os instrumentos de coleta de dados e o método de análise.

No quinto capítulo, *Elaboração do MatEletric*, é detalhado o produto educacional, explicitando a importância dos recursos utilizados e da sua organização didática. Diante disso, faz-se necessário apresentar, brevemente<sup>9</sup>, os espaços de aprendizagem criados na pesquisa de mestrado (PUHL, 2016).

No sexto capítulo, *Discussão dos resultados*, apresento os resultados da análise, da qual derivou um método dedutivo, para o que produzi três metatextos das categorias que emergiram: i) *Organização didática e dos conteúdos*; ii) *Ensino individualizado e autoavaliação do conhecimento*; e iii) *Sugestões de aperfeiçoamentos*. Em cada categoria apresento indicativos que levaram os participantes considerarem o MatEletric um OAM potencialmente significativo para o ensino de circuitos elétricos em CA.

Nas *Considerações finais*, apresento uma síntese das compreensões construídas e da tese que defendo. Nessa etapa, faço uma retomada do problema investigação, ressaltando as compreensões construídas no decorrer do procedimento da análise. Em virtude de os resultados refletirem minha forma de entender as questões, eles são passíveis de críticas e discussões com o meio acadêmico. Além disso, aponto desdobramentos para futuros trabalhos e, ao final, as referências bibliográficas e os apêndices que também compõem a tese.

---

<sup>9</sup> Os espaços de aprendizagem desenvolvidos na pesquisa de mestrado não são apresentados em detalhes, pois a justificativa, os argumentos e o processo de criação de cada espaço constam na dissertação (PUHL, 2016).

## 2 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

Neste capítulo são descritos os fundamentos teóricos que alicerçam o planejamento e desenvolvimento desta pesquisa e que, posteriormente, sustentarão a análise dos dados. Ele foi organizado em quatro seções que abordam, respectivamente: (1) o processo de ensino, (2) a estratégia de resolução de problemas, (3) os objetos de aprendizagem multimodais (OAM) e (4) a relação entre os pressupostos teóricos da investigação.

Inicialmente aborda-se a Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Paul Ausubel (1918-2008), no que se refere aos conceitos estruturantes. Esse referencial serve como base teórica principalmente aos processos de ensino e aprendizagem: no que se refere ao ensino, com subsídios para planejamento do MatElettric; em relação à aprendizagem, com contribuições teóricas que servem de base para analisar as perspectivas dos participantes sobre o uso do MatElettric em sala de aula.

Esses pressupostos teóricos orientam a ação pedagógica com o intuito de que o estudante seja protagonista no processo de aprendizagem, sendo um sujeito ativo cognitivamente para construir conhecimentos<sup>10</sup>. Complementando essa perspectiva, utilizou-se a estratégia de resolução de problemas apoiada por tecnologias, ou seja, os problemas integrados à tecnologia dos OAM, para promover o envolvimento dos estudantes nos processos de ensino e de aprendizagem. Por fim, estabelecem-se relações entre os pressupostos teóricos considerados, mostrando as confluências com esta pesquisa.

### 2.1 PRINCÍPIOS DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Vários estudos auxiliam a compreender o processo de aprendizagem, como, por exemplo, os de Henri Wallon, Jean Piaget, Lev Semenovith Vygotsky, David Paul Ausubel, Paulo Freire, Gérard Vergnaud, Burrhus Frederic Skinner, Howard Gardner, entre outros. Nas teorias de Wallon, Piaget e Vygotsky, o processo de aprendizagem é caracterizado a partir de um indivíduo para o qual são considerados o sincretismo infantil-emoção, o desenvolvimento cognitivo, a interação social e a linguagem no desenvolvimento intelectual. Contudo, essas teorias, relevantes para compreender o processo de aprendizagem, não atribuem ênfase ao ensino e à aprendizagem com base nas ações promovidas em sala de aula.

---

<sup>10</sup> O conhecimento é compreendido como o “[...] produto significativo de um processo psicológico cognitivo (‘saber’) que envolve a interação entre ideias ‘logicamente’ (culturalmente) significativas, ideias anteriores (‘ancoradas’) relevantes da estrutura cognitiva particular do aprendiz (ou estrutura dos conhecimentos deste) e o ‘mecanismo’ mental do mesmo para aprender de forma significativa ou para adquirir e reter conhecimentos” (AUSUBEL, 2003, p. vi).

Reconhecendo os trabalhos desses pesquisadores, David Paul Ausubel desenvolveu a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), na qual define conceitos e características para facilitar a aprendizagem de conteúdos escolares. O ensino, considerando a TAS, tem o objetivo de promover a construção de significados dos conteúdos estudados, a partir de um contexto interessante e que considere os conhecimentos prévios dos estudantes.

### 2.1.1 Um pouco da vida de Ausubel<sup>11</sup>

A família Ausubel era de origem judaica e pobre e esteve presente em um intenso movimento, entre 1905 e 1914, em que cerca de 700 mil judeus migraram aos Estados Unidos da América (EUA). Nessa época, a família Ausubel era composta pelo casal Herman Ausubel e Lillian Ausubel e pela sua primeira filha chamada Mildred Ausubel. No dia 25 de outubro de 1918, em Nova Iorque, nasce o segundo filho do casal, chamado David Paul Ausubel<sup>12</sup>. Além dele, o casal teve mais dois filhos: Hillel Ausubel e Jean Ausubel.

Durante a infância de Ausubel, principalmente entre 1915 e 1944, os judeus eram perseguidos pelo movimento *Ku Klux Klan* que os culpava pelo aumento da criminalidade e do banditismo, alegando que essas práticas se desenvolveram a partir da ida dos europeus de classe baixa aos EUA. Diante disso, a escola também reprimia e castigava os estudantes judeus, esfregando sabão de lixívia na boca quando empregavam um palavrão, humilhando-os, ao deixá-los de pé em um canto, para servir de escarmento à classe e também obrigando-os a comer carne de porco, sendo que a ingestão desse tipo de carne é considerada crime pela lei judaica (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

Esse contexto motivou Ausubel, frustrado com a sua trajetória escolar, a investigar os processos de ensino e de aprendizagem e a propor a Teoria da Aprendizagem Significativa. Inicialmente, em 1939, Ausubel formou-se no curso de bacharelado em Psicologia pela *University of Pennsylvania*. No ano seguinte, realizou o mestrado *stricto sensu* na área em psicologia experimental na *Columbia University*. Em 1943, graduou-se em Medicina pela *Middlesex University*, realizando seu estágio de Medicina na Alemanha, prestando serviço de saúde pública aos EUA na realização de tratamentos médicos às pessoas deslocadas depois da Segunda Guerra Mundial. Nesse ano, Ausubel casou-se com sua primeira esposa, Pearl Leibowitz, com a qual teve dois filhos: Fred Ausubel e Laura Ausubel. Continuando seus

---

<sup>11</sup> O conteúdo dessa seção está publicado na revista *Dynamis*, cujo tema é “As contribuições de David Ausubel para os processos de ensino e de aprendizagem” (PUHL; MÜLLER; LIMA, 2020a).

<sup>12</sup> David Paul Ausubel será chamado somente pelo seu sobrenome Ausubel no decorrer do texto.

estudos, em 1950, tornou-se doutor em Psicologia do desenvolvimento pela *Columbia University* (DAVID P. AUSUBEL, 2019).

Após a sua formação acadêmica, Ausubel trabalhou em diversas universidades. Como docente, atuou na *Long Island University* (1948-1949), na *University of Illinois* (1950-1966), no *Ontario Institute for Studies in Education* e na *University of Toronto* (1966-1968). Também foi professor e diretor do Programa em Psicologia Educacional na *City University of New York* (1968-1973), entre outras (DAVID P. AUSUBEL, 2019).

Em 1973, Ausubel se aposenta da vida acadêmica para dedicar tempo integral à sua prática psiquiátrica. Contudo, apesar de aposentado, ainda exerceu a função de professor visitante em algumas universidades, como na *University of Berne*, na Suíça (1977), e na *Hochschule der Bundeswehr*, em Munique, na Alemanha (de janeiro a junho de 1980). Após 1980, publicou vários livros sobre psicologia do desenvolvimento e da educação, dependência de drogas, psicopatologia e desenvolvimento do ego. Além disso, publicou cerca de 150 artigos em periódicos psicológicos e psiquiátricos (DAVID P. AUSUBEL, 2019).

Em 1976, esse vasto estudo na Psicologia lhe redeu o prêmio *Thorndike Award from the American Psychological Association* por “Contribuições Psicológicas Distintas à Educação”. Antes de se aposentar da vida profissional, em 1994, casou-se com a sua segunda esposa, Glória George Ausubel, com a qual conviveu até o falecimento em 9 de julho de 2008, na cidade de Nova Iorque (FUNERAL INNOVATIONS, 2019).

Em relação aos estudos voltados para a área da Educação, destacam-se duas obras: *Psicologia educacional* (1968) e *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva* (2003). Nessas obras, Ausubel disserta sobre a TAS, que é voltada ao ensino e à aprendizagem no contexto escolar. Nessa teoria, o autor organizou princípios para a instrução e para o planejamento de materiais potencialmente significativos, visando a promover uma aprendizagem significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003). Essas obras são a base teórica contemplada nesta investigação, sendo que, na próxima seção, é apresentada uma releitura dos principais conceitos da TAS, adaptando-a para a atual sociedade e considerando-a como um meio para facilitar a aprendizagem, mas, principalmente, o ensino dos conteúdos escolares.

### **2.1.2 A Teoria da Aprendizagem Significativa**

Ausubel (2003, p. xi) compreende que a aprendizagem é “[...] o produto de um processo activo, integrador e interactivo entre o material de instrução (matérias) e as ideias

relevantes da estrutura cognitiva do aprendiz, com as quais as novas ideias estão relacionadas de formas particulares”. Em 1980, Ausubel, Novak e Hanesian já compreendiam a importância do conhecimento do aprendiz para o processo de aprendizagem, ao relatar relatam que se “[...] tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. viii).

Esses são alguns dos primeiros psicólogos a considerar o conhecimento prévio do estudante como um fator fundamental para a compreensão dos conteúdos escolares. Os conhecimentos prévios, que servem como base para a construção de novos significados são denominados de ideias de esteio<sup>13</sup> (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980) ou subsunçores<sup>14</sup> (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2008a, 2008b, 2011a, 2011b). Nesta tese, optou-se pela expressão “conhecimento prévio”, ao invés de “subsunçores”, por ser mais familiar e bastante utilizada por educadores e professores em geral.

Entretanto, cabe observar a frequência com que Ausubel se refere aos “subsunçores relevantes” em seu livro *Aquisição e retenção do conhecimento* (2003). Além disso, observa-se, nessa obra, que ele não utiliza a expressão “conhecimento prévio”, que está presente no prefácio do livro na edição portuguesa e com frequência no livro *Psicologia educacional* (1980).

No desenvolvimento da TAS, Ausubel explica que a aprendizagem significativa acontece quando o estudante apresenta e utiliza conhecimentos prévios, como apoio, para ancorar um novo conhecimento na sua estrutura cognitiva<sup>15</sup>, e se “[...] não houver esse conhecimento prévio não poderá haver aprendizagem significativa” (MOREIRA, 2008a, p.

<sup>13</sup> Essa é uma expressão que dificilmente aparece nas pesquisas sobre a TAS, mas é o termo utilizado no livro *Psicologia educacional* (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980), no qual define “esteio” como uma “[...] ideia relevante estabelecida (proposição ou conceito) na estrutura cognitiva com a qual novas ideias são relacionadas e em relação à qual os seus significados são assimilados no decurso de aprendizagem significativa. Como resultado desta interação, elas próprias são modificadas e diferenciadas” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 524).

<sup>14</sup> “Subsunçores” são entidades psicológicas, conhecimentos específicos e estáveis existentes na estrutura cognitiva dos estudantes. Eles permitem, por interação, ancorar novos conhecimentos e ampliar os que lhes serviram de apoio (NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003). Os subsunçores não se referem somente a conceitos ou a operações compreendidas pelos estudantes, mas podem ser concepções, construtos, imagens, proposições já incorporadas, representações ou modelos (MOREIRA, 2011a).

<sup>15</sup> A estrutura cognitiva refere-se ao “[...] conteúdo total e organização das ideias de um dado indivíduo; ou, no contexto da aprendizagem de assuntos, conteúdo e organização de suas ideias naquela área particular de conhecimentos” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 524). A organização dos conhecimentos no cérebro ocorre “[...] com articulações formadas entre vários elementos mais antigos e mais recentes conduzindo a uma hierarquia conceitual, na qual elementos menos importantes de conhecimentos são ligados (incorporados sob) a conceitos maiores, mais gerais e mais inclusivos” (NOVAK, 1981, p. 9-10).

16). Nesse processo de ancoragem, ocorre a interação entre aquilo que o estudante já sabe e um novo conceito, promovendo a construção de significados. Os novos conceitos são agregados ou incorporados na estrutura cognitiva, transformando-a e disponibilizando “novos” conhecimentos, em um nível mais elevado de especificidade e complexidade, para a realização de novas ancoragens (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003; MOREIRA; MASINI, 2006; MOREIRA, 1997, 2008a).

Diante disso, a TAS pressupõe que, quando o estudante, por meio de uma tarefa de aprendizagem – conforme a estratégia didática utilizada pelo professor –, estabelece uma relação, de forma não arbitrária e não literal (substantiva), entre uma nova informação e o seu conhecimento, possivelmente ocorre uma aprendizagem significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 1997). A elaboração de tarefas de aprendizagem é importante para a TAS, principalmente para contemplar duas características: a não arbitrária e a não literal (substantiva).

A não arbitrariedade consiste na “[...] propriedade de uma tarefa de aprendizagem (por exemplo, plausibilidade, não aleatoriedade) que a torna relacionável com a estrutura cognitiva humana no sentido abstrato do termo, em alguma base ‘sensata’” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 525). Essa propriedade remete à necessidade de considerar o conhecimento prévio, estabelecendo uma relação do conteúdo da tarefa de aprendizagem com aquilo que o estudante já sabe. O resultado dessa relação, da interação entre conhecimentos, promove alterações na estrutura cognitiva, ampliando-a (quantitativamente) e enriquecendo-a (qualitativamente). Desse modo, os conhecimentos podem ser consolidados, e não ficam como ideias soltas na estrutura cognitiva, de forma arbitrária, mas vão se modificando e reconstruindo, por meio da ação mental do estudante, para a compreensão de novos conceitos (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; BECKER, 1993, 2015; FRANCO, 2000; AUSUBEL, 2003).

A substantividade é uma “[...] propriedade de uma tarefa de aprendizagem que permite a substituição de elementos sinônimos sem mudança do significado ou alteração significativa no conteúdo da própria tarefa” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 527). Essa definição parece ser simples, mas é uma ideia fundamental e refere-se à compreensão da essência de um conceito, ou seja, a construção do significado de um conteúdo. O estudante, então, assimila, por meio dos seus conhecimentos, um novo, e não simplesmente o repete ou o compartilha da maneira como foi recebido (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; MOREIRA, 1997; AUSUBEL, 2003). Desse modo, a aprendizagem não consiste apenas na memorização de palavras e de números (literal), mas implica a

compreensão e a construção de significados (não literal) pelo estudante (AUSUBEL, 2003; MOREIRA; MASINI, 2006; MOREIRA, 1997, 2011b).

A substantividade e a não arbitrariedade são propriedades relacionadas, pois a compreensão do conhecimento – a construção do significado – ocorre na interação daquilo que o estudante já sabe com a nova informação, ou seja, ambos os conhecimentos se modificam; o novo constrói significado, e o prévio qualifica-se, em termos de complexidade, de generalidade e de especificidade (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2008a). Complementando esse entendimento, Novak (1981, p. 10) afirma que “[...] uma nova informação adquirida por aprendizagem significativa é armazenada de forma um tanto alterada (como produto de assimilação com conceitos subsunçores) e modifica (diferencia mais) os subsunçores aos quais está ligada”. Diante disso, o estudante vai organizando e ordenando hierarquicamente esses conhecimentos na sua estrutura cognitiva (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003).

As duas características, não arbitrariedade e substantividade, são relevantes para o processo de aprendizagem significativa por dois motivos. Em primeiro lugar, ao se proporem estratégias didáticas de conhecimentos arbitrários e no sentido literal, o estudante dificilmente constrói significados, mas é mais propenso a memorizá-los para serem utilizados em um curto período de tempo (AUSUBEL, 2003). Em segundo lugar, os conhecimentos sem significado ficam “soltos” na estrutura cognitiva, não estabelecendo nenhuma relação, tornando-se “[...] altamente vulneráveis à interferência de materiais semelhantes, anteriormente apreendidos e descobertos de forma simultânea ou retroativa” (AUSUBEL, 2003, p. 4). Essas duas justificativas evidenciam que, ao proporcionar estratégias didáticas, em que os conceitos são apresentados de maneira arbitrária e no sentido literal, possivelmente, promove-se uma aprendizagem mecânica<sup>16</sup>. (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2008).

A aprendizagem mecânica deve ser evitada como regra geral, mas em algumas ocasiões faz-se necessária, principalmente, quando conhecimentos ainda não consolidados são requisitados para a construção de outros significados. A aprendizagem significativa está condicionada ao estabelecimento de interações entre conhecimentos, sofrendo influência da

---

<sup>16</sup> A aprendizagem mecânica é uma “[...] aquisição de associações arbitrárias literais em situações de aprendizagem nas quais o próprio material de aprendizagem não pode ser relacionado não arbitrariamente ou substantivamente à estrutura cognitiva (isto é, não possui “significado lógico”) ou no qual o aprendiz apresenta uma disposição para uma aprendizagem não significativa” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 521).

maturidade, do nível cognitivo e da experiência do estudante. Desse modo, é possível que um conhecimento seja memorizado, de forma arbitrária e literal, por um tempo para, posteriormente, estabelecer relações com os novos conceitos abordados em outra tarefa de aprendizagem, tornando-os significativos. Com isso, compreende-se que a aprendizagem mecânica e a significativa não são dicotômicas, mas podem ocorrer num processo contínuo, em que a memorização literal do conteúdo pode tornar um conhecimento prévio relevante na estrutura cognitiva dos estudantes.

A aprendizagem significativa não é instantânea, mas consiste em um processo progressivo, no qual se parte de uma aprendizagem mecânica para uma aprendizagem significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; MOREIRA; MASINI, 2006), de modo que os conhecimentos vão se tornando mais claros, estáveis e diferenciados na estrutura cognitiva (MOREIRA, 2008a). Entretanto, a aprendizagem mecânica não se torna significativa apenas pelo exercício da repetição, mas sim por abordagem de conceitos, gradativamente estabelecendo relações e interações, de modo que o estudante vai construindo significados, ou seja, aprendendo significativamente (MOREIRA, 2008a).

Como a aprendizagem resulta de um processo contínuo e progressivo, torna-se impossível conceber uma aprendizagem como puramente mecânica ou puramente significativa, pois a compreensão de um conceito ocorre em uma região intermediária, e o nível de aprendizagem está entre os dois extremos (mecânica e significativa) (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; COLL; MARTÍN, 1999; MOREIRA, 2008a). Solé e Coll (1999, p. 21) frisam que “[...] a noção de aprendizagem significativa não é sinônimo de aprendizagem finalizada (e, aliás, será isso possível?); a aprendizagem é significativa na medida em que determinadas condições estejam presentes; e sempre pode ser aperfeiçoada”, ou seja, um processo contínuo em que o nível de significação amplia-se conforme ocorre a interação entre os novos conhecimentos e os prévios (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; COLL; MARTÍN, 1999; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2008a).

O conhecimento prévio não é o único fator que influencia no nível de aprendizagem. A compreensão de um novo conceito, aprendido mecanicamente ou significativamente, depende “[...] mais da disposição do indivíduo para aprender do que do material de aprendizagem” (NOVAK, 1981, p. 62). Sendo assim, o nível de significação depende dos conhecimentos e das experiências prévias do estudante, bem como da sua intencionalidade em relacioná-los, de forma não arbitrária e substantiva (predisposição em aprender), e do planejamento de estratégias didáticas que contemplem as características de um material

potencialmente significativo (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2008a).

A predisposição consiste em uma disposição mental do estudante para “[...] relacionar uma tarefa de aprendizagem não arbitrariamente e substantivamente a aspectos relevantes de sua estrutura cognitiva” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 523), ou seja, é um esforço cognitivo para estabelecer relações e compreender os conteúdos, guardando-os, ordenando-os e organizando-os na estrutura cognitiva. O estudante precisa ter motivação e intenção de aprender, mobilizando-se mentalmente e aumentando seu nível de atenção, pois “[...] é necessário um determinado grau mínimo de atenção para que ocorra a aprendizagem significativa, seguida de intenção explícita de aprendizagem e de recordação significativas” (AUSUBEL, 2003, p. 196).

O nível de atenção é considerado a principal variável interveniente, sendo um indicativo da existência de motivação e da predisposição do estudante para aprender significativamente (AUSUBEL, 2003). Ausubel (2003, p. 202-203) compreende que “[...] a atenção é, provavelmente, uma condição cognitiva geral essencial para a ocorrência da maioria dos casos de aprendizagem significativa”, pois assim, possivelmente, o estudante terá a intencionalidade de relacionar os conhecimentos, de forma não arbitrária e não literal, construindo novos significados. Desse modo, a predisposição não se refere somente ao querer aprender – uma motivação –, mas consiste em uma “[...] uma intencionalidade, um esforço deliberado para relacionar o novo conhecimento a conhecimentos prévios, mais inclusivos, mais diferenciados, existentes na estrutura cognitiva com certa estabilidade e clareza” (MOREIRA, 2008a, p. 20).

Além disso, a falta de conhecimentos prévios estáveis e concisos na estrutura cognitiva possivelmente influencia no nível de atenção e na carga cognitiva para a construção de significados (AUSUBEL, 2003). Quando a estrutura cognitiva é “[...] instável, ambígua, desorganizada ou organizada de modo caótico, tem tendência a inibir a aprendizagem significativa e a retenção” (AUSUBEL, 2003, p. 10). Desse modo, a predisposição é afetada pela dificuldade em estabelecer relações entre os conhecimentos, dificultando e atrasando o processo de aprendizagem e, conseqüentemente, diminuindo o nível de significação construído.

Em relação ao planejamento de materiais didáticos utilizados na aula, denominados materiais potencialmente significativos<sup>17</sup> (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003), precisa-se considerar as características abordadas anteriormente: a substantividade e a não arbitrariedade. Ausubel, Novak e Hanessian (1980, p. 525) definem o material potencialmente significativo como uma “[...] tarefa de aprendizagem que pode ser aprendida significativamente, tanto porque é logicamente significativa como porque as ideias relevantes estão presentes na estrutura cognitiva particular de um aprendiz” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 525).

Essa tarefa de aprendizagem é organizada e planejada considerando o conteúdo didático, os conhecimentos prévios, a idade, a capacidade intelectual e mental e as condições sociais, culturais e econômicas do estudante (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003). Além disso, precisa ser organizado de modo que permita um fácil manuseio e que promova um envolvimento, mental e/ou físico, do estudante, permitindo o estabelecimento de relações substantivas e não arbitrárias, pela interação idiossincrática dos conhecimentos prévios, presentes na estrutura cognitiva, com o conteúdo didático, abordado pela estratégia didática, ou seja, tornando-o sujeito ativo nos processos de ensino e de aprendizagem (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003; MOREIRA; MASINI, 2006; MOREIRA, 2008a).

Desse modo, o planejamento de um material potencialmente significativo não é tarefa simples para o professor, pois ele tem de atentar a certas características importantes a contemplar, a saber:

(1) que o próprio material de aprendizagem possa estar relacionado de forma *não arbitrária* (plausível, sensível e não aleatória) e *não literal* com *qualquer* estrutura cognitiva apropriada e relevante (i.e., que possui significado “lógico”) e (2) que a estrutura cognitiva *particular* do aprendiz contenha ideias *ancoradas* relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material. A interação entre novos significados potenciais e ideias relevantes na estrutura cognitiva do aprendiz dá origem a significados verdadeiros ou psicológicos (AUSUBEL, 2003, p. 1).

Além de considerar os fatores já mencionados – não arbitrariedade, substantividade e a predisposição em aprender –, para auxiliar no planejamento de materiais potencialmente significativos, é importante compreender que o processo da aprendizagem significativa depende também de quatro princípios: a diferenciação progressiva, a reconciliação

---

<sup>17</sup> O material é considerado potencialmente significativo porque o significado não está no material didático, mas na interação de conhecimentos, ou seja, no processo cognitivo do estudante (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003).

integradora, a organização sequencial e a consolidação (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; MOREIRA, 1997; AUSUBEL, 2003).

A diferenciação progressiva faz “[...] parte do processo da aprendizagem significativa, da retenção e da organização que resulta numa elaboração hierárquica ulterior de conceitos ou proposições na estrutura cognitiva do ‘topo para baixo’” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 523). Esse princípio consiste na organização dos conteúdos e no planejamento de estratégias didáticas, de modo que os conceitos gerais e inclusivos sejam apresentados inicialmente para, posteriormente, abordar suas especificidades e os detalhes (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003; MOREIRA; MASINI, 2006; MOREIRA, 1997, 2008a, 2011b, 2011c). Na perspectiva de Ausubel (2003, p. 166):

Esta ordem de apresentação corresponde, presumivelmente, à sequência natural de aquisição de consciência cognitiva e de sofisticação, quando os seres humanos estão expostos, de forma espontânea, quer a uma área de conhecimentos completamente desconhecida, quer a um ramo desconhecido de um conjunto de conhecimentos familiar. Também corresponde à forma postulada, através da qual se representam, organizam e armazenam estes conhecimentos nas estruturas cognitivas humanas.

Há dois fatores que justificam a necessidade de contemplar o princípio da diferenciação progressiva: (1) a compreensão de um conhecimento a partir de conceitos específicos torna-se mais difícil do que compreender as especificidades de um todo; e (2) os conhecimentos do estudante organizam-se hierarquicamente, de modo que os mais gerais e inclusivos compõem a base, o núcleo, da estrutura cognitiva e os específicos são ramificações (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; MOREIRA, 1997; AUSUBEL, 2003).

Nesse processo, estabelecem-se relações dos novos conhecimentos com os prévios, inter-relacionando-os, construindo significados dos conteúdos abordados na estratégia didática e reconstruindo significados, mais inclusivos, dos conhecimentos prévios (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003; MOREIRA; MASINI, 2006). Essa é uma consequência natural da diferenciação progressiva que origina o princípio da reconciliação integradora (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 1997, 2011b).

A reconciliação integradora é a “[...] parte do processo da aprendizagem significativa que resulta na delineação explícita de semelhanças e diferenças entre ideias relacionadas” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 526). Esse princípio promove a compreensão de diferenças, de semelhanças ou de concepções errôneas, do novo conhecimento em relação

aos prévios (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003; MOREIRA; MASINI, 2006; MOREIRA, 1997, 2008a, 2011b, 2011c).

A reconciliação integradora consiste na ação mental de antecipar e contrapor, “[...] explicitamente, as semelhanças e diferenças confusas entre novas ideias e ideias relevantes existentes e já estabelecidas nas estruturas cognitivas dos aprendizes” (AUSUBEL, 2003, p. 6). Desse modo, esse princípio tem duas funções: (1) qualificar os conhecimentos prévios, ao unificar os conceitos semelhantes na estrutura cognitiva, permitindo a construção de significados mais específicos e abrangentes, e (2) reconciliar inconsistências reais ou aparentes estabelecidas pela interação entre os conhecimentos dos estudantes (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003; MOREIRA; MASINI, 2006; MOREIRA, 2008a).

Esses dois princípios – diferenciação progressiva e reconciliação integradora – ocorrem concomitantemente, não sendo dissociáveis (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2008a), pois “à medida que aprende, o sujeito vai, progressivamente, diferenciando sua estrutura cognitiva, mas, ao mesmo tempo, tem que ir reconciliando diferenças reais ou aparentes [...]” (MOREIRA, 2008a, p. 35). Diante disso, ao planejar estratégias didáticas, há a necessidade de uma organização sequencial dos conhecimentos, intercalando momentos que favoreçam a diferenciação progressiva (do geral para o particular) com outros de reconciliação integrativa (do particular para o geral), para promover um descer e subir na estrutura cognitiva do estudante (NOVAK, 1981; MOREIRA, 2008a).

A organização sequencial é importante na elaboração de materiais potencialmente significativos, pois “[...] a compreensão de um determinado tópico, muitas vezes, pressupõe logicamente a anterior compreensão de algum tópico antecedentemente relacionado” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 171). Esse princípio organiza os conhecimentos, buscando propiciar a construção de significados pela “[...] diferenciação progressiva dos conceitos ou das proposições com o consequente refinamento dos significados e um aumento potencial para a criação de uma base para posterior aprendizagem significativa” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 106).

Desse modo, a organização sequencial potencializa o ensino, pois os conceitos expostos inicialmente, se compreendidos e consolidados na estrutura cognitiva, tornam-se conhecimentos prévios para a construção de novos significados (MOREIRA, 1997; AUSUBEL, 2003). Nesse processo, proporciona-se um avanço gradativo em nível de especificidade e de compreensão, permitindo “[...] que cada progresso alcançado na

aprendizagem sirva como uma base apropriada e uma função de ancoragem para a aprendizagem e a retenção de itens subsequentes na sequência ordenada” (AUSUBEL, 2003, p. 171). Contudo, se não ocorre a compreensão dos conceitos iniciais, como consolidação na estrutura cognitiva, a organização sequencial do ensino não cumpre seu papel de facilitar o processo da aprendizagem.

A consolidação consiste na “[...] confirmação, correção e clarificação, no decurso do retorno (*feedback*), e através da prática diferencial e da revisão, no decurso da exposição repetida, com retorno, ao material de aprendizagem” (AUSUBEL, 2003, p. 172). A concretização desse princípio assegura “[...] uma prontidão contínua de matérias e um êxito na aprendizagem sequencialmente organizada” (AUSUBEL, 2003, p. 172). Diante disso, faz-se pertinente verificar, continuamente, o nível de compreensão dos conceitos estudados e das ressignificações dos conhecimentos prévios, pois a existência de uma estrutura cognitiva estável e concisa torna possível o estabelecimento de novas interações e a construção de significados, em um nível maior de complexidade (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003).

A organização sequencial favorece a consolidação, pois, visando a um nível maior de significação, um novo conteúdo não deve ser introduzido sem a consolidação de conhecimentos considerados prévios da tarefa de aprendizagem<sup>18</sup>. Os conceitos precedentes devem estar claros, estáveis e organizados na estrutura cognitiva, permitindo uma maior discriminação de semelhanças e de diferenças entre o conhecimento novo e o prévio (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003).

A consolidação de um conhecimento precedente, em uma tarefa de aprendizagem sequencial, permite que “[...] fiquem disponíveis na estrutura cognitiva novas ideias ancoradas e estáveis, para outras tarefas de aprendizagem relacionadas introduzidas mais tarde” (AUSUBEL, 2003, p. 184). Tais conceitos – organização sequencial e consolidação – decorrem do princípio fundamental da TAS, apresentada no início desta seção, segundo a qual aquilo que o estudante já conhece, o conhecimento prévio, é a principal variável que influencia na aprendizagem significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003; MOREIRA; MASINI, 2006; MOREIRA, 1997, 2011b).

Diante disso, faz-se necessário contemplar os quatro princípios da TAS – diferenciação progressiva, reconciliação integradora, organização sequencial e consolidação –

---

<sup>18</sup> Diante dessa perspectiva, Ausubel (2003, p. 172) apresenta uma concepção extremamente radical relatando que “[...] nunca se deve introduzir novo material na sequência até se dominarem bem todos os passos anteriores”.

no planejamento das tarefas de aprendizagem. Nesse planejamento, os quatros princípios buscam “[...] garantir que cada incremento alcançado na aprendizagem sirva como um fundamento apropriado ou ancoragem para a aprendizagem e retenção de itens subsequentes na sequência ordenada” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 247).

Contudo, como é frequente se observar no cotidiano escolar, há casos em que os estudantes não apresentam conhecimentos básicos, ideias claras e estáveis, e assim veem-se presos em uma teia de incompreensão, restando-lhes memorizar os conceitos para fins de avaliação (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003). Nesses casos, da falta de conhecimentos prévios ou da instabilidade da estrutura cognitiva, sugere-se o planejamento de organizadores antecipatórios (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980) ou organizadores avançados (AUSUBEL, 2003)<sup>19</sup>, para que a aprendizagem avance de um nível mecânico para um nível significativo. Nesta tese, optou-se pela expressão “organizadores prévios”, pois é o termo mais conhecido pelos educadores brasileiros.

Os organizadores são elaborados na forma de um

[...] material introdutório apresentado num grau mais elevado de generalidade, inclusividade e abstração do que a própria tarefa de aprendizagem, e explicitamente relacionado tanto com as ideias relevantes existentes na estrutura cognitiva quanto à própria tarefa de aprendizagem; destinado a promover a aprendizagem subordinativa ao oferecer um arcabouço ideacional ou um esteio para a tarefa de aprendizagem e/ou ao aumentar a discriminabilidade das novas ideias a serem aprendidas em relação com as ideias já existentes na estrutura cognitiva, isto é, preencher o hiato entre aquilo que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber para aprender o material de aprendizagem mais rapidamente (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 525).

Os organizadores prévios são tarefas disponibilizadas antes da tarefa de aprendizagem, de um novo conhecimento com noções mais inclusivas, abstratas e gerais, auxiliando o estudante a reconhecer conceitos estruturantes e a preencher lacunas na estrutura cognitiva, que interferem na compreensão de novos significados. Desse modo, funcionam como pontes cognitivas entre aquilo que o estudante precisa saber e o que já sabe (NOVAK, 1981; MOREIRA; MASINI, 2006; MOREIRA, 1997, 2008a, 2008b, 2011b, 2011c).

A função de ponte cognitiva se justifica, pois os organizadores prévios são, geralmente, introduções e/ou sínteses relativamente breves que abordam um conteúdo e a

---

<sup>19</sup> Marco Antônio Moreira, um dos principais pesquisadores sobre a TAS no Brasil, utiliza o termo “organizadores prévios” ao invés de “organizadores antecipatórios” ou “organizadores avançados”, definindo-os como “[...] material instrucional introdutório apresentado antes do material a ser aprendido, em si, em nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade; [...] funcionam melhor quando explicitam a relacionabilidade entre novos conhecimentos e aqueles existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Muitas vezes o aprendiz tem o conhecimento prévio, mas não percebe que está relacionado com aquele que lhe está sendo apresentado” (MOREIRA, 2011c, p. 51).

relação com os conceitos da tarefa de aprendizagem. Sendo assim, os conhecimentos abordados no material com os organizadores prévios apresentam duas características: “[...] (1) são quer mais abstratas, inclusivas e gerais do que o material de aprendizagem mais detalhado que as precede, (2) quer mais relacionais e explicativas do que as ideias relevantes existentes, já presentes na estrutura cognitiva” (AUSUBEL, 2003, p. 151).

Os organizadores prévios buscam criar condições para promover a interação de conhecimentos, os processos de diferenciação progressiva e de reconciliação integradora, ou seja, para que os estudantes construam significados sobre o conteúdo estudado. Além disso, os organizadores prévios auxiliam na percepção de “[...] significados alternativos errados, más interpretações, ambiguidades e conceitos errôneos antes que tenham a oportunidade de prejudicar a clareza da estrutura cognitiva e, portanto, inibir a aprendizagem de novo material” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 156). Nessa perspectiva, os organizadores prévios também identificam e disponibilizam os conceitos estruturantes para a compreensão dos conteúdos abordados na tarefa de aprendizagem (NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003).

Os organizadores prévios não têm como propósito a aprendizagem mecânica, mas a (re)construção de conhecimentos não presentes ou ainda não estáveis, por isso uma tarefa com esse fim não deve “[...] só estar explicitamente relacionado com a situação de aprendizagem mais específica resultante, como também (para ser apreensível e estável) ser relacional com as ideias relevantes da estrutura cognitiva e levá-las em linha de conta” (AUSUBEL, 2003, p. 66). Sendo assim, os organizadores prévios precisam considerar o conhecimento prévio, permitindo o protagonismo e ação cognitiva do estudante, ao estabelecer uma relação não arbitrária e substantiva entre aquilo que já sabe e o que precisa saber (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003).

A partir dos pressupostos teóricos da TAS, pode-se estabelecer três argumentos para justificar o planejamento de organizadores prévios, visando à qualificação do processo de ensino: (1) a importância de existirem conhecimentos na estrutura cognitiva para que o estudante construa e reconstrua significados; (2) a facilidade na compreensão de um conhecimento, quando os conceitos mais gerais e inclusivos são abordados inicialmente para, posteriormente, abordar as especificidades; e (3) a explicitação e a identificação de conceitos relevantes para a compreensão do conteúdo da tarefa de aprendizagem (NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2008b).

Contudo, cabe ressaltar que, independentemente da tarefa de aprendizagem apresentar características de um material potencialmente significativo, se o estudante não

estiver predisposto para aprender, então as informações possivelmente serão memorizadas arbitrariamente e literalmente, desenvolvendo uma aprendizagem mecânica. O inverso também é válido: se a tarefa de aprendizagem não for planejada como um material potencialmente significativo, o estudante, mesmo estando predisposto para aprender, não consegue incorporar os conhecimentos à estrutura cognitiva, de forma não arbitrária e substantiva (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2008a).

Sendo assim, o professor tem o papel fundamental de planejar estratégias didáticas que propiciem a ação cognitiva do estudante, como interação, de modo que relacione, de forma não arbitrária e não literal (substantiva), um conhecimento a outros com os quais já está familiarizado (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003). Ao elaborar as estratégias didáticas, não basta o professor considerar os conhecimentos prévios, mas também o nível de desenvolvimento cognitivo do estudante, pois a capacidade de construção de significados, de abstração depende do conhecimento prévio, do meio social e, também, do estágio cognitivo do estudante (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003).

Diante disso, como cerne dessa teoria, tem-se que

a essência do processo de aprendizagem significativa, tal como já se verificou, consiste no fato de que novas ideias expressas de forma simbólica (a tarefa de aprendizagem) se relacionam àquilo que o aprendiz já sabe (a estrutura cognitiva deste numa determinada área de matérias), de forma não arbitrária e não literal, e que o produto desta interação ativa e integradora é o surgimento de um novo significado, que reflete a natureza substantiva e denotativa deste produto interativo (AUSUBEL, 2003, p. 71).

Os pressupostos teóricos delineados nesta seção servem de norteadores no planejamento e na organização do MatELetric, fundamentando o processo de ensino investigado nesta tese. Com tais pressupostos, visando à construção de um material potencialmente significativo, buscou-se a contribuição de duas tendências na educação matemática que apresentam características favoráveis para construção do conhecimento: a estratégia de resolução de problemas e a utilização de tecnologias digitais (FIORENTINI; LORENZATO, 2006).

## 2.2 RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

A Resolução de Problemas (RP) consiste em uma estratégia utilizada principalmente na área da Matemática que passou a ter ênfase em estudos e pesquisas na década de 1930,

desenvolvendo-se sob os fundamentos do construtivismo e da psicologia cognitiva, e que busca promover uma aprendizagem ativa e significativa (MORAIS; ONUCHIC, 2014). Essa estratégia visa a qualificar os processos de ensino e de aprendizagem (POLYA, 1985; ECHEVERRÍA; POZO, 1998; ANASTASIOU; ALVES, 2006; FREITAS, 2008), promovendo a contextualização do conteúdo por meio de um ensino globalizado. Desse modo, busca-se “[...] substituir um pensamento que isola e separa por um pensamento que distingue e une. É preciso substituir um pensamento disjuntivo e redutor por um pensamento complexo, no sentido originário do termo complexo: o que é tecido junto” (MORIN, 2004a, p. 89).

A RP desenvolveu-se durante décadas, adaptando-se às exigências da sociedade, especialmente da realidade educacional, e ao desenvolvimento tecnológico (MENDONÇA, 1993; MORAIS; ONUCHIC, 2014). Existem ao menos três maneiras distintas de abordar e conceber a resolução de problemas – ensinar sobre resolução de problemas, ensinar para resolução de problemas e ensinar por meio de resolução de problemas –, sendo que o conteúdo, como objetivo didático, é a principal característica que as distingue (MENDONÇA, 1993; SCHROEDER; LESTER, 1989 *apud* ONUCHIC; ALLEVATO, 2004, 2011; ALLEVATO, 2014; MORAIS; ONUCHIC, 2014).

No ensino sobre resolução de problemas, o objetivo está no ensino da heurística<sup>20</sup>, nas etapas para que o estudante possa resolver um problema, não sendo o principal objetivo a compreensão dos conhecimentos envolvidos no problema. Essa concepção de RP tem como um dos seus precursores George Polya (1887-1985), que organizou o processo de resolução de problemas, desenvolvendo um modelo constituído de quatro etapas: compreender o problema, conceber um plano, executar um plano e analisar os resultados (MENDONÇA, 1993; POLYA, 2003; POLYA; ARAÚJO, 2006).

A primeira etapa, *compreender o problema*, consiste na identificação dos dados, das incógnitas e do contexto apresentado no problema. Reconhecendo essas informações, se concebe um plano a partir do levantamento de problemas similares já resolvidos, identificando elementos em comum que podem orientar a resolução. Em continuidade, executa-se o plano e verifica-se se o problema foi resolvido, então, discute-se e analisa-se a solução encontrada. Caso não seja resolvido, devido a não ser possível desenvolver o plano ou ao fato de a solução não ser adequada, volta-se à etapa da elaboração de um novo plano e para

---

<sup>20</sup> Compreende-se como um processo heurístico “[...] um simples ensino de um conjunto de regras, um algoritmo, que como sabemos se constitui numa sequência de passos que se seguidos levam ao sucesso da tarefa” (MENDONÇA, 1993, p. 261).

uma nova execução. Para cada etapa, são sugeridas perguntas aos estudantes. O objetivo desse processo é propiciar a memorização do modelo, além de auxiliá-los e de guiá-los na resolução do problema (POLYA, 2003; POLYA; ARAÚJO, 2006).

Essa concepção de RP prevê a repetição de problemas similares para que o estudante se acostume com as etapas de resolução, compreendendo-as, e reconheça os aspectos fundamentais para resolvê-los (POLYA, 1985; ALLEVATO, 2014). Sendo assim, o objetivo não é disponibilizar problemas em níveis gradativos de complexidade, como forma de um avanço para a aprendizagem significativa de novos conhecimentos, mas apresentar problemas que o estudante resolva, como uma prática para que aprenda a ser um resolvidor de problemas (POLYA, 1985; MENDONÇA, 1993; POLYA, 2003; POLYA; ARAÚJO, 2006).

Contudo, essa concepção de RP não se mostrou eficaz para os objetivos da educação norte-americana, principalmente, por dois motivos: (1) nos resultados de testes internacionais, as crianças norte-americanas (que utilizavam as etapas de resolução de Polya) apresentaram baixo rendimento em comparação com as crianças do Oriente, cujo foco eram o rigor, a abstração e a aplicação do conteúdo didático (ALLEVATO; ONUCHIC, 2014); e (2) o sucesso que a Rússia teve em 1957, ao colocar um satélite em órbita, foi atribuído à “[...] enorme disparidade entre o que era conhecimento em Ciências e Matemática, como resultado da ‘explosão de conhecimento’, ocorrida após a Segunda Guerra Mundial, e o que era ensinado nas escolas” (NOVAK, 1981, p. 119). Diante disso, por volta de 1970, realizaram-se pesquisas importantes sobre a resolução de problemas com foco no ensino de Matemática e não na sua resolução, originando assim uma nova concepção: o ensino para resolução de problemas.

O ensino para resolução de problemas tem como objetivo aplicar os conhecimentos aprendidos na sala de aula em problemas, proporcionando a transferência de um contexto puramente matemático para outros. Essa concepção tem características para promover um ensino meramente expositivo, no qual o professor explica a teoria, disponibiliza uma lista de exercícios para memorizar e por fim, realiza exercícios de situações contextualizadas ou situações-problema (MENDONÇA, 1993; ALLEVATO; ONUCHIC, 2014; MORAIS; ONUCHIC, 2014), que são definidos por Polya (1985) como “problemas rotineiros”.

Essa concepção reforça a ideia de um ensino em que “[...] a Matemática é ensinada separada de suas aplicações e a resolução de problemas é utilizada para dotar a teoria de um significado prático” (ALLEVATO; ONUCHIC, 2014, p. 38). Sendo assim, o ensino para a resolução de problemas busca dar sentido e promover o estudo de conceitos matemáticos, utilizando e aplicando-os em situações-problema ou no cotidiano do estudante.

Considerando a TAS, a RP pode promover uma aprendizagem significativa ou mecânica, dependendo da organização didática proposta pelo professor e do nível de envolvimento do estudante. Desse modo, a RP promove a aprendizagem mecânica quando se apoia “[...] na aprendizagem memorizada de fórmulas e de passos de procedimentos, no reconhecimento memorizado de ‘problemas tipo’ estereotipados e na manipulação mecânica de símbolos” (AUSUBEL, 2003, p. 167). Diante disso, os estudantes continuam exercendo um papel passivo, em relação aos processos de ensino e de aprendizagem, cabendo-lhes transferir “[...] o que aprenderam num contexto (em geral, puramente matemático) para problemas em outros contextos, ou seja, se ensina Matemática para a resolução de problemas” (ALLEVATO; ONUCHIC, 2014, p. 38).

Essa concepção utiliza os problemas como exemplos de conhecimentos aplicados, possibilitando o estabelecimento de pequenas relações e interações entre o conteúdo estudado, que poderá ser memorizado ou aprendido, com um contexto aplicado. Essa relação ou interação ocorre “[...] desde que se compreenda os princípios em questão, porque eles se aplicam a este caso em particular, e a relação entre os princípios e as operações manipulativas usadas na aplicação” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 474).

Contudo, observa-se que a resolução de problemas em sala de aula tem envolvido mais a aplicação de fórmulas memorizadas do que a compreensão de conhecimento (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003). Nessa perspectiva, a aprendizagem tenderá a ser mais mecânica do que significativa, pois o estudante não se envolve ativamente, cabendo-lhe aplicar procedimentos sem significado em outras situações (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003; COSTA, 2008). Para promover uma aprendizagem significativa “[...] espera-se que os estudantes estejam expostos a uma variedade intencional e qualificada de problemas com os quais possa avaliar e dar significados a conceitos e procedimentos adequados” (COSTA, 2008, p. 202).

Ambas as concepções, ensino sobre resolução de problemas e ensino para resolução de problemas, proporcionam um exercício repetitivo ao estudante, sendo que esse não é objetivo da educação no século XXI (VASCONCELLOS, 2001; MORETTO, 2007). O foco, portanto, deveria ser pensar sobre o problema para, posteriormente, iniciar os processos de ensino e de aprendizagem (PAPERT, 2008). Em uma perspectiva similar, a TAS reconhece a RP como um objetivo educacional legítimo, desde que a ênfase não esteja somente no uso de métodos científicos, na heurística, e nem na aprendizagem aleatória e literal de conhecimentos (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980). Diante disso, houve a necessidade de repensar a concepção da RP, visando a superar uma prática de transmissão de conteúdos para envolver o

estudante ativamente nos processos de ensino e de aprendizagem (MENDONÇA, 1993; ALLEVATO; ONUCHIC 2014).

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) e as Orientações Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) propõem uma concepção diferente da RP, considerando que o processo de ensino deveria se iniciar por um problema (BRASIL, 1999, 2002, 2006a, 2006b). A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) contempla essa perspectiva, enfatizando que a RP precisa proporcionar uma participação ativa do estudante, principalmente na construção do seu conhecimento matemático e desenvolvendo a sua “[...] autonomia para realizar uma leitura crítica do mundo natural e social, que o instrumentaliza para a tomada de posições frente aos problemas sociais e ambientais que impactam sua vida e a de sua coletividade” (BRASIL, 2016, p. 133).

O ensino por meio da resolução de problemas é, então, uma terceira concepção, e considera essa perspectiva, primando por um ensino globalizado, em que conceitos matemáticos são aprendidos resolvendo problemas, bem como resolvem-se problemas relevantes com o que se aprende em Matemática (ONUCHIC, 1999; BASTOS, 2013). Essa concepção tem sido considerada “[...] a força propulsora para a construção de novos conhecimentos e, reciprocamente, novos conhecimentos proporcionam a proposição e resolução de intrigantes e importantes problemas” (ALLEVATO; ONUCHIC, 2014, p. 35), assim, “[...] o problema é visto como ponto de partida para a construção de novos conceitos e novos conteúdos; os alunos sendo coconstrutores de seu próprio conhecimento e, os professores, os responsáveis por conduzir esse processo” (ONUCHIC; ALLEVATO, 2011, p. 80).

Nessa concepção, havia a crença de que a função do professor era nula em sala de aula, devendo-se deixar os estudantes totalmente livres para interagirem e construírem significados do conteúdo estudado. O professor é indispensável no processo de ensino, pois elabora e disponibiliza situações-problema com significado lógico para os estudantes, planejando contraexemplos para promover a reflexão sobre os conhecimentos envolvidos na resolução (PIAGET, 1976). Contudo, nessa perspectiva, a função do professor se altera, pois, deixa “[...] de ser apenas um conferencista e estimula a pesquisa e o esforço, em lugar de contentar-se em transmitir os problemas já solucionados” (PIAGET, 1976, p. 18).

O professor torna-se um orientador e mediador, planejando uma tarefa de aprendizagem, selecionando um problema interessante, desafiador e adequado ao nível cognitivo do estudante para iniciar os processos de ensino e de aprendizagem. Além disso, durante a resolução do problema, auxilia os estudantes – por meio de questionamentos, e não

fornecendo soluções parciais – e formaliza o conteúdo após o problema ser solucionado, buscando consolidar conhecimentos na estrutura cognitiva do estudante (PIAGET, 1976; POLYA, 1985; BRASIL, 1997, 2006; ONUCHIC; ALLEVATO, 2004; COSTA, 2008; ALLEVATO, 2014; ALLEVATO; ONUCHIC, 2014).

O problema não é somente o ponto de partida para os processos de ensino e de aprendizagem, mas exerce a função de desafiar, ativar esquemas mentais do estudante para resolver a situação e tomar decisões. O problema potencializa o “[...] processo de construção do conhecimento quando estimula ou amplia a significação dos elementos apreendidos em relação à realidade ou área profissional” (ANASTASIOU; ALVES, 2006, p. 86).

Didaticamente, o problema tem uma característica fundamental de servir como uma ponte cognitiva entre o que o estudante sabe e o que precisa saber (POZO; ANGÓN, 1998). Diante disso, um mesmo enunciado ou situação pode ser um problema<sup>21</sup> para um estudante, mas não para outro, “[...] quer porque ela [a pessoa] não se interesse pela situação, quer porque possua mecanismos para resolvê-la com um investimento mínimo de recursos cognitivos e pode reduzi-la a um simples exercício” (ECHEVERRÍA; POZO, 1998, p. 16). Um enunciado torna-se um problema quando o estudante se questiona e reflete sobre as possíveis estratégias e sobre os conhecimentos envolvidos na sua resolução (ECHEVERRÍA; POZO, 1998).

Em um problema que se caracteriza como uma situação legítima de aprendizagem, o estudante não tem conhecimentos suficientes para resolvê-lo, sendo necessário o seu envolvimento para planejar estratégias de resolução, compartilhar conhecimentos – com outros estudantes e/ou com o professor –, verificar hipóteses e analisar resultados. O ensino por meio da resolução de problemas possibilita a realização de um trabalho cooperativo<sup>22</sup>, no qual o estudante não somente está construindo significados, mas também está desenvolvendo a autonomia, a criatividade, a linguagem, a comunicação, as habilidades de pensamento crítico e de análise (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; LURIA, 1990; DE CORTE; VERSCHAFFEL; SCHROOTEN, 1992; ECHEVERRÍA, 1998; ECHEVERRÍA; POZO, 1998; CARVALHO, 2005; ANASTASIOU; ALVES, 2006; ALLEVATO; ONUCHIC, 2004, 2014; ALLEVATO, 2014).

---

<sup>21</sup> Alguns professores não diferem exercícios de problemas, contudo “[...] um problema se diferencia de um exercício, na medida em que, neste último caso, dispomos e utilizamos mecanismos que nos levam de forma imediata à solução” (ECHEVERRÍA; POZO, 1998, p. 16).

<sup>22</sup> Sugere-se que o trabalho cooperativo seja realizado em pequenos grupos, permitindo que cada estudante possa “[...] dar uma contribuição e, assim, aumentar sua capacidade de resolver problemas” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 390). Em um grande grupo, a oportunidade do estudante “[...] participar é limitada não somente pelo número de participantes, mas também pelo fato de que membros mais agressivos do grupo tendem a assumir e monopolizar a atividade de resolver os problemas” (*ibidem*).

A compreensão dos conceitos envolvidos na resolução de problemas promove mudanças na estrutura cognitiva, pois “[...] a solução de um dado problema envolve a reorganização dos resíduos da experiência passada para se adaptar às exigências particulares da situação problemática atual” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 476). Com essa concepção de RP pode-se criar um ambiente de aprendizagem potencialmente significativo, sendo caracterizado pelo equilíbrio entre o planejamento didático e a orientação para uma aprendizagem por descoberta (DE CORTE; VERSCHAFFEL; SCHROOTEN, 1992). Além disso, pode ser considerada uma estratégia didática complexa que promove um ensino globalizante, no qual o processo de aprendizagem sofre a influência de vários fatores.

Um dos principais fatores que influenciam na obtenção do êxito da RP é o conhecimento prévio do estudante (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; ECHEVERRÍA; POZO, 1998; AUSUBEL, 2003; COSTA, 2008; BASTOS, 2013), pois “[...] a eficiência na solução de problemas depende muito da disponibilidade e da ativação de conhecimentos conceituais adequados” (ECHEVERRÍA; POZO, 1998, p. 32). Contudo, existem outros fatores que influenciam na aprendizagem, pois “a aprendizagem depende da relação estabelecida entre o problema a ser resolvido e as possíveis respostas em que a cognição, a efetividade, as experiências e a cultura são colocadas em ação pelos alunos” (ANASTASIOU; ALVES, 2006, p. 127).

Em uma perspectiva similar, na TAS, há dois conjuntos de variáveis que influenciam no ensino e na aprendizagem por meio da resolução de problemas:

[...] (1) a disponibilidade, na estrutura cognitiva, de conceitos e princípios que são relevantes para o problema particular a ser resolvido e (2) traços cognitivos e de personalidade como ser incisivo, capacidade de integração, estilo cognitivo, sensibilidade a problemas, flexibilidade, capacidade de improvisação, espírito de aventura, curiosidade intelectual e tolerância à frustração (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 471).

A TAS e o ensino por meio da resolução de problemas buscam desenvolver o protagonismo no estudante, envolvendo-o na estratégia didática, na realização das tarefas de aprendizagem, proporcionando que utilize seus conhecimentos para construir significados, ampliando-os quantitativamente (conhecimentos novos) e qualitativamente (conhecimento prévio) na sua estrutura cognitiva (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; COSTA, 2008; ALLEVATO, 2014; ALLEVATO; ONUCHIC, 2014). Diante disso, a RP – o ensino por meio da resolução de problemas – pode ser, também, uma estratégia para o planejamento de um material potencialmente significativo, pois busca “[...] estimular a curiosidade intelectual e iniciativa, em desenvolver um pensamento independente, original e crítico, e em estimular o

desejo e capacidade dos alunos para aprenderem por si mesmos” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 243).

Quando o estudante toma “[...] para si a convicção de sua necessidade de resolução do problema, ou seja, se ele aceita participar desse desafio intelectual e se consegue sucesso nesse empreendimento, então, inicia-se o processo de aprendizagem” (FREITAS, 2008, p. 83). O estudante, aceitando o desafio de resolver o problema, buscará auxílio de colegas ou professores para compreender o problema, provavelmente ocorrerão questionamentos e argumentações, o compartilhamento de conhecimento e um trabalho cooperativo para determinar uma solução. Essas ações são indicativos de um estudante ativo, motivado e predisposto a aprender (MAURI, 1999).

Considerando essa perspectiva, há seis argumentos, compatíveis com as características e princípios da TAS, que permitem afirmar que o ensino por meio da resolução de problemas potencializa os processos de ensino e de aprendizagem: (1) o problema desafia e promove a ação cognitiva dos estudantes sobre os conceitos matemáticos – o processo de construção de significados – e sobre as estratégias para solucionar o problema (predisposição em aprender); (2) o processo de resolução do problema amplia o nível de abstração do estudante, no qual é necessário planejar diferentes estratégias de resolução para diferentes problemas, reconstruindo conhecimentos e construindo novos significados (diferenciação progressiva e a reconciliação integradora); (3) a solução de um problema proporciona o sentimento de que os estudantes são capazes de aprender a matemática, aumentando a sua confiança e a autoestima (predisposição para aprender); (4) o processo de resolução de um problema fornece informações contínuas, aos estudantes e ao professor, que podem ser utilizadas para replanejar a estratégia de resolução ou para verificar o nível de compreensão dos conhecimentos envolvidos no problema (organização sequencial e consolidação); (5) essa estratégia didática promove o protagonismo do estudante, evitando um ensino meramente transmissivo, e apresenta indícios da compreensão dos conhecimentos (a aprendizagem é mais significativa do que mecânica); e (6) a formalização dos conceitos pelo professor, após a resolução do problema, faz mais sentido, pois o estudante pode analisar e verificar os significados construídos durante a resolução do problema (consolidação) (ONUCHIC; ALLEVATO, 2004, 2011).

Em virtude dessas similaridades, da TAS com o ensino por meio da resolução de problema, optou-se por utilizar essa concepção de RP nesta tese. Na perspectiva da TAS, a resolução de problemas é uma

[...] atividade ou pensamento dirigido na qual tanto a representação cognitiva da experiência prévia como os componentes da situação problemática atual são reorganizados, transformados ou recombinaados para assegurar um determinado objetivo; envolve a geração de estratégias de solução de problemas que transcendem a simples aplicação dos princípios a exemplos autoevidentes (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 526).

Diante disso, entende-se que a RP pode ser considerada uma estratégia para o planejamento de um material potencialmente significativo ou um organizador prévio que busca desenvolver uma aprendizagem matemática de forma ativa e significativa. A própria estratégia, a RP, também pode ser um instrumento para verificar o nível de significação<sup>23</sup> desenvolvida pelos estudantes (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003; MOREIRA; MASINI, 2006; MASINI, 2008), pois a RP<sup>24</sup> “[...] exige muitas outras capacidades e qualidades – tais como poder de raciocínio, perseverança, flexibilidade, ousadia, improviso, sensibilidade aos problemas e astúcia tática – além da compreensão dos princípios subjacentes” (AUSUBEL, 2003, p. 130).

Entretanto, para que a RP possa ser considerada uma estratégia com potencial para desenvolver habilidade e capacidade, além de promover aprendizagem significativa, é importante planejar a tarefa de aprendizagem abordando os conhecimentos em um nível gradativo de dificuldade, “[...] num contexto de aprendizagem sequencial – em situações nas quais a capacidade de aprender um novo material pressupõe a disponibilidade do material antigo” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 510). Nesse planejamento “apresenta-se ao aprendiz uma passagem de aprendizagem nova e sequencialmente dependente, que não pode, de forma alguma, ser dominada se não houver uma compreensão genuína da tarefa de aprendizagem anterior” (AUSUBEL, 2003, p. 130). Desse modo, ao solucionar um novo problema, o estudante poderá utilizar conhecimentos presentes na sua estrutura cognitiva – conhecimentos prévios e os significados recém construídos de um problema antecedente – para solucionar e compreender o problema em questão, o que pode dar indícios de aprendizagem significativa e não mecânica.

Diante dos diferentes perfis de estudantes, com conhecimentos e experiências distintas, faz-se pertinente organizar e planejar estratégias didáticas adaptáveis, promovendo um ensino individualizado. A individualização do ensino prima por disponibilizar tarefas de

<sup>23</sup> Contudo, se o estudante não é capaz de resolver o problema, não significa, necessariamente, a ocorrência de uma aprendizagem mecânica, pois a incapacidade de resolvê-lo pode estar relacionada mais em outros fatores (raciocínio, flexibilidade, improvisação, sensibilidade de problema e astúcia tática) do que na falta de compreensão do conhecimento (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003; MOREIRA; MASINI, 2006).

<sup>24</sup> Em outra obra tem-se que a solução de problemas “[...] requer muitas outras capacidades e qualidades – assim como poder de raciocínio, flexibilidade, improvisação, sensibilidade de problema e astúcia tática – para compreender os princípios subjacentes” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 122).

aprendizagem, adequadas ao nível de conhecimento do estudante, desafiando-o e motivando-o a compreender os conhecimentos de forma autônoma, original e crítica, respeitando os ritmos de aprendizagem, além estimular o desejo e capacidade para aprenderem por si mesmos (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980).

As Tecnologias Digitais (TD) apresentam potencial para promover aprendizagem significativa por meio da resolução de problemas, possibilitando, também, um ensino individualizado. A seguir, na próxima seção, abordam-se os pressupostos teóricos das TD e de objetos de aprendizagem multimodais (OAM), que foi a tecnologia selecionada para concretizar o produto educacional implementado e analisado na presente tese.

### 2.3 OBJETOS DE APRENDIZAGEM MULTIMODAIS

O avanço tecnológico, principalmente com o desenvolvimento da *World Wide Web*<sup>25</sup>, transformou e vem transformando a sociedade, em termos sociais, econômicos, culturais e educacionais (SÁ FILHO; MACHADO, 2003; KENSKI, 2006; SANTAROSA, 2010; TAJRA, 2012). Na sociedade do final do século XIX e do início do século XX, conhecida como Sociedade Industrial, as instituições de ensino deveriam propiciar aos estudantes o acesso às informações e aos conhecimentos construídos durante o avanço da sociedade, preparando-os para desempenhar papéis de acordo com suas aptidões e habilidades (MORETTO, 2007; BEHAR, 2009). O ensino era acumulativo, e a aprendizagem, mais mecânica do que significativa, pois os conteúdos eram abordados de forma aleatória e literal, dificultando, ou até impedindo, a construção de significados.

Nas últimas décadas do século XX, mas principalmente no século XXI, com o contínuo desenvolvimento das tecnologias, as informações passaram a ser divulgadas instantaneamente e acessadas facilmente. Essas modificações promoveram mudanças na sociedade, não sendo necessário formar somente especialistas em determinado conteúdo, “[...] exigindo dos sujeitos a aprendizagem de significados mais complexos das relações entre os elementos que constituem uma situação problemática” (MORETTO, 2009, p. 49). Nessa sociedade, denominada Sociedade da Informação (KENSKI, 2006; BEHAR, 2009; SANTAROSA, 2010; MUNHOZ, 2012; MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013) ou Sociedade em Rede (BEHAR, 2009), professores e estudantes estão “[...] reaprendendo a

---

<sup>25</sup> A *World Wide Web* (WWW) é uma grande teia que permite a integração de várias mídias (textos, imagens, animações, sons e vídeos) simultaneamente, formando assim uma imensa hipermídia. Um exemplo de recurso fornecido pela *web* são as páginas, também conhecidas como *home page*, *site* ou simplesmente *Web* (TAJRA, 2012).

conhecer, a comunicar-nos, a ensinar; reaprendendo a integrar o humano e o tecnológico; a integrar o individual, o grupal e o social” (MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013, p. 61).

Entretanto, o sistema educacional, como componente dessa sociedade, ainda encontra dificuldades para adaptar-se a essa realidade (MORETTO, 2007; PAPERT, 2008; BEHAR, 2009). O contexto educacional que deveria prevalecer nessa sociedade “– de compartilhamento, integração, colaboração e participação integrada entre pessoas e instituições – é muito distante da forma estruturada, burocraticamente hierarquizada e centralizada existente nas atuais instituições educacionais” (KENSKI, 2006, p. 95). Não cabe às instituições de ensino formar especialistas como acumuladores de informações; elas deveriam preparar pessoas com competências para “[...] lidar com diferentes situações, resolver problemas imprevistos, ser flexível e multifuncional e estar sempre aprendendo” (TAJRA, 2012, p. 21).

O processo de ensino, por sua vez, precisa envolver os estudantes, contribuindo para formar estudantes autônomos, críticos, criativos e responsáveis. Nesse contexto, entende-se que as TD têm potencial para contribuir na formação desse tipo de estudante, se forem utilizadas visando às ações de tomada de decisões e de escolha de estratégias, permitindo, também, o desenvolvimento da capacidade de representação simbólica e do imaginário, ou seja, habilidades de abstração e de generalização (SANTAROSA, 2010).

Com efeito, as TD, por si só, não “[...] vão revolucionar o ensino e, por extensão, a educação de forma geral, mas a maneira como essa tecnologia é utilizada para a mediação entre professores, alunos e a informação” (KENSKI, 2006, p. 121). A qualificação do ensino não está na substituição do quadro negro, do giz ou da exposição oral por recursos tecnológicos digitais, como o computador ou o retroprojeter digital (*datashow*) para passar transparências (*slides*), tecnicamente mal ou até maravilhosamente elaboradas, para transmitir informações (KENSKI, 2006; TAJRA, 2012; MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013).

Diante disso, ressalta-se que o uso eficiente das tecnologias não é um atributo inerente a elas, mas depende de como o professor as utiliza (VALENTE, 1997; KENSKI, 2006; GOULART; GRAVINA, 2012; SABBATINI, 2012; CANTO FILHO; LIMA, 2014; SINGO, 2014). As TD, se utilizadas somente como recursos informativos, provavelmente, colaboram ainda mais para produzir aprendizagens similares àquelas decorrentes de um ensino meramente expositivo e com tendência a promover aprendizagem mais mecânica do que significativa.

As TD dispõem de características e potencial para proporcionar um aprendizado mais eficaz do que os métodos tradicionais (SOUZA JÚNIOR; LOPES, 2007; BEHAR, 2009;

SANTAROSA, 2010; MUNHOZ, 2012; MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013; BARIN; BASTOS; MARSHALL, 2013; SINGO, 2014). Considerando esse contexto, as tecnologias digitais, principalmente o computador, não tem a função de reproduzir informações ou técnicas, mas proporcionar “[...] aulas mais criativas, motivadoras, dinâmicas e que envolvam os alunos para novas descobertas e aprendizagem” (TAJRA, 2012, p. 46). Além disso, por meio de tecnologias assíncronas (*e-mail*, *blogs*, fóruns), ampliam-se, em termos de tempo e de espaço, os momentos de ensino, de interação e de construção de conhecimento, que não se restringem somente à sala de aula (WILEY, 2000; SÁ FILHO; MACHADO, 2003; KENSKI, 2006; HIGUCHI *et al.*, 2010; PEÑA, 2010; MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013; CANTO FILHO; LIMA, 2014).

Sobre o uso das TD para a compreensão de conceitos matemáticos, a BNCC destaca que “[...] o uso de tecnologias possibilita aos estudantes alternativas de experiências variadas e facilitadoras de aprendizagens que reforçam a capacidade de raciocinar logicamente, formular e testar conjecturas, avaliar a validade de raciocínios e construir argumentações” (BRASIL, 2016, p. 536). De forma complementar, as TD têm potencial para “[...] estimular a curiosidade, a imaginação, a comunicação, a construção de diferentes caminhos para a resolução de problemas e o desenvolvimento das capacidades: cognitiva, afetiva, moral e social” (ZORZAN, 2007, p. 88).

Para usufruir das potencialidades das TD, faz-se pertinente planejar recursos digitais ou tarefas de aprendizagem fundamentada em pressupostos teóricos, como a TAS, criando ambientes reflexivos e investigativos para promover a construção de conhecimentos (KENSKI, 2006; BEHAR, 2009; MUNHOZ, 2012; TAJRA, 2012; MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013). Integrar as TD aos ambientes educacionais colabora também para desenvolver outras competências e habilidades – não somente em termos cognitivos –, como, por exemplo, o respeito mútuo, a colaboração, a cooperação, a solidariedade, a autonomia e o respeito ao ritmo individual (KENSKI, 2006; BEHAR, 2009; MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013).

Entre as TD disponíveis para auxiliar os processos de ensino e de aprendizagem, promovendo uma aprendizagem significativa, no Brasil destacam-se o estudo e a produção de objetos de aprendizagem (OA). Os OA foram criados para organizar e facilitar a localização de recursos digitais didáticos na *web*, dinamizando a utilização no contexto escolar, e para serem reutilizados em diferentes contextos e em diferentes ambientes, promovendo um estudo autônomo (WILEY, 2000; JOHNSON, 2003; BEHAR, 2009; MUNHOZ, 2012; SINGO, 2014).

Não existe, ainda, um consenso em relação à definição de OA, sendo que, para alguns pesquisadores, não consiste necessariamente em um recurso digital, podendo ser um objeto físico (IEEE, 2002; TAROUÇO; FEBRE; TAMUSIUNAS, 2003)<sup>26</sup>. No entanto, encontra-se com mais frequência quem o considera como recurso digital (SÁ FILHO; MACHADO, 2003; JOHNSON, 2003; KAY; KANAACK, 2008)<sup>27</sup>. Nesta investigação, considera-se OA como “[...] qualquer recurso digital que possa ser reutilizado para dar suporte à aprendizagem” (WILEY, 2000, p. 3). Por essa definição, um OA pode ser qualquer material digital, na forma de texto, animação, vídeo, imagem, simulador ou página *web*, de forma isolada ou em combinação, desde que a sua utilização propicie a construção de conhecimentos (SÁ FILHO; MACHADO, 2003; BEHAR, 2009; MUNHOZ, 2012).

Nesse contexto, o OA é composto por pequenas entidades digitais que podem ser utilizadas, e reutilizadas, simultaneamente por várias pessoas em diferentes contextos de aprendizagem (WILEY, 2000; CARNEIRO; SILVEIRA, 2014; AGUIAR; FLÔRES, 2014). Visando à sua reutilização é importante descrever, de forma clara e resumida, os pressupostos pedagógicos, em termos de conhecimentos e objetivos didáticos que são abordados em qualquer OA e explicar como utilizá-los (WILEY, 2000; TAROUÇO; FABRE; TAMUSIUNAS, 2003; CARNEIRO; SILVEIRA, 2014; AGUIAR; FLÔRES, 2014). Essa organização de um OA proporciona uma estruturação lógica e didática dos conhecimentos, conforme o princípio da organização sequencial da TAS, abordando-os em um nível gradativo de dificuldade, de modo que os conceitos anteriormente abordados são base para a compreensão de novos (WILEY, 2000; MUNHOZ, 2012).

---

<sup>26</sup> O *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE, 2002, p. 6) define o OA como “[...] qualquer entidade – digital ou não digital – que pode ser usada para aprendizado, educação ou treinamento” (IEEE, 2002, p. 1). De forma similar, Tarouco, Febre e Tamusiunas (2003, p. 2) definem como “[...] qualquer recurso, suplementar ao processo de aprendizagem, que pode ser reusado para apoiar a aprendizagem. O termo objeto educacional (*learning object*) geralmente aplica-se a materiais educacionais projetados e construídos em pequenos conjuntos com vistas a maximizar as situações de aprendizagem onde o recurso pode ser utilizado”.

<sup>27</sup> Sá Filho e Machado (2003, p. 3) referem-se aos OA como “[...] recursos digitais, que podem ser usados, reutilizados e combinados com outros objetos para formar um ambiente de aprendizado rico e flexível”. Em uma perspectiva similar, Johnson (2003, p. 4) os define como uma “[...] coleção de materiais digitais – imagens, documentos, simulações – acoplados com objetivos de aprendizagem claros e mensuráveis ou planejados para auxiliar no processo de aprendizado”. Kay e Knaack (2008, p. 1304) restringem, em termos tecnológicos, a definição para “[...] “ferramentas interativas baseadas na *web* que dão suporte para a aprendizagem incentivando, ampliando e guiando os processos cognitivos dos aprendizes”. Carneiro e Silveira (2014, p. 239) elaboram uma definição com características bem definidas, considerando o OA “[...] como quaisquer materiais eletrônicos (como imagens, vídeos, páginas *web*, animações ou simulações), desde que tragam informações destinadas à construção do conhecimento (conteúdo autocontido), explicitem seus objetivos pedagógicos e estejam estruturados de tal forma que possam ser reutilizados e recombinados com outros objetos de aprendizagem (padronização)”.

Os OA são recursos eficazes para apresentar informações de forma dinâmica e interativa, com potencial para um ensino individualizado, no qual o estudante determina o ritmo da realização das atividades e da sua aprendizagem. Esse recurso busca mediar e facilitar o processo de construção de significados, utilizado de forma independente ou combinado com outros recursos, além de consolidar os conhecimentos na estrutura cognitiva (SÁ FILHO; MACHADO, 2003; WILEY, 2000).

Um OA utilizado no ensino de conhecimentos matemáticos potencializa “[...] o desenvolvimento do pensamento lógico e do espírito investigativo, através da resolução de situações-problema, que servirão para compreender e transformar sua realidade” (SANTAROSA, 2010, p. 286). Sendo assim, consideram-se possibilidades de promover aprendizagem significativa por meio da estratégia de RP, com a integração das TD, o que deverá constituir o tripé dos princípios para o planejamento do MatEletric, construído nesta tese.

Um tipo específico de OA consiste em objetos de aprendizagem multimodais (OAM), pois permitem “[...] que o usuário explore dois ou mais sentidos para captar, através de informações complementares verbais e não verbais, o mesmo conteúdo do conhecimento (conceito)” (SINGO, 2014, p. 24). Esse recurso disponibiliza os conteúdos na forma verbal (textos ou áudio) e não verbal (ilustrações, fotos, vídeos e animações), permitindo que o usuário utilize diferentes estímulos (visual, auditivo e físico) para a construção de conhecimentos (TAROUCO *et al.*, 2009; SINGO, 2014).

Apesar de não terem uma única definição, os OAM apresentam algumas características em comum que precisam ser consideradas quando se planeja a um OAM potencialmente significativo: (1) a reusabilidade ou a flexibilidade permite a utilização e a reutilização do OAM, em cujas tarefas de aprendizagem o usuário avança e retorna da forma que considerar conveniente, adaptando-o em múltiplos contextos e ambientes de aprendizagem; (2) a adaptabilidade refere-se à possibilidade de utilizar o OAM em qualquer ambiente de ensino, sem restrições; (3) a granularidade ou a modularidade refere-se ao “tamanho” do OAM, no qual a apresentação dos conceitos ocorre em partes, em entidades digitais independentes, facilitando a reusabilidade e a distinção das tarefas de aprendizagem; (4) a acessibilidade diz respeito aos *softwares* utilizados na criação do OAM, procurando integrá-los, de forma que não se torne obsoleto, independentemente do avanço das tecnologias digitais; (5) a interoperabilidade ou a portabilidade consiste na capacidade de o OAM funcionar em uma variedade de *hardware* (computador, *smartphone*, *tablets*, entre outros) e em diferentes sistemas operacionais e navegadores *web* (*browsers*); e (6) a interatividade

refere-se ao nível de interação promovido pelo OAM entre o conteúdo didático e o usuário, envolvendo-o ativamente no decorrer das tarefas de aprendizagem (BETTIO; MARTINS, 2002; SÁ FILHO; MACHADO, 2003; TAROUCO; FABRE; TAMUSIUNAS, 2003; TAROUCO, 2004; SABBATINI, 2012; SINGO, 2014; AGUIAR; FLÔRES, 2014).

Além dessas características, para conceber um OAM potencialmente significativo, deve-se contemplar o princípio dos subsunçores (CANTO FILHO; LIMA, 2014), o que implica averiguar os conhecimentos prévios necessários sobre os conteúdos a serem explorados. Esse princípio está fundamentado na TAS, que propicia a criação de um material potencialmente significativo na forma de um OAM. Além de possibilitar a verificação de conhecimentos, é importante integrar um organizador prévio para promover a ativação ou a construção desses conhecimentos, buscando garantir a sua existência, para promover a interação, de forma não arbitrária e não literal (substantiva), com os conteúdos abordados no OAM (CANTO FILHO; LIMA, 2014).

Diante desse contexto, a construção de um OAM não é tarefa fácil (NASCIMENTO, 2007), sendo necessários conhecimentos em diferentes áreas para desenvolver um recurso interativo, em relação ao uso da tecnologia, e com objetivos de aprendizagem claros e definidos para o planejamento pedagógico das ações e de materiais que as favoreçam (FERNANDEZ; RIGO, 2012; SANTOS, 2014). Em condições ideais, a criação de um OAM requer uma equipe interdisciplinar que atenda a aspectos técnicos, estéticos, pedagógicos e motivacionais. Contudo, em espaços educacionais convencionais, dificilmente se conta com uma equipe interdisciplinar, ficando a cargo de um ou dois profissionais a tarefa do planejamento e criação do OAM, como é o caso do MatEletric, no qual a ênfase está nos aspectos pedagógicos e, implicitamente, nos motivacionais.

Em relação aos aspectos pedagógicos, os OAM podem ser criados com várias finalidades educacionais, tais como motivar ou contextualizar um conteúdo, apresentar informações e ilustrações de conceitos complexos, conduzir à construção de significados e promover o protagonismo do estudante por meio da interatividade propiciada (SINGO, 2014; AGUIAR; FLÔRES, 2014). Sendo assim, os OAM podem ser predominantemente instrutivos ou mais interativos, dependendo da concepção pedagógica e dos pressupostos teóricos que conduziram a sua criação (BEHAR, 2009; SANTAROSA, 2010; AMARAL *et al.*, 2014; BULEGON; MUSSOI, 2014).

O planejamento e o desenvolvimento de um OAM “[...] deveriam acompanhar as propostas educativas mais atuais, assim como as tendências de ensino mais recentes e abrangentes sobre o processo de ensino-aprendizagem. Todavia, muitas vezes, esse fato não

ocorre” (SILVA; FERNANDEZ, 2007, p. 28). Diante da versatilidade e do potencial para um ensino individualizado, o OAM promove um fascínio nos professores e estudantes que, frequentemente, deixam “[...] marcas de experiências tecnologicamente inovadoras, mas na grande maioria das vezes pedagogicamente insuficientes” (BOUCINHA; GRASEL; TAROUCO, 2014). Por esse fato, nesta tese, enfatizam-se os aspectos pedagógicos, não descuidando de atingir níveis satisfatórios para os demais aspectos.

As estratégias didáticas, também nos OAM, precisam contribuir para que ocorra uma aprendizagem significativa e não mecânica, o que tem mais chance de acontecer em ambientes interacionistas. Nessa perspectiva, é atribuído ao estudante o papel de protagonista da aprendizagem, ao contrário do que ocorre em espaços instrucionistas, que enfatizam a memorização, o treinamento e o reforço (SILVA; FERNANDEZ, 2007; BEHAR, 2009).

Em busca de favorecer as condições pedagógicas do MatElettric, como um recurso para o ensino e de aprendizagem de números complexos, e contemplar os pressupostos teóricos da TAS por meio da estratégia de RP, foram consideradas as nove etapas do modelo de Robert Gagné<sup>28</sup> (GAGNÉ *et al.*, 2005; KHADJOOI; ROSTAMI; ISHAQ, 2011): obter atenção; descrever os objetivos; recuperar o conhecimento prévio; apresentar o material instrucional; orientar a aprendizagem; fomentar a tarefa realizada; dar retorno sobre o desempenho; avaliar o desempenho; e aumentar a retenção e a transferência.

A primeira etapa, obter atenção, tem o objetivo de motivar e instigar o envolvimento do estudante, aumentando o seu nível de atenção na realização das tarefas de aprendizagem. Nesta investigação, em busca de mobilizar os acadêmicos de Engenharia por meio da estratégia de RP, são apresentados problemas contextualizados sobre o conteúdo, que se refere à análise de circuitos elétricos em CA.

Contudo, ao apresentar o problema, faz-se necessário descrever os objetivos, deixando claro aos acadêmicos os conceitos que serão estudados nas tarefas de aprendizagem. Para contemplar o princípio dos subsunçores, uma atividade inicial, em forma de questionário, é utilizada para verificar o nível de compreensão dos acadêmicos sobre os conhecimentos necessários para solucionar o problema. Para esse propósito, foram incorporados questionários no MatElettric, elaborado no Google Drive, com perguntas que visam a avaliar a compreensão dos conceitos.

---

<sup>28</sup> O modelo de Gagné foi elaborado para auxiliar professores, descrevendo condições externas, com potencial, para desenvolver uma capacidade ou uma habilidade específica nos estudantes, ou ainda para facilitar a compreensão de um determinado conteúdo (GAGNÉ *et al.*, 2005; KHADJOOI; ROSTAMI; ISHAQ, 2011).

Em consonância com a etapa anterior, a terceira etapa é dedicada a recuperar o conhecimento prévio, com um organizador prévio para que os acadêmicos os ativem ou construam para, posteriormente, interagir com o MatEletric e realizar as tarefas de aprendizagem específicas sobre circuitos elétricos em CA. O organizador prévio é recomendado para acadêmicos que apresentarem dificuldades, de modo a sanar ou a reduzir as lacunas de aprendizagens sobre números complexos para, posteriormente, realizarem as tarefas de aprendizagem.

Essa organização didática, conseqüentemente, remete à próxima etapa, de propor o material instrucional, em que a tarefa de aprendizagem é apresentada quando há conhecimentos básicos suficientes. Para a elaboração desses materiais, respeita-se o princípio da organização sequencial e da consolidação da TAS, de que a compreensão de um novo conhecimento está relacionada ao que foi aprendido anteriormente, servindo cada conhecimento de base para a compreensão de um novo.

A quinta etapa, orientar a aprendizagem, consiste em instruir claramente sobre a utilização do OAM e sobre como aprender os novos conceitos. O planejamento deve considerar que os conteúdos sejam abordados na forma verbal e não verbal, respeitando-se diferentes ritmos e estilos de aprendizagem. Para isso, são incorporados, ao MatEletric, textos, videoaulas, áudios e aplicativos do GeoGebra, como forma de incentivar o envolvimento dos acadêmicos, além de propor relações entre os conhecimentos novos e os prévios, e do favorecimento dos processos de diferenciação progressiva e de reconciliação integradora, mediados por meio de diferentes recursos digitais.

Cabe ainda, como sexta etapa, propiciar que os conceitos sejam abordados de forma gradativa, retomando-os em outras atividades, para que sejam consolidados na estrutura cognitiva, tornando-os conhecimentos-base para novas aprendizagens. Cada estudante tem uma estrutura cognitiva idiossincrática. Sendo assim, com base na TAS, pode-se considerar um ensino individualizado, e o MatEletric apresenta essa característica. Durante as tarefas de aprendizagem, é importante dar retorno sobre o desempenho, o que constitui a etapa sete, com *feedbacks* e incentivo à continuidade das tarefas. Nesta investigação, os *feedbacks* serão apresentados durante o processo de resolução de problemas, com dicas e informações, para que possam ser resolvidas e compreendidas as operações e conceitos envolvidos em cada situação.

Como as tarefas de aprendizagem estão condicionadas à compreensão de conceitos, é preciso avaliar o desempenho do usuário, o que é feito na etapa oito. Nessa etapa, podem ser utilizados diferentes instrumentos para avaliar o nível de compreensão de determinado

conteúdo. Nesta investigação, a avaliação do desempenho está prevista por aplicação de um questionário, elaborado no Google Drive, e incorporado no MatELetric. Outro instrumento a ser utilizado é a RP, em nível maior de dificuldade e que considere os conceitos abordados anteriormente, conforme é proposto na TAS (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; MOREIRA; MASINI, 2006). O MatELetric conta com outros recursos para ampliar ou aprofundar o conteúdo didático, caso se mostre necessário.

Por fim, para que ocorra aprendizagem significativa, possibilitando a retenção e a transferência, na etapa nove, os conceitos abordados nas tarefas de aprendizagem precisam ser retomados para promover um descer e subir nas estruturas cognitivas<sup>29</sup>, por meio dos processos da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora.

No MatELetric, essa etapa está prevista com o planejamento de um conjunto de problemas, em um nível gradativo de dificuldade, de modo que os conhecimentos sejam utilizados em problemas mais complexos. O avanço do acadêmico na resolução dos problemas serve como avaliação e indicativo de uma aprendizagem significativa.

Após o processo de planejamento e desenvolvimento do OAM, faz-se necessário avaliá-lo, verificando como se caracteriza em termos de reusabilidade ou flexibilidade; adaptabilidade; granularidade ou modularidade; acessibilidade; interoperabilidade ou portabilidade; e interatividade. Para esse fim, há diferentes instrumentos de avaliação e, nesta investigação, será utilizado um modelo apresentado no segundo módulo de uma oficina<sup>30</sup> sobre objetos de aprendizagem (LIEBAN *et al.*, 2010), para avaliar as características mencionadas. Para cada critério, há perguntas que precisam ser respondidas conforme a seguinte escala: *insatisfatório, satisfatório, bom, muito bom, ótimo* ou *não sei opinar*. No final, apresenta-se um gráfico destacando as porcentagens de respostas em cada critério, sendo mais bem atendido quanto maior for o percentual dos conceitos.

Esses são os pressupostos teóricos, em relação ao processo de ensino, que sustentam o planejamento da rota de aprendizagem e do OAM a ser utilizado por acadêmicos de Engenharia Elétrica. Com base no tripé TAS, RP e TD, busca-se construir um OAM potencialmente significativo para promover no ensino individualizado e contextualizado de circuitos elétricos em corrente alternada. Espera-se, de fato, alcançar êxito neste propósito,

---

<sup>29</sup> A expressão “descer e subir na estrutura cognitiva” é utilizada por Moreira (2008a) e Moreira e Masini (2006) e está associada ao esforço do estudante em estabelecer relações, compreendendo conceitos específicos a partir de gerais, mas também o processo inverso, construindo significados de conceitos gerais com base em específicos.

<sup>30</sup> O material utilizado na oficina está disponível em: <http://oaquatromaisum.wix.com/oa>. O modelo da avaliação a ser utilizado, com as respectivas perguntas, está disponível em: <http://oaquatromaisum.wix.com/oa#!modulo-2/vstc5=protocolo-de-avaliacao>. Acesso em: 05 dez. 2018.

mesmo sabendo que há inúmeros fatores que influenciam na aprendizagem e que “o ensino e a aprendizagem não são extensivos – o ensino é somente uma das condições que podem influenciar a aprendizagem” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 12). A partir desses pressupostos teóricos, na próxima seção, se descreve e explica como foram contemplados na criação do MatElettric, consistindo assim um material didático para ensino de circuitos elétricos em CA para acadêmicos de Engenharia.

#### 2.4 A RELAÇÃO DOS PRESSUPOSTOS TEÓRICOS COM A INVESTIGAÇÃO

A TAS, a RP e as TD formam o tripé cujos pressupostos teóricos sustentam a criação do MatElettric como um OAM potencialmente significativo para o ensino de circuitos elétricos em CA, destinado, principalmente, aos acadêmicos de Engenharia. Conforme já mencionado na introdução, o objetivo desta investigação consiste em avaliar o objeto de aprendizagem multimodal MatElettric, como um exemplo de material didático desenvolvido seguindo as orientações de pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa de forma integrada à estratégia da resolução de problemas, a partir das percepções de acadêmicos e de um professor de Engenharia Elétrica.

Conforme foi abordado na introdução, os acadêmicos de Engenharia Elétrica geralmente apresentam lacunas de aprendizagem sobre conhecimentos básicos de números complexos. Essas lacunas de aprendizagem, em geral, são o principal motivo para as altas taxas de evasão, ocorrendo expressivamente nos primeiros anos da graduação e, principalmente, nos cursos de Engenharia (VELOSO; ALMEIDA, 2002; BOERO, 2006; CURY, 2002, 2007; FERLIN; TOZZI, 2007; LIMA; SAUER; SOARES, 2007; ALMEIDA; GODOY, 2016; ALMEIDA, 2016; LINHARES, 2017). Cabe ao professor adaptar-se a esse contexto, atendendo às necessidades dos acadêmicos e às exigências curriculares, de modo a não comprometer os processos de ensino e de aprendizagem, ou seja, não promovendo uma prática pedagógica conservadora, repetitiva e acrítica (MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013). Diante disso, as TD surgem como uma possibilidade de os professores universitários e os acadêmicos construir e reconstruir conhecimentos considerados prévios para, posterior ou concomitantemente, abordar os conteúdos da disciplina.

Nesta investigação, optou-se pela construção de um OAM, o MatElettric, por suas características – reusabilidade ou flexibilidade; adaptabilidade; granularidade ou modularidade; acessibilidade; interoperabilidade ou portabilidade; e interatividade – e pela potencialidade para promover um ensino individualizado, conforme é proposto pela TAS.

Para servir como instrumento de apoio aos estudos, o MatElettric está disponível em um espaço virtual e de acesso gratuito<sup>31</sup>, podendo ser utilizado por professores em sala de aula ou em atividades de Ensino a Distância (EAD), ou ainda por acadêmicos que pretendem, por sua iniciativa própria e com autonomia, aprender sobre números complexos.

Desse modo, o MatElettric busca auxiliar acadêmicos e professores, diminuindo as lacunas de aprendizagem e, conseqüentemente, os índices de evasão nos cursos de Engenharia. Para isso, o MatElettric foi estruturado de acordo com os princípios facilitadores da TAS, em três fases 1) introdução de conceitos de circuitos elétricos em CA; 2) questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos; e 3) problemas para analisar circuitos elétricos em CA.

Inicialmente, na busca por motivar os acadêmicos, são apresentadas situações que destacam a importância e a utilidade dos números complexos na área da Elétrica, principalmente, para analisar circuitos elétricos em CA. O reconhecimento da aplicação da Matemática em outras áreas, também do campo profissional, é uma competência a ser desenvolvida por acadêmicos e futuros engenheiros (SOARES; SAUER, 2004).

A aproximação do acadêmico com seu campo profissional pode aumentar o nível de atenção e motivar a aprendizagem, pois “ajuda-o a dar significado para as teorias e os conceitos que deve aprender e integrá-los ao seu mundo intelectual; a levantar questões e elaborar perguntas reais que têm a ver com seu trabalho” (MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013, p. 148). O aumento do nível de atenção e de motivação são indicativos de que o acadêmico está predisposto a aprender, a realizar um esforço mental para relacionar conhecimentos de forma não arbitrária e substantiva, facilitando “[...] a capacidade para solução de problemas, na medida em que diferenciação progressiva e reconciliação integrativa de conceitos relevantes tenham ocorrido” (NOVAK, 1981, p. 114).

Sendo assim, é importante que as estratégias didáticas, no ensino de Engenharia, sejam planejadas envolvendo os conceitos e as operações matemáticas nas relações com o cotidiano social ou profissional (SOARES; SAUER, 2004; REIS, 2009). Nesta tese, o MatElettric busca contemplar essa perspectiva na sua primeira fase, pois, além de associar o conteúdo de números complexos com o de circuitos elétricos em CA, mostra a importância desses conhecimentos na vida real ou profissional dos acadêmicos.

Após a contextualização do conteúdo, começa a segunda fase, *Questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos*, na qual os acadêmicos são submetidos a

---

<sup>31</sup> Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/mateletric.html>.

questionários para verificar os conhecimentos prévios necessários para compreender e analisar circuitos elétricos em CA. Com isso, o MatElettric inicia o processo do ensino individualizado, considerando o conhecimento demonstrado pelo acadêmico e, a partir disso, são sugeridas atividades – organizadores prévios – para construir ou reconstruir os conhecimentos considerados básicos ou é disponibilizada, diretamente, a tarefa de aprendizagem. Para isso, o OAM será composto de organizadores prévios, conforme a necessidade do acadêmico de preencher lacunas de aprendizagem para, posteriormente, realizar a tarefa de aprendizagem específica. Nesse processo inicial, busca-se garantir a ativação ou a própria construção de conhecimentos prévios para estabelecer uma relação não arbitrária e substantiva com o conteúdo da tarefa de aprendizagem.

Os organizadores prévios são constituídos de textos disponíveis na *web*, áudios, videoaulas de canais do YouTube, aplicativos desenvolvidos no GeoGebra e plataformas de ensino como a Khan Academy, propiciando ao acadêmico diferentes recursos para construir significados sobre os números complexos. Esses diferentes recursos promovem estímulos verbais e não verbais no acadêmico, contemplando a característica da multimodalidade do OA (TAROUCO *et al.*, 2009; SINGO, 2014).

A tarefa de aprendizagem é a última fase do MatElettric, *Problemas para analisar circuitos elétricos em CA*, que é constituída de uma sequência de nove problemas, abordados de forma sequencial e de complexidade gradativa, em que são solicitados os valores dos componentes (resistência, corrente e tensão) de circuitos elétricos em CA. Inicialmente, o primeiro problema solicita a análise de um circuito elétrico em CA com os componentes associados em série.

O processo de resolução do problema será guiado e orientado pelo MatElettric. Para isso, os criadores do MatElettric se colocaram no lugar do acadêmico, procurando prever possíveis dificuldades, em relação a conteúdos matemáticos ou referentes aos circuitos elétricos, para planejar etapas intermediárias e não obrigatórias – com orientações, dicas e questionamentos –, no sentido de preencher possíveis lacunas de conhecimentos necessários para solucionar o problema.

Nas etapas intermediárias da resolução do problema, são providenciadas instruções com os objetivos de apresentar e/ou ativar conhecimentos matemáticos ou sobre circuitos; relacionar o conhecimento da tarefa de aprendizagem com outros da estrutura cognitiva, favorecendo, assim, a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora; promover momentos de reflexão sobre o conhecimento específico da tarefa de aprendizagem; e fornecer *feedbacks* das atividades realizadas pelo acadêmico. Essas ações buscam manter o acadêmico

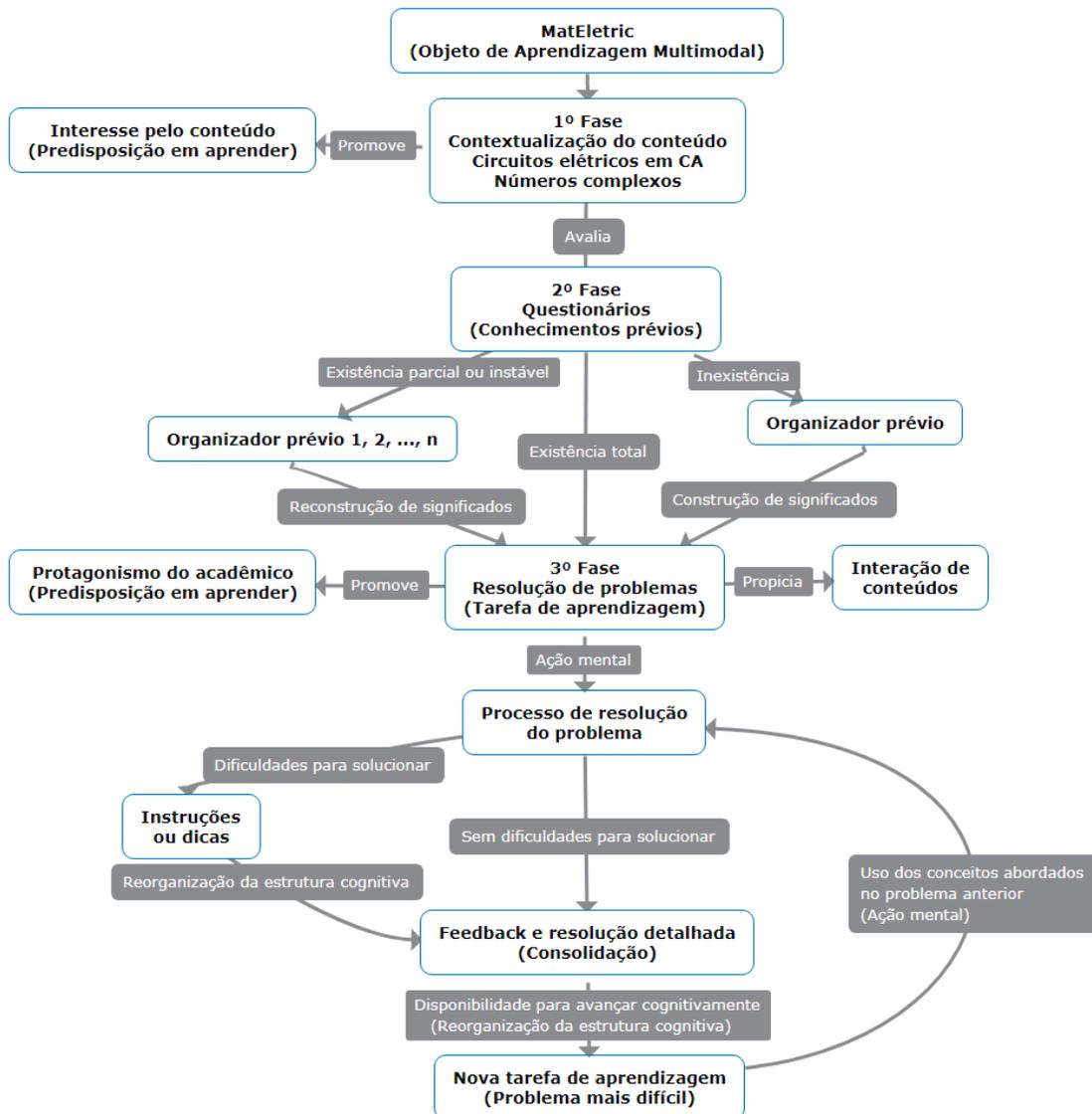
ativo, motivando-o, para que compreenda os conceitos envolvidos na resolução do problema, promovendo uma aprendizagem significativa.

Além disso, em uma etapa, o MatElettric disponibiliza uma resolução detalhada dos problemas, visando à consolidação dos conhecimentos na estrutura cognitiva. Em seguida, o MatElettric possibilita que os acadêmicos analisem, novamente, um circuito elétrico associado em série, mas com componentes diferentes, promovendo assim a utilização de procedimentos similares, mas não totalmente iguais ao problema anterior, possibilitando novas compreensões. Esse é um recurso para os acadêmicos reforçarem a compreensão dos conceitos, operações e procedimentos envolvidos na análise de circuitos elétricos em CA associados em série.

Após essa possibilidade de reforçar a compreensão dos conhecimentos, é proposto um problema para determinar os valores dos componentes de circuito elétrico em CA, desta vez, associado em paralelo. A diferença entre os dois problemas está na forma da associação do circuito, em série ou em paralelo, o que envolve procedimentos diferentes para determinar os valores dos componentes elétricos. Nesse problema, as etapas intermediárias serão similares às do anterior; no entanto, tem-se a perspectiva de que os acadêmicos tenham familiaridade com as operações envolvendo números complexos, o que deve facilitar e agilizar a resolução do problema.

Seguindo a organização lógica e sequencial, o MatElettric possibilita que os acadêmicos realizem um problema similar ao anterior, cuja associação é em paralelo, ou permite que avance nos estudos analisando circuitos elétricos em CA, associados em série e paralelo, ou seja, uma associação mista. Essa proposição de problemas está fundamentada no princípio da organização sequencial e da consolidação, visto que o acesso a um novo problema está condicionado à resolução e à compreensão dos conceitos envolvidos no problema anterior. Assim, a tarefa de aprendizagem está organizada de forma gradativa quanto à dificuldade e à complexidade dos conceitos envolvidos.

**Figura 1** – Mapa conceitual da organização didática do MatElettric



Fonte: Elaborada pelo autor.

A Figura 1 esquematiza a organização didática do MatELetric e mostra algumas relações com os pressupostos teóricos, principalmente, da TAS. O MatELetric é composto de organizadores prévios e de uma tarefa de aprendizagem, constituída por uma sequência de problemas, visando a envolver os acadêmicos no processo de aprendizagem. Além disso, busca desenvolver uma aprendizagem significativa dos conhecimentos básicos sobre números complexos, por meio dos organizadores prévios, e promover relações não arbitrárias e substantivas desses com os conceitos da área da Elétrica. Os diversos ambientes que constituem o MatELetric são arquitetados de modo a apresentar algumas opções de percurso para os acadêmicos, que podem segui-los na rota a ser sugerida ou por outras alternativas,

inclusive com outros recursos da *web* para aprender conceitos matemáticos e de circuitos elétricos.

Portanto, cada pressuposto teórico do tripé – TAS, RP (ensino por meio da resolução de problemas) e TD – exerce uma função diferente na organização didática do MatElettric, de modo que se complementam para compor um material potencialmente significativo para acadêmicos de Engenharia. As TD servem como recurso que permite um ensino individualizado, atendendo às necessidades individuais, além de ampliar o espaço e o tempo da sala de aula para construções e reconstruções de significados. A TAS é uma teoria de aprendizagem que apresenta princípios facilitadores para promover uma aprendizagem ativa e significativa, sendo contemplados no planejamento e na criação do MatElettric. Alinhado com a TAS, a estratégia da RP é utilizada para motivar o envolvimento do acadêmico, em situações de aprendizagem contextualizadas, podendo aumentar o nível de atenção do estudante, e, conseqüentemente, a predisposição para aprender (PUHL; MÜLLER; LIMA, 2020b). Com base nesses pressupostos, criou-se um OAM potencialmente significativo para que os acadêmicos sejam protagonistas no desenvolvimento de uma aprendizagem ativa e significativa.

No que segue, após os pressupostos teóricos, apresenta-se o estado do conhecimento de pesquisas realizadas que utilizam recursos digitais para ensinar conceitos e operações com números complexos ou que têm como participantes acadêmicos de Engenharia Elétrica. Neste capítulo, apresenta-se uma síntese dos mapeamentos teóricos realizados em anais de eventos (PUHL; MÜLLER, 2017), periódicos (PUHL; LIMA; MÜLLER, 2021), dissertações e teses (PUHL; MÜLLER; LARA, 2020) que proporcionaram uma melhor compreensão do contexto da investigação e o conhecimento de pesquisas similares já realizadas por outros pesquisadores.

### 3 ESTADO DO CONHECIMENTO

Neste capítulo, apresentam-se as contribuições de pesquisadores que já investigaram sobre números complexos e seu ensino e aprendizagem. O estado do conhecimento é uma etapa primordial da pesquisa que cumpre vários objetivos (RICHARDSON, 1999; ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 1999; BOGDAN; BIKLEN, 2006; GIL, 2008; BIEMBENGUT, 2008; CRESWELL, 2010; GRAY, 2012; ARAÚJO; BORBA, 2013), como, por exemplo, permitir ao pesquisador reconhecer os processos metodológicos e os resultados de investigações realizadas com mesma temática ou similar. O conhecimento dessas pesquisas, das contribuições e/ou das lacunas é fundamental para que o pesquisador projete sua investigação considerando esses elementos (BOGDAN; BIKLEN, 2006; GIL, 2008; GRAY, 2012), ou, ainda, para que forneça ao pesquisador uma referência para comparar o resultado da sua pesquisa com aquelas já realizadas (ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 1999; BIEMBENGUT, 2008; CRESWELL, 2010).

Segundo Soares (1989, p. 3), o estudo do estado do conhecimento promove a evolução da ciência, ao realizar a ordenação periódica de um “[...] conjunto de informações e resultados já obtidos, ordenação que permita indicação das possibilidades de integração de diferentes perspectivas, aparentemente autônomas, a identificação de duplicações ou contradições, e a determinação de lacunas e vieses”. Desse modo, é um estudo que permite ao pesquisador situar sua investigação no processo de produção da comunidade científica, mostrando indícios de que não se está “reinventando a roda”, mas realizando um estudo que proporcionará novos conhecimentos (BIEMBENGUT, 2008; CRESWELL, 2010; ARAÚJO; BORBA, 2013).

Este capítulo é essencial também para justificar a relevância da pesquisa proposta (BIEMBENGUT, 2008; CRESWELL, 2010), tendo como objetivo identificar o estado do conhecimento de pesquisas sobre objetos de aprendizagem para o ensino de números complexos no Ensino Superior, conhecendo os recursos disponíveis, verificando diferentes concepções, teorias educacionais, metodologias de pesquisas e abordagens planejadas ou aplicadas.

Nessa perspectiva, Biembengut (2008) ressalta a importância de realizar mapeamentos teóricos para reconhecer e mapear os conhecimentos produzidos em lugares e tempos distintos por pesquisadores, permitindo estabelecer relações ou identificar questões que ainda não tenham sido reconhecidas ou investigadas. Assim, a realização de mapeamentos teóricos, com etapas estruturadas, proporciona ao pesquisador uma imersão no

contexto da investigação, gerando conhecimentos para a pesquisa – sobre os problemas de pesquisa, a fundamentação teórica, os métodos utilizados, os sujeitos participantes, os conhecimentos produzidos, entre outros –, não se limitando a um mero levantamento ou organização de dados.

### 3.1 MAPEAMENTOS TEÓRICOS

O mapeamento teórico possibilita que a comunidade acadêmica dê continuidade a pesquisas ou aprimore com nova investigação (BIEMBENGUT, 2008). Assim, este capítulo torna-se, também, um instrumento para justificar o ineditismo desta tese, diante do panorama pesquisado. Proceder a um mapeamento teórico é coerente com os métodos qualitativos de investigação, pois proporciona ao pesquisador um conhecimento sobre o contexto e do problema de pesquisa, conforme é afirmado por Biembengut (2008, p. 136):

O mapeamento nos propicia entender um fato, uma questão dentro de um cenário, servir do conhecimento produzido e reordenar alguns setores deste conhecimento. Quanto mais nos inteiramos dos entes e dos diversos fatores que levam à resultante, mais nos habilitamos em aplicar conhecimentos e, por recorrência, mais conhecimentos dispomos para construir um mapa que ainda não existe, para situar, contextualizar a pesquisa de forma a mostrar, descrever, narrar, circunscrever o problema, explicando e justificando sua legitimidade.

Os procedimentos para a realização do mapeamento teórico, segundo Biembengut (2008), envolvem quatro etapas: conceitos e definições; identificação; classificação e organização; e reconhecimento e/ou análise.

Na primeira etapa, apresentam-se os conceitos e definições utilizados na fundamentação teórica da atual pesquisa, abordada no capítulo anterior, “Educação matemática e suas tecnologias”. Nas etapas seguintes, fala-se sobre os procedimentos do levantamento das produções acadêmicas (identificação), classificando-as e descrevendo, resumidamente, suas ideias e seus conceitos mais relevantes (classificação e organização). Na última etapa, compara-se a pesquisa proposta com aquelas já realizadas (reconhecimento e/ou análise), identificando convergências e divergências da fundamentação teórica e dos procedimentos metodológicos.

As produções acadêmicas selecionadas para o mapeamento consistem em artigos publicados em anais e periódicos das áreas de ensino de Matemática, de ensino de Engenharia e de Informática na Educação, disponíveis virtualmente. A escolha dessas áreas justifica-se pelo escopo desta parte da investigação, cujo objetivo é identificar o estado do conhecimento de pesquisas sobre objetos de aprendizagem para o ensino de números complexos no Ensino

Superior, conhecendo os recursos disponíveis, verificando diferentes concepções, teorias educacionais, metodologias de pesquisas e abordagens planejadas ou aplicadas. Além dos artigos, mapearam-se dissertações e teses publicadas no Banco de Teses da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)<sup>32</sup>.

Em relação à delimitação do mapeamento das pesquisas acadêmicas, Biembengut (2008) e Creswell (2010) destacam a preferência por uma literatura recente, pois, teoricamente<sup>33</sup>, essas pesquisas já teriam atentado para conhecimentos de outras mais antigas. Biembengut (2008) sugere que sejam consideradas as pesquisas dos últimos cinco anos, e Creswell (2010), dos últimos dez anos. Em virtude da perspectiva apresentada por Alves-Mazzotti e Gewandsznajder (1999) – da não realização da revisão da literatura por pesquisadores brasileiros –, optou-se por não estipular um período de tempo, mas mapear e analisar todas as produções encontradas e disponíveis virtualmente, que contemplassem os critérios definidos no campo de busca dos *sites* de eventos, periódicos e no Banco de Teses da CAPES.

### 3.1.1 Identificação

Nesta subseção, descrevem-se os procedimentos realizados para selecionar as produções que fazem parte do mapeamento teórico. Em relação aos eventos, mapearam-se as produções acadêmicas das áreas de ensino de Matemática, de ensino de Engenharia e da Informática na Educação. A escolha dessas áreas justifica-se pelo objetivo desta seção e da presente pesquisa.

Analisar todos os eventos nessas áreas é impraticável. Assim, na área de ensino de Matemática, selecionaram-se três eventos promovidos pela Sociedade Brasileira de Educação Matemática (SBEM), que têm reconhecimento nacional: o Encontro Nacional de Educação Matemática (ENEM), pesquisado no período de 1992 até 2016; o Seminário Internacional de Pesquisa em Educação Matemática (SIPEM), com recorte no período de 2000 até 2016; e o Fórum Nacional das Licenciaturas em Matemática, de 2014 e 2017. Além desses três eventos,

---

<sup>32</sup> O Banco de Teses da CAPES está disponível em: <http://bancodeteses.capes.gov.br>. Esse repositório digital permite a consulta do título de dissertações e teses defendidas desde 1987. A partir de 2013, estão disponíveis mais informações, como o resumo, as palavras-chave e a pesquisa na íntegra (BRASIL, 2017).

<sup>33</sup> A palavra “teoricamente” foi empregada porque Alves-Mazzotti e Gewandsznajder (1999) ressaltam que o estudo do conhecimento é uma prática comum vários países, mas que, no Brasil, dificilmente é contemplada nas pesquisas. Contudo, devido ao avanço da tecnologia e ao acesso da informação, observa-se que as pesquisas brasileiras vêm avançando nesse sentido, principalmente pela necessidade de mostrar indicativos de originalidade nas pesquisas, sendo esse um dos propósitos do estado de conhecimento (BIEMBENGUT, 2008; CRESWELL, 2010; BORBA; ARAÚJO, 2013).

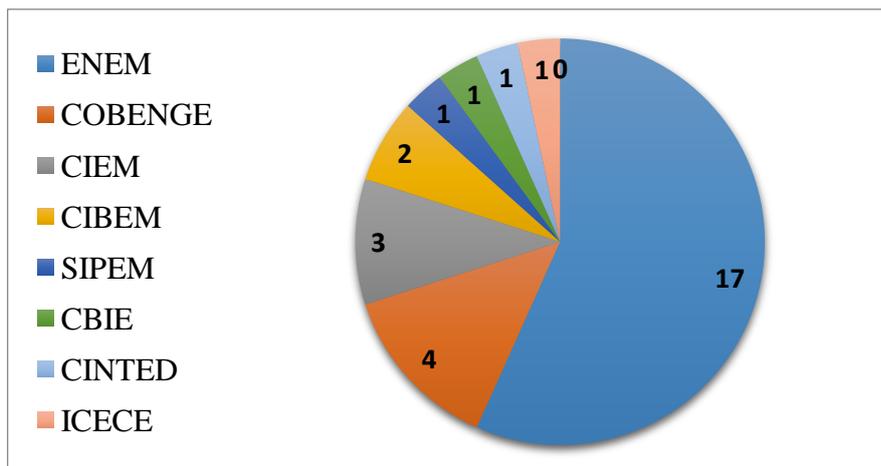
foram selecionados o Congresso Internacional de Ensino da Matemática (CIEM) e o Congresso Ibero-americano de Educação Matemática (CIBEM), ambos ocorridos em 2013 e 2017.

Na área de Informática na Educação, selecionaram-se dois eventos promovidos pela Sociedade Brasileira de Computação (SBC), que são: o Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE), com recorte entre 2001 e 2016, e o Congresso Internacional ABED de Educação a Distância (CIAED), de 2001 até 2018. Além desses eventos, optou-se também pela Conferência Internacional sobre Informática na Educação (TISE) e pelo Ciclo de Palestras Novas Tecnologias na Educação, promovido pelo Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação (CINTED) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), ambos no período de 2003 até 2018.

Na área de ensino de Engenharia, selecionou-se o evento promovido pela Associação Brasileira de Educação de Engenharia (ABENGE), o Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), de 1999 até 2018, bem como o Congresso Internacional em Educação em Engenharia e Computação (ICECE), de 2000 a 2018. Em relação ao período analisado dos eventos na área de ensino de Engenharia e da Informática na Educação, não há uma uniformidade, pois o intervalo de tempo foi definido, no período do mapeamento, pela disponibilidade virtual dos respectivos anais.

Dessa forma, foram considerados onze eventos para o mapeamento, em diferentes tipos de trabalhos – comunicação científica, relato de experiência, minicurso, oficina, entre outros –, porém com os mesmos critérios de levantamento de informações. Nos anais dos eventos, buscaram-se duas possibilidades de expressão nos títulos dos artigos: “números complexos” e “variável complexa”, totalizando trinta artigos de diferentes tipos de comunicação. A Figura 2 apresenta a relação do número de artigos sobre números complexos em cada evento mapeado.

**Figura 2** – Número de artigos por evento mapeado



Fonte: Elaboração do autor

Observa-se que o ENEM se destaca com grande quantidade de trabalhos, representando 56,6% dos artigos mapeados. De outra parte, em outros eventos reconhecidos nacionalmente (Fórum Nacional das Licenciaturas em Matemática) e internacionalmente (CIAED e TISE), não foi encontrado nenhum trabalho sobre números complexos. No caso do Fórum Nacional das Licenciaturas em Matemática, só estavam disponíveis os anais das quinta e sexta edições.

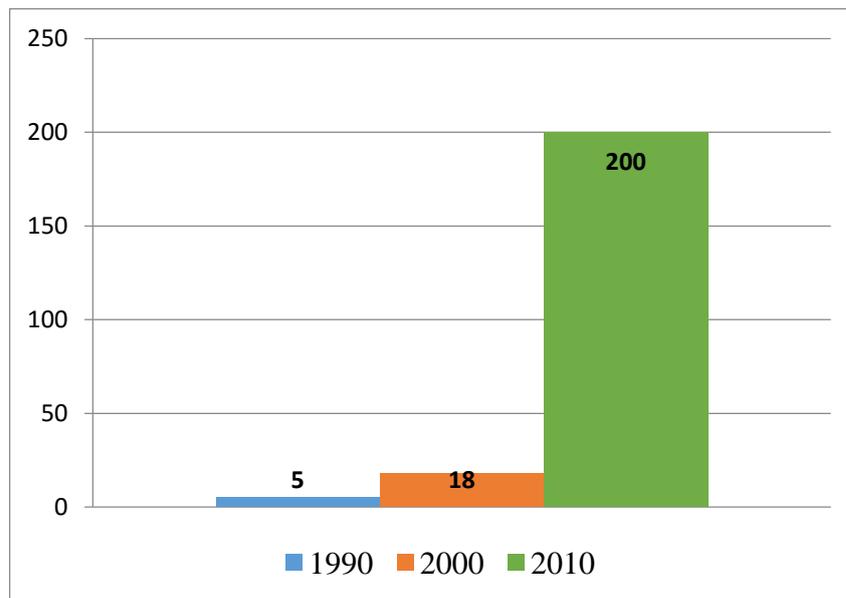
Em relação aos artigos, foram selecionados aqueles cujo *qualis* do periódico é A1, A2 e B1, na área de ensino do quadriênio 2013-2016. Como há diferentes periódicos, de diferentes áreas de conhecimentos, inicialmente decidiu-se limitá-los às áreas de Matemática, Ciências e Informática na Educação e para isso realizaram-se buscas na Plataforma Sucupira<sup>34</sup> com as seguintes palavras/expressões: “Matemática”, “Ciência”, “Tecnologia ou informática”, totalizando 57 o número de periódicos encontrados (Apêndice A).

Após essa busca, realizou-se um procedimento similar àquele utilizado no mapeamento de publicações em eventos, acessando o *site* de cada periódico, buscando a expressão “números complexos”, o que resultou em 62 artigos, sendo 48 de periódicos da área de Matemática (MAT), doze de Ciências (CIE) e um de Informática na Educação (INF\_ED). Comparado ao número de trabalhos publicados em eventos (trinta artigos), observa-se, nos periódicos, um aumento significativo de pesquisas sobre números complexos (62 artigos). Esse fato pode decorrer do sistema de busca que, em alguns periódicos –, como Bolema, Revista Brasileira de História da Matemática e Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia –, não se restringe ao título, palavras-chave ou ao resumo, mas busca a expressão no texto do artigo.

<sup>34</sup> Disponível em: <https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/>. Acesso em: 03 nov. 2018.

Em relação às dissertações e teses, selecionaram-se as disponíveis no Banco de Teses da CAPES. Inicialmente, realizou-se o levantamento das publicações que apresentassem a expressão “números complexos”, resultando em 223 pesquisas, sendo 206 dissertações e dezessete teses, no período de 1988 até 2020. No mapeamento realizado, percebeu-se um crescimento expressivo no estudo de números complexos nas últimas décadas (1990, 2000 e 2010), como pode ser observado na Figura 3.

**Figura 3** – Número de dissertações sobre números complexos nas últimas décadas



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da CAPES.

As primeiras pesquisas cujo tema é números complexos foram publicadas em 1998. As anteriores a esse ano têm temas diversos, como grupos finitos de automorfismos da esfera de Riemann, a álgebra de Weyl, uma experiência didática de formação matemática-epistemológica com professores. Assim, a Tabela 1 apresenta a quantidade de pesquisas desenvolvidas sobre números complexos no período de 1997 até 2019.

**Tabela 1** – Relação da quantidade de pesquisas nos quadriênios de 1997 até 2019

1997-2000	2001-2004	2005-2008	2009-2012	2013-2016	2017-2019
4	5	7	15	138	69

Fonte: Elaborado pelo autor com base no Banco de Teses da CAPES.

Observa-se um aumento significativo nas pesquisas desenvolvidas sobre números complexos, porém isso não significa que todas tenham sido realizadas com o objetivo de

estudar ou ensinar sobre esse assunto, pois o repositório da CAPES busca a palavra/expressão em diferentes campos, quais sejam, título, palavras-chave, área de conhecimento, linha de pesquisa e resumo. Por meio da leitura dos títulos das pesquisas, observou-se que muitos trabalhos não têm como tema os números complexos, mas que o termo aparece nos resumos disponíveis.

Visando a ter o conhecimento de recursos digitais que podem servir como apoio na aprendizagem de números complexos no Ensino Superior, principalmente para acadêmicos de Engenharia, limitou-se a busca, excluindo as pesquisas que não apresentam aplicações pedagógicas de números complexos, selecionando somente trabalhos que possam contribuir com a atual pesquisa.

Ao restringir o levantamento das produções acadêmicas, buscaram-se os termos “números complexos”, “circuitos” e “objeto de aprendizagem”, o que resultou somente em uma dissertação (PINTO, 2015). Esse fato é um indício das poucas pesquisas realizadas sobre esse tema, ao menos no nível da pós-graduação. Em busca da obtenção de mais pesquisas, decidiu-se alterar os termos, realizando mais seis buscas distintas, utilizando: “números complexos”, “ensino” e “circuitos”; “números complexos”, “ensino” e “engenharia”; “números complexos” e “tecnologias”; “números complexos” e “corrente alternada”; “números complexos” e “ensino superior”; e “números complexos” e “objeto de aprendizagem”. Alterando os parâmetros, reduziu-se o número de produções de 223 para 31, sendo todas em nível de mestrado, representando 13,9% do número total de pesquisas sobre números complexos.

### 3.1.2 Classificação e organização

Após a seleção das produções, realizou-se a leitura dos resumos e das introduções das dissertações e a leitura na íntegra dos artigos, categorizando-as em relação ao tema abordado, conforme consta na Tabela 2.

**Tabela 2** – Categorização dos temas das pesquisas desenvolvidas

<b>Tema</b>	<b>Quantidade</b>
Estudos cuja problemática não são números complexos	46
Estudos inspirados em revisão de literatura sobre a evolução histórica e/ou suas aplicações na Matemática	16

Estratégias didáticas utilizando um <i>software</i> de geometria dinâmica ou recursos digitais	15
Estratégias didáticas sem a utilização de <i>software</i> de geometria dinâmica ou recursos digitais	10
Construção de um OA para o ensino de números complexos	7
Estudos inspirados em revisão de literatura sobre aplicações de números complexos em disciplinas de Matemática ou Física	6
Conceitos incompreendidos sobre números complexos	6
Estudos inspirados em revisão de literatura sobre aplicações de números complexos nas Engenharias	5
Calculadora no ensino de números complexos	3
Estudos inspirados em revisão de literatura sobre números complexos na teoria de circuitos elétricos	2
Análise de livros didáticos	2
Estratégia didática relacionando os números complexos com conceitos de Eletricidade	2
Construção de um aplicativo, uma calculadora, para deficientes visuais operarem com números complexos	1
Construção de um ambiente virtual de aprendizagem para o ensino de números complexos	1
Estudo não encontrado	1

---

Fonte: Elaborado pelo autor.

A categoria “Estudos cuja problemática não são números complexos” refere-se a pesquisas cujo objeto de investigação não são os números complexos, mas esses são citados ou apresentados como exemplo. Esse mapeamento permitiu ainda verificar informações sobre a evolução história dos números complexos como objeto de pesquisa ou como fundamentação teórica e, sendo assim, compuseram a categoria “Estudos inspirados em revisão de literatura sobre a evolução histórica e/ou suas aplicações na Matemática”.

Em relação ao ensino de números complexos com tecnologias, têm-se principalmente duas categorias: “Construção de um OA para o ensino de números complexos” e “Construção de um ambiente virtual de aprendizagem para o ensino de números complexos” que abordam, respectivamente, a construção de um OA para promover aprendizagens aos estudantes do Ensino Médio e um projeto piloto para a construção de um ambiente virtual voltado para o Ensino Superior. Além disso, uma pesquisa aperfeiçoou uma calculadora para deficientes visuais, estabelecendo as categorias “Construção de um aplicativo, uma calculadora, para deficientes visuais operarem com números complexos” e “Estratégias didáticas utilizando um

*software* de geometria dinâmica ou recursos digitais”, em que se têm produções de estratégias didáticas desenvolvidas em sala de aula, utilizando recursos digitais, por estudantes de Ensino Médio.

Em ensino, ainda há as categorias “Estratégias didáticas sem a utilização de *software* de geometria dinâmica ou recursos digitais” e “Estratégia didática relacionando os números complexos com conceitos de Eletricidade”. A primeira aborda estratégias didáticas sem a utilização de recursos digitais; a segunda desenvolve atividades para aplicar o conhecimento de números complexos na análise circuitos elétricos em corrente alternada, tendo como participantes estudantes do Ensino Médio Técnico. Outra categoria que reflete no ensino de números complexos é a dos “Conceitos incompreendidos sobre números complexos”, em que o pesquisador verifica os conceitos e as operações que os participantes das pesquisas têm dificuldade em compreender.

Além de produções voltadas ao ensino de números complexos, há estudos inspirados em revisão de literatura sobre a aplicação de números complexos no estudo de variáveis complexas na disciplina de Cálculo, ou em Sistema de Sinais para acadêmicos de Engenharia, estabelecendo, respectivamente, as categorias “Estudos inspirados em revisão de literatura sobre aplicações de números complexos em disciplinas de Matemática” e “Estudos inspirados em revisão de literatura sobre aplicações de números complexos nas Engenharias”.

Há pesquisas que abordam a aplicação de números complexos em disciplinas nos cursos de Matemática e de Engenharia, ou na área aplicada de Matemática ou Física, compondo, respectivamente, as categorias “Estudo inspirados em revisão de literatura sobre aplicações de números complexos em disciplinas de Matemática”, “Estudos inspirados em revisão de literatura sobre aplicações de números complexos nas Engenharias” e “Estudos inspirados em revisão de literatura sobre aplicações de números complexos em disciplinas de Matemática ou Física”. Ademais, há revisões que abordam as propriedades dos números complexos na teoria dos circuitos elétricos, estabelecendo a categoria “Estudos inspirados em revisão de literatura sobre números complexos na teoria dos circuitos elétricos”.

Na categoria “Análise de livros didáticos”, foi considerada a inserção dos números complexos em livros adotados por professores de Engenharia Elétrica. A categoria “Calculadora no ensino de números complexos” contemplou pesquisas que investigam, principalmente, a utilização da função gráfica de calculadora científica, como a HP 49G+, no ensino de números complexos.

Por fim, a categoria “Estudo não encontrado”, refere-se a um artigo<sup>35</sup> de 1992, denominado “Aparecimento dos números negativos e dos complexos a partir da resolução de equações”, de José Orlando de Freitas, que não abordou o ensino de números complexos com as tecnologias e nem da sua aplicação na área de circuitos elétricos em corrente alternada, assim não seria um artigo a ser considerado na análise.

Estabelecidas as categorias, leram-se as produções acadêmicas referentes aos temas: “Estratégias didáticas utilizando um *software* de geometria dinâmica ou recursos digitais”, “Estudos inspirados em revisão de literatura sobre aplicações de números complexos em disciplinas de Matemática ou Física”, “Estratégias didáticas aplicando os números complexos em circuitos elétricos em corrente alternada”, “Construção de um OA para o ensino de números complexos”, “Conceitos incompreendidos sobre números complexos”, “Estudos inspirados em revisão de literatura sobre aplicações de números complexos em Matemática”; “Construção de um ambiente virtual de aprendizagem para o ensino de números complexos” e “Análise de livros didáticos”<sup>36</sup>.

Essa categorização definiu 42 produções, entre artigos e dissertações, que constituíram o mapeamento. O Quadro 1 foi organizado para apresentar as produções conforme o local de publicação, sendo que os códigos iniciados em A são trabalhos publicados em anais de eventos, em PE são artigos de periódicos e em D são dissertações. Dentre as produções, seis (A6, A9, A15, PE9; PE10 e D12) têm o pesquisador da presente tese como autor. Como o mapeamento tem o objetivo de conhecer investigações de outros pesquisadores, analisaram-se somente os textos que não em que não se tinha participação, totalizando 36 trabalhos.

No Quadro 1, é possível identificar os autores, o título da produção, o ano da publicação, o local de divulgação e em que categoria o artigo se enquadrou, conforme a seguinte legenda: SD, Estratégias didáticas utilizando um *software* de geometria dinâmica ou recursos digitais; COA, Construção de um OA para o ensino de números complexos; CAVA, Construção de um ambiente virtual de aprendizagem para o ensino de números complexos; SDCA, Estratégia didática relacionando os números complexos com conceitos de Eletricidade; AE, Estudos inspirados em revisão de literatura sobre aplicações de números

---

<sup>35</sup> Esse artigo não foi encontrado na *web* e nem disponibilizado pela Revista da Associação de Professores, pois esse é um periódico para os sócios da Associação de Professores de Matemática, limitando o acesso das informações para a comunidade em geral.

<sup>36</sup> A escolha por essa categoria deve-se pelo fato de o pesquisador ser um professor de Engenharia, que tem vivenciado as dificuldades de acadêmicos em relação aos processos de ensino e de aprendizagem dos números complexos, principalmente na disciplina Circuitos Elétricos. Sendo assim, o contexto é similar ao da tese.

complexos nas Engenharias; EA, Estudos inspirados em revisão de literatura sobre aplicações de números complexos em Matemática ou Física; AL, Análise de livros didáticos; e DNC, Conceitos incompreendidos sobre números complexos.

**Quadro 1** – Relação das produções acadêmicas selecionadas para o mapeamento

Nº	Referência	Categoria
A1	SILVA, Ana Lucia Vaz da; SOUZA, Ana Patrícia Trajano de; BARBOSA, Andreia Maciel; ROBINSON, Marília Nascimento. Uma abordagem geométrica aos números complexos. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 8., 2004, Salvador. <b>Anais...</b> Salvador/BA, 2004.	SD
A2	FERREIRA, Walnório G.; CAMARGO, Rodrigo S.; FRASSON, Antonio M.; MANSUR, Webe J. O número complexo e seu uso na engenharia estrutural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 35., 2007, Curitiba. <b>Anais...</b> Curitiba/PR, 2007.	AE
A3	BATISTA, Silvia Cristina Freitas; BARCELOS, Gilmara Teixeira; COSTA, Débora Maciel da; BEHAR, Patricia Alejandra. Investigando em C: uma unidade de aprendizagem <i>online</i> para estudo de números complexos. In: CICLO DE PALESTRAS SOBRE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO, 13., 2009, Porto Alegre/RS. <b>Anais...</b> Porto Alegre/RS, 2009.	SD
A4	BERMEJO, Ana Priscila Borges; MORAES, Mônica Suelen Ferreira de; LIMA, Tatiane Alves; GRAÇA, Vagner Viana da. Dificuldades na aprendizagem dos números complexos. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 10., 2010, Salvador. <b>Anais...</b> Salvador/BA, 2010.	DNC
A5	BASTOS FILHO, Flávio Aurélio Siqueira. Números complexos: dificuldades apresentadas pelos discentes de uma escola da região metropolitana de Belém acerca de atividades envolvendo a forma algébrica dos números complexos. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 10., 2010, Salvador. <b>Anais...</b> Salvador/BA, 2010.	DNC
A6	MORALES, Andréa Cantarelli; PUHL, Cassiano Scott; LIMA, Isolda Gianni de. Números complexos e corrente alternada: um contexto interdisciplinar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 41., 2013, Gramado. <b>Anais...</b> Gramado/RS, 2013.	DNC
A7	NETO, Rafael Vassallo. O ensino de números complexos. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 11., 2013, Curitiba. <b>Anais...</b> Curitiba/PR, 2013.	DNC

A8	BARBOSA, Gisele. Desafios e possibilidades de integrar o ensino de números complexos ao uso do <i>software</i> GeoGebra. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 11., 2013, Curitiba. <b>Anais...</b> Curitiba/PR, 2013.	SD
A9	PUHL, Cassiano Scott. Números complexos: rumo a uma aprendizagem significativa. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENSINO DA MATEMÁTICA, 6., 2013, Canoas/RS. <b>Anais...</b> Canoas/RS, 2013.	SD
A10	ELI, Juliano; BAIER, Tânia. Raízes quadradas de números negativos: concepções de estudantes do ensino médio. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENSINO DA MATEMÁTICA, 6., 2013, Canoas/RS. <b>Anais...</b> Canoas/RS, 2013.	DNC
A11	STUMP, Sandra M.; ABAR, Celina A. A. P. Objetos de aprendizagem para ensino de circuitos elétricos em regime estacionário com o uso de números complexos em um curso de engenharia elétrica. In: CONGRESSO INTERNACIONAL EM EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA E COMPUTAÇÃO, 8., 2013, Luanda – Angola. <b>Anais...</b> Luanda – Angola, 2013.	AE
A12	PINTO, José Eustáquio; LAUDARES, João Bosco. Objeto de Aprendizagem: Ensino dos Números complexos com Aplicações na área técnica em eletroeletrônica. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 6., 2015, Pirenópolis/GO. <b>Anais...</b> Pirenópolis/GO, 2015.	SD
A13	KAMASSURY, Jorge Kysnney Santos; BARRETO, Andrew Henrique; DUARTE, Wandesson Gomes. Uma breve discussão sobre as aplicações das funções de variável complexa do curso de engenharia física da UFOPA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 44., 2016, Natal. <b>Anais...</b> Natal/RN, 2016.	AE
A14	AMORIM, Tânia Mara; OLIVEIRA, Paulo César. O <i>software</i> GeoGebra: uma ferramenta para o ensino dos números complexos. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 12., 2016, São Paulo. <b>Anais...</b> São Paulo/SP, 2016.	SD
A15	PUHL, Cassiano Scott; LIMA, Isolda Gianni de; MÜLLER, Thaísa Jacintho. Interagindo com os números complexos: compreendendo circuitos elétricos de corrente alternada. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENSINO DA MATEMÁTICA, 7., 2017, Canoas/RS. <b>Anais...</b> Canoas/RS, 2017.	AE
PE1	MELLO, Sílvio Quintino de; SANTOS, Renato Pires dos. O	SDCA

	ensino de Matemática e a educação profissional: a aplicabilidade dos números complexos na análise de circuitos elétricos. <b>Acta Scientiae</b> , Canoas/RS, v. 7, n. 2, jul./dez. 2005.	
PE2	PARDO, Tomás; GÓMEZ, Bernardo. La enseñanza y el aprendizaje de los números complejos: un estudio en el nivel universitario. <b>PNA - Revista de Investigación en Didáctica de la Matemática</b> , Granada – Espanha, v. 2, n. 1, jan. 2007.	DNC
PE3	BATISTA, Silvia Cristina Freitas; BARCELOS, Gilmar Teixeira; COSTA Débora Maciel da; BEHAR, Patricia Alejandra. Investigando em C: uma unidade de aprendizagem online para estudo de números complexos. <b>RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação</b> , Porto Alegre/RS, v. 7, n. 1, jul. 2009.	COA
PE4	MONZON, Larissa Weyh; GRAVINA, Maria Alice. Uma Introdução às funções de variável complexa no Ensino Médio: uma possibilidade através do uso de animações interativas. <b>Bolema</b> , Rio Claro/SP, v. 27, n. 46, ago. 2013.	COA
PE5	ABEGG, Ilse; RAMOS, Diego Berlezi. Investigação de ferramentas e métodos de ensino de circuitos de corrente alternada para curso introdutório de eletrotécnica. <b>Revista Dynamis</b> , Blumenau/SC, v. 19, n. 1, 2013.	SD
PE6	BITENCOURT, Agner Lopes; VARGAS, Paulo Roberto; FELICETTI, Vera Lucia. Una propuesta pedagógica: utilizando el <i>software</i> Geogebra en la rotación de vectores complejos. <b>Amazônia - Revista de Educação em Ciências e Matemáticas</b> , Belém/PA, v. 11, n. 21, jul./dez. 2014.	SD
PE7	PINTO, José Eustáquio; LAUDARES, João Bosco. Objeto de Aprendizagem de Números Complexos com aplicações na área técnica em eletroeletrônica. <b>Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia</b> , Ponta Grossa/PR, v. 9, n. 3, maio/ago. 2016.	COA
PE8	ALVES, Francisco Regis Vieira. Transição complexa do cálculo – TCC: engenharia didática para as noções de sequências, séries e série de potências. <b>Educação Matemática em Revista-RS</b> , Canoas/RS, v. 1, n. 17, 2016.	EA
PE9	PUHL, Cassiano Scott; LIMA, Isolda Gianni de. Números complexos: interação e aprendizagem. <b>Educação Matemática em Revista</b> , Brasília/DF, v. 22, n. 55, jul./set. 2017.	COA
PE10	PUHL, Cassiano Scott; LIMA, Isolda Gianni de. Interagindo com os números complexos: revivendo o problema das raízes sofistas. <b>Perspectivas da Educação Matemática</b> , Campo Grande/MS, v. 10, n. 24, set./dez. 2017.	SD
D1	REIS, Antônio Carlos Moreira. <b>A aplicação dos números</b>	EA

	<b>complexos aos circuitos de corrente alternada no Ensino Técnico:</b> Uma análise no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI). 2009. 98f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Luterana do Brasil, Canoas/RS, 2009.	
D2	OLIVEIRA, Carlos Nely Clementino de. <b>Números complexos:</b> um estudo dos registros de representação e de aspectos gráficos. 2010. 190f. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo/SP, 2010.	SD
D3	MONZON, Larissa Weyh. <b>Números Complexos e funções de variável complexa no ensino médio:</b> uma proposta didática com uso de objeto de aprendizagem. 2012. 134f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2012.	COA
D4	COELHO, Michelle da Costa Barros. <b>Números complexos e suas aplicações geométricas no ensino superior.</b> 2013. 112f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro/RJ, 2013.	SD
D5	FREITAS, Tania Mara Amorim de. <b>O estudo dos números complexos no Ensino Médio:</b> uma abordagem com a utilização do GeoGebra. 2014. 238f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 2014.	SD
D6	VILAS BOAS JUNIOR, Valencastro Pereira. <b>Números complexos:</b> Interpretação geométrica e aplicações. 2014. 58f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal da Bahia, Salvador/BA, 2014.	EA
D7	PINTO, José Eustáquio. <b>Objeto de aprendizagem para o ensino de números complexos com aplicações na área técnica em Eletroeletrônica.</b> 2015. 112f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 2015.	COA
D8	CABANILLAS, Segundo Aurelio Chuquilin. <b>Introdução ao estudo dos números complexos e sua aplicação nos circuitos elétricos.</b> 2016. 62f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís/MA, 2016.	SD
D9	COSTA, Jefferson Carmo da. <b>Números complexos:</b> uma abordagem com ênfase em aplicações na matemática e em outras áreas. 2016. 67f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís/MA, 2016.	EA
D10	GERMANO, Jose Gleisson da Costa. <b>Uma proposta de abordagem dos números complexos com o uso do GeoGebra.</b> 2016. 132f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza/CE, 2016.	SD

D11	AZEVEDO, Douglas Pereira. <b>Ensino desenvolvimental: um experimento didático formativo para o estudo dos números complexos.</b> 2016. 198f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Jataí/GO, 2016.	SD
D12	PUHL, Cassiano Scott. <b>Números complexos: interação e aprendizagem.</b> 2016. 244f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul/RS, 2016.	COA
D13	LINHARES, Marcos Francisco. <b>Análise dos Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVAs) AulaNet, Moodle e TeleEduc e implementação do ambiente Moodle na Universidade Santa Úrsula.</b> 2017. 109f. Dissertação (Mestrado Profissional de Gestão do Trabalho para a qualidade do Ambiente Construído) – Universidade Santa Úrsula, Rio de Janeiro/RJ, 2017.	CAVA
D14	AGRICCO JUNIOR, Renato Cezar. <b>Números complexos e grandezas elétricas: análise de livros didáticos apoiada na teoria dos registros de representações semióticas.</b> 2017. 215 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Anhanguera de São Paulo, São Paulo/SP, 2017.	AL
D15	LIMA, Herbert Mavel de. <b>Aplicação de números complexos em circuitos elétricos.</b> 2017. 143 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do ABC, Santo André/SP, 2017.	EA
D16	OLIVEIRA, Wellington Galdino Alves de. <b>Estudo e aplicações dos números complexos: O uso dos Números Complexos na Análise de Circuitos Elétricos.</b> 2018. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro/RJ, 2018.	EA
D17	SILVA, Nilson Alves da. <b>Uma situação didática para ensino de números complexos com foco em eletricidade pela via da Engenharia Didática.</b> 2016. 226 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.	SDCA

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da leitura das produções, organizaram-se sínteses, identificando características convergentes e divergentes com a tese, bem como contribuições para compreender a problemática investigada. Assim, não se pretende apresentar as produções mapeadas, mas, sim, tópicos considerados relevantes para esta pesquisa. Além disso, na subseção seguinte, as citações utilizadas referem-se às respectivas produções analisadas e, por esse motivo, não constaram no decorrer do presente trabalho, sendo as mesmas identificadas por siglas para um melhor entendimento da análise realizada (BIEMBENGUT, 2008).

### 3.1.3 Reconhecimento e análise

Nas produções mapeadas, observou-se uma preponderância de pesquisas ou relatos de experiências sobre o estudo de números complexos no Ensino Médio ou Ensino Médio Técnico (A1, A3, A8, A12, A14, PE1, PE4, PE5, PE7, D1, D2, D3, D5, D7, D11, D15 e D17), e outras pesquisas voltadas ao ensino de números complexos no Ensino Superior (PE3, PE6 e D4).

Em relação ao uso de OA no processo de ensino de números complexos, têm-se as seguintes produções: A3, PE3, PE4, D3, A12, PE7, D7 e A11. Os construtores desses OA, fizeram uso do GeoGebra, criando aplicativos que permitem ao professor relacionar os conhecimentos algébricos com os geométricos, qualificando os processos de ensino e de aprendizagem de números complexos. Essas pesquisas tinham objetivos distintos, bem como diferentes participantes: professores e licenciados de Matemática (A3 e PE3), estudantes de Ensino Médio (PE4 e D3) e estudantes de Ensino Médio Técnico (PE1, A12, PE7 e D7).

Os autores de A3 e de PE3 realizaram uma investigação com professores, avaliando o nível de dificuldade das atividades, sendo que pouco mais do que a metade dos participantes consideraram “moderado” e as demais “fácil”. Nesses estudos, abordam-se a criação e a avaliação do OA, “Investigando em  $C$ ”<sup>37</sup>. Para os autores, a justificativa para considerar o nível de dificuldade “moderado” consiste na pouca utilização de atividades investigativas em sala de aula, sendo que, na maioria das vezes, se utiliza o modelo presente no livro didático: abordagem teórica, exemplos resolvidos e exercícios.

Os autores da PE4 e da D3 desenvolvem um OA para o ensino de funções de variáveis complexas, com o objetivo de introduzir esse conteúdo no Ensino Médio, denominado “Números Complexos”<sup>38</sup>. Além de criar aplicativos do GeoGebra, os autores disponibilizaram recortes da coletânea de vídeos “Dimensions: une promenade mathématique”, explicando sobre números complexos e funções, explorando o processo de criação de fractais. A ênfase principal da pesquisa está na interação com o GeoGebra, pois os estudantes manipulavam a animação de acordo com seu interesse e dificuldade, transitando entre registros algébrico e geométrico, conduzindo a aprendizagem de situações simples a mais elaboradas. Em busca de evidenciar a aprendizagem do estudante, foi criado um ambiente denominado “Para Pensar”, que apresenta um conjunto de questões a serem

---

<sup>37</sup> Disponível em: <http://www.es.iff.edu.br/softmat/projetotic/portaltic/applets/numeros-complexos>. Acesso em: 8 fev. 2016.

<sup>38</sup> Disponível em: [http://www.ufrgs.br/espmat/disciplinas/numeros\\_complexos/](http://www.ufrgs.br/espmat/disciplinas/numeros_complexos/). Acesso em: 16 fev. 2021.

exploradas e resolvidas. Após a utilização do OA, os autores concluíram que o ambiente “Para Pensar” se mostrou propício para o desenvolvimento de uma aprendizagem com autonomia. Além disso, citam que, com o OA, é possível ampliar o universo das funções que podem ser estudadas na escola. Desse modo, pode-se abordar, na Educação Básica, os processos interativos com funções de variável complexa, mostrando uma aplicação dos números complexos na origem e nas apreciadas figuras dos fractais. Por fim, os autores consideram que o OA promoveu a compreensão de conceitos relacionados aos números complexos, por meio da sua interatividade e da interação entre estudantes e professor.

A problemática apresentada pelos autores da A12, PE7 e D7 tem ênfase na análise de circuitos elétricos em CA, num experimento aplicado a vinte estudantes do segundo ano do Curso Técnico em Equipamentos Biomédicos, da área de eletroeletrônica, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, que interagiram com OA denominado “Descomplicando os complexos”<sup>39</sup>. O OA busca desenvolver uma aprendizagem autônoma sobre os números complexos, com aplicações na área técnica em eletroeletrônica, sendo composto de seis atividades: as duas primeiras abordam a relação algébrica e geométrica dos números complexos, associando-os com vetores, tendo como objetivo a aprendizagem das propriedades matemáticas; e as quatro seguintes, envolvem a aplicação dos conceitos e das operações envolvendo os números complexos na análise de circuitos elétricos.

Nesses estudos, os dados foram analisados qualitativamente, com o método de Análise de Erros, sendo definidas quatro categorias em relação aos erros cometidos pelos estudantes:

- Erros na compreensão do enunciado: erros relacionados a uma má interpretação do enunciado do item e dos dados presentes no enunciado da atividade disponibilizado na tela do Objeto de Aprendizagem.
- Incompreensão do ambiente informatizado: erros relacionados à dificuldade de manusear ou entender as ferramentas que dinamizam o enunciado dos itens da atividade.
- Erros operacionais: são erros relacionados à defasagem de conteúdo, à manipulação algébrica ou à desatenção nos passos de resolução.
- Erros de compatibilidade: erros relacionados à falta de coerência da resposta com os dados dos itens da atividade.

---

<sup>39</sup> Disponível em: <https://www.geogebra.org/u/eustaquio+pinto>. Acesso em: 26 out. 2018.

Os autores do PE7 relatam que o OA “Descomplicando os Complexos” propiciou interação entre o professor, os estudantes e as atividades propostas, além de estimular a realização de experimentações e simulações. Em virtude disso, os estudantes exploraram e formalizaram as propriedades relacionadas às operações, a partir da movimentação de pontos e vetores, bem como a representação geométrica das operações com números complexos.

Outro estudo que aborda a utilização de objetos de aprendizagem no ensino da análise de circuitos elétricos em CA em estado estacionário é o A11. O A11 é o que tem mais características em comum com a tese, principalmente por se destinar aos acadêmicos de Engenharia Elétrica. Porém, o objetivo do A11 foi o de verificar as contribuições de objetos de aprendizagem, nesse caso, simulações que proporcionam a visualização e a interação com uma abordagem algébrica – equações senoidais e cossenoidais –, e com uma abordagem geométrica – representações usando números e gráficos no plano complexo – para a compreensão de circuitos elétricos em um curso de Engenharia Elétrica. Cabe destacar a pesquisa descrita no A11 é um projeto cuja aplicação não foi divulgada e cuja maior ênfase está na análise de circuitos elétricos, diferentemente desta tese, que tem o objetivo de avaliar o objeto de aprendizagem multimodal MatEletric, como um exemplo de material didático desenvolvido seguindo as orientações de pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa de forma integrada à estratégia da resolução de problemas, a partir das percepções de acadêmicos e de um professor de Engenharia Elétrica.

Os autores do A11 citam duas formas de representações, trigonométrica e fasorial, para a análise de circuitos elétricos em CA no estado estacionário. Na análise que utiliza uma representação trigonométrica, as operações realizadas envolvem conceitos mais amplos, que necessitam um nível de conhecimento matemático mais elevado, como equações de identidades trigonométricas e equações diferenciais. Já ao utilizar a representação fasorial, é possível transformar as equações diferenciais que representam um circuito elétrico em equações algébricas, e, nesse caso, as equações algébricas simplificam as operações para realizar a análise.

A proposta dos autores do A11 inclui três fases: inicialmente, a elaboração de material didático teórico, para auxiliar na superação de dificuldades detectadas, visando a promover uma revisão conceitual do conteúdo específico, abordado em aulas teóricas convencionais. Em um segundo momento, a disponibilização, para os acadêmicos, de um objeto de aprendizagem interativo, com possibilidades de simulações que permitem a transição entre as diferentes representações de números complexos. Por fim, a avaliação, que

pode ser organizada por questões de múltipla escolha, dissertativas, ou projetos para análise de desempenho de circuitos elétricos.

Apesar de não se caracterizar como um OA, os autores da D13 apresentam um projeto piloto de um curso a distância no Moodle para o ensino de números complexos. Do estudo descrito na D13, participaram acadêmicos de Engenharia, da disciplina de Circuitos Elétricos II, da Universidade de Santa Úrsula, no estado do Rio de Janeiro, que têm defasagem nos conhecimentos matemáticos sobre números complexos. A pesquisa traz um contexto problemático, similar ao apresentado na introdução da tese: a defasagem de conhecimento sobre números complexos, que é pré-requisito para o curso de Circuitos Elétricos II, sendo que esse conteúdo não faz parte do programa do semestre letivo. Dessa forma, o acadêmico de Engenharia precisa aplicar os conceitos operacionais de números complexos durante os estudos de Circuitos Elétricos II. Assim, o autor sugere a utilização do Moodle para que o acadêmico aprenda números complexos, para, posteriormente, o professor seguir com a disciplina sem ter de interromper sua programação para passar conceitos matemáticos.

Além dessas produções que utilizam tecnologias, como OA, para o ensino de números complexos, faz-se pertinente discutir outras pesquisas aplicadas que tiveram como participantes acadêmicos, tais como PE6 e D4. Os autores da PE6 destacam a importância de abordar os números complexos por meio de diferentes representações, ao integrar a álgebra com a geometria. Nesse estudo, foram propostos quatro exercícios de rotação no plano Argand-Gauss, resolvidos com o auxílio do GeoGebra, para doze licenciandos de Matemática, do Centro Universitário La Salle, na disciplina de Variáveis Complexas. Além dos exercícios, os autores analisaram dois livros didáticos do Ensino Médio: *Matemática*, de Manoel Paiva, publicado em 1999; e *Matemática, contexto e aplicações*, de Luiz Roberto Dante, publicado em 2012. A conclusão foi que sua organização considera um modelo de aula considerada tradicional: apresenta-se a teoria, seguida de exemplos resolvidos e, por fim, há uma lista de exercícios, sem destacar as diferentes representações dos números complexos e sem proporcionar atividades interativas ou investigativas.

Das pesquisas aplicadas utilizando OA ou no Ensino Superior, somente a estratégia didática da PE6 foi aplicada a acadêmicos que nunca haviam estudado os números complexos, sendo que os autores descrevem a estratégia didática, não apresentando detalhes da sua aplicação em sala de aula. Nas demais pesquisas, os participantes já tinham algum conhecimento sobre esse tipo de número, e os objetivos eram ampliar o conhecimento de

números complexos, em termos matemáticos ou físicos, ou verificar o nível de conhecimento dos participantes.

A pesquisa D4, por sua vez, foi desenvolvida na disciplina de Cálculo, em que os conhecimentos de números complexos e de geometria foram utilizados para determinar a derivada das funções seno e cosseno. Nessa pesquisa, também, buscou-se investigar as contribuições de uma estratégia didática, ensinando os números complexos por meio de uma abordagem geométrica com o *software* Régua e Compasso.

Apesar da produção PE1 não ter como participantes acadêmicos, considera-se relevante apresentar brevemente o contexto dessa investigação. Os participantes de PE1 foram professores do Ensino Médio Técnico do Rio Grande do Sul, cujo objetivo foi investigar a aplicabilidade dos números complexos como estratégia de ensino na análise de circuitos elétricos em CA. Nesse estudo, houve duas turmas experimentais que utilizaram a análise complexa – com números complexos –, enquanto uma turma de controle utilizou a análise fasorial – sem os números complexos. Após a aplicação da estratégia didática, os autores entrevistaram os professores participantes, verificando que a análise complexa é mais usada pelos professores que têm maior titulação, ao contrário da análise fasorial, que é adotada por professores que não trilharam um caminho acadêmico mais extenso.

Em relação ao ensino da análise de circuitos elétricos em CA, 51,4% dos professores entrevistados relataram que utilizam a análise fasorial, 32,4% utilizam diferentes métodos, 13,5% fazem uso da análise complexa e uma minoria, 2,7%, usam *softwares* de simulações. Os resultados mostraram que as tecnologias ainda são pouco exploradas e utilizadas pelos professores. Uma explicação para o baixo percentual da utilização da análise complexa, segundo praticamente metade os professores, é o fato de que, no ensino de números complexos, não são apresentadas aplicações. Outras justificativas que apareceram com alguma expressão foram de que os estudantes não estudaram ou que eles não compreenderam os números complexos.

Vale ressaltar que a análise fasorial apresenta limitações, sendo impraticável, principalmente, na análise de circuitos mistos. O conhecimento de números complexos facilita e permite que sejam explorados circuitos com um número maior de componentes, sendo assim um pré-requisito para os estudantes da disciplina de Eletricidade. Em relação ao procedimento de análise, os autores do PE1 fizeram uma análise quantitativa de algumas questões dos relatos dos professores participantes da pesquisa.

Em uma perspectiva similar ao trabalho PE1, o PE5 consiste em uma estratégia didática para os estudantes da disciplina de Eletrotécnica-II do curso Técnico em

Eletromecânica do Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, que utiliza recursos digitais para auxiliar na compreensão dos conceitos relacionados aos circuitos elétricos em CA. Segundo os autores, os conhecimentos sobre circuitos em CA, na maioria das vezes, implicam maior dificuldade, pois o estudante precisa relacionar elementos matemáticos, como números complexos, conceitos de geometria e noções de grandezas fatoriais, com conhecimentos da Física mais avançada, tais como leis do eletromagnetismo ou produção de energia elétrica. Em busca de auxiliar nos processos de ensino e de aprendizagem, os autores utilizam três recursos digitais: um vídeo disponível no *site* YouTube; um aplicativo, em JAVA, que permite ao estudante manipular elementos sobre as características de um gerador elementar de CA; e um *software* de simulação comercial chamado PSIM, que consiste em uma ferramenta computacional mais ampla, podendo ser utilizada em disciplinas que abordam eletrônica, máquinas elétricas, fontes alternativas, entre outras.

Além das contribuições em relações às tecnologias ou ao ensino de números complexos para acadêmicos, esse mapeamento permitiu conhecer os conceitos e operações que os estudantes têm dificuldades em compreender. Por exemplo, na investigação do A4, foi aplicado um questionário, contendo quatro questões abertas sobre números complexos aos 36 estudantes do primeiro ano do Ensino Médio. A percentagem de questões certas foi baixa, mostrando fortes indícios de lacunas e defasagens sobre números complexos. Em uma questão que consistia em determinar as raízes de duas equações do segundo grau, apenas três estudantes resolveram corretamente. Em outra questão, que envolvia as operações de multiplicação e de adição, só quatro acertaram. Dentre os erros, o que mais chamou a atenção foi o fato de muitos estudantes não conhecerem a equivalência da unidade imaginária ( $i^2 = -1$ ), pois efetuaram as operações corretas, mas não fizeram a equivalência e igualaram a zero para resolver como se fosse uma equação do segundo grau, conforme a Figura 4.

**Figura 4** – Erro cometido por um estudante da pesquisa do A4

1. Sendo  $a = -4 + 3i$ ,  $b = 5 - 6i$  e  $c = 4 - 3i$ , qual o valor de  $ac + b$ ?

$$(-4 + 3i) \cdot (4 - 3i) + 5 = 6i$$

$$-16 + 12i + 12i - 9i^2 + 5 - 6i = 0$$

$$\boxed{-9i^2 + 18i - 11 = 0}$$

Fonte: (BERMEJO; MORAES; LIMA; GRAÇA, 2010, p. 3).

Na pesquisa A5, foi aplicado um questionário para 41 estudantes do primeiro ano do Ensino Médio, composto de cinco questões abertas que abordavam os conceitos e as operações na forma algébrica dos números complexos. Os estudantes tinham aproximadamente sessenta minutos para resolver as questões. Segundo os autores, devido ao pouco tempo, nenhum estudante respondeu a todas. Sobre os conceitos em que os estudantes apresentaram dificuldades, constatou-se que 48,8% não souberam realizar a operação de potenciação, 36,6% não sabiam o conceito de conjugado, 31,7% não efetuaram corretamente as operações, 22% não sabiam interpretar geometricamente um número complexo e 7,3% não souberam distinguir a parte real da parte imaginária. Cabe ressaltar que os autores do A4 e A5 não descreveram os métodos que foram utilizados para o ensino de números complexos, somente realizaram um levantamento das dificuldades apresentadas pelos estudantes.

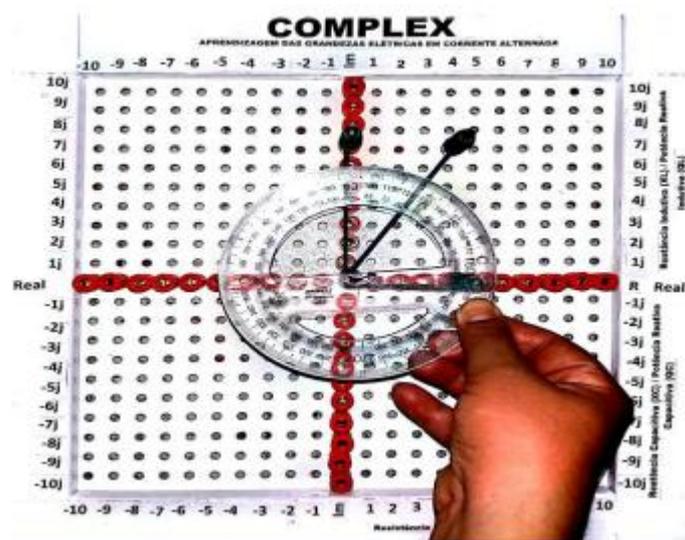
Em outra investigação, o trabalho A10, de uma pesquisa aplicada a 116 estudantes de Ensino Médio de quatro escolas localizadas no Vale do Itajaí, buscou-se identificar a concepção que os estudantes têm a respeito da raiz quadrada de número negativo. Os resultados apontaram que metade dos estudantes apresentam dificuldades em aceitar a existência de números envolvendo raízes quadradas de números negativos, afirmando que “é impossível”, “não existe” ou “não existe um número que elevado ao quadrado, dê negativo”. Uma minoria, aproximadamente 3%, respondeu que esse número “não existe nos Reais”.

Por último, no artigo PE2, é verificado o nível de conhecimento sobre números complexos de dezenove licenciandos de Matemática da Universidade de Valência. Para isso, foi aplicado um questionário composto de cinco questões, das quais somente quatro foram apresentadas. Os dados da pesquisa PE2 evidenciam o desconhecimento dos licenciandos sobre os números complexos. Somente cinco resolveram corretamente uma equação de segundo grau com discriminante negativo, sendo que a maioria afirmou que não era possível resolver, pois não existe raiz quadrada de número negativo. Complementando esse cenário, ninguém reconheceu a existência de um logaritmo de número negativo, pois para a maioria esse número não existe, já que só existe logaritmo de números positivos. Na multiplicação, menos da metade dos licenciandos resolveu corretamente a operação com números complexos, e ninguém relatou a impossibilidade de ordenar os números complexos. Por fim, os autores concluem que o ensino de números complexos não considera as dificuldades e as inconsistências que estiveram presentes ao longo da evolução e da história. Com isso os estudantes reproduzem esse cenário, não compreendendo os conceitos e as operações com os números complexos.

As incompreensões relatadas nas pesquisas A4, A5, A10 e PE2 podem estar associadas às dificuldades dos estudantes em construir significado do conteúdo, pois o seu ensino ocorre de forma descontextualizada. Diante desse desafio, há pesquisadores que estão buscando realizar ou se aproximam de uma prática interdisciplinar, como a D15, na qual o autor destaca a necessidade de mostrar aplicações reais para motivar os estudantes a darem importância aos conhecimentos escolares. Nesse estudo, D15, é elaborado um roteiro de aprendizagem com o objetivo de utilizar os números complexos para calcular a impedância em circuitos elétricos compostos por resistores, capacitores e indutores. Contudo, não há uma descrição do autor sobre as atividades e sobre como elas foram desenvolvidas em aula, somente é apresentado o roteiro que é composto por dez exercícios: cinco de conceitos de números complexos e outros cinco na área da elétrica.

De forma similar à D15, a D17 apresenta quinze problemas<sup>40</sup> que relacionam os números complexos com os componentes e a análise de circuitos elétricos em corrente alternada. Essa investigação buscou promover o protagonismo do estudante na aprendizagem de conceitos e operações de números complexos – representação retangular; representação polar; adição na forma retangular; multiplicação na forma retangular; e multiplicação na forma polar –, por meio da resolução de problemas e da manipulação de um recurso didático, que representa o plano Argand-Gauss, denominado *Complex* (Figura 5).

**Figura 5** – *Complex*, o recurso didático construído na D17



Fonte: Silva (2016, p. 63).

<sup>40</sup> Os problemas envolvem operações diretas com números complexos aplicados na Elétrica. Os estudantes não precisam ter um conhecimento avançado de Eletricidade, pois não se analisará circuitos elétricos em corrente alternada, e nem de números complexos, pois não envolverá várias operações.

O pesquisador da D17 analisou as dimensões epistemológica, cognitiva e didática envolvidas em cada resolução de problema, constando de indicativos de aprendizagens desenvolvidas em quatorze dos quinze problemas, sendo que a principal dificuldade esteve associada à multiplicação na forma polar.

### **3.1.4 Confluências e divergências com a pesquisa**

Inicialmente, ressalta-se que esse foi um recorte sobre o tema, analisando alguns conceitos considerados relevantes, nas produções acadêmicas de dez eventos das áreas de ensino de Matemática, ensino de Engenharia e da Informática na Educação, de periódicos com *qualis* A1, A2 e B1, na área de ensino do quadriênio 2013-2016, além de dissertações. Os resultados em percepções e conclusões poderiam ser diferentes caso fossem analisadas outras produções com um objetivo diferente do proposto nesta tese.

As pesquisas analisadas mostram uma prevalência na investigação e na avaliação de estratégias didáticas para o ensino de números complexos, principalmente para o Ensino Médio, no qual as tecnologias são utilizadas para facilitar a abordagem geométrica sobre o conteúdo. A integração entre tecnologias, geometria e números complexos proporcionaram resultados satisfatórios em todas as pesquisas, em relação às aprendizagens desenvolvidas. Contudo, mesmo envolvendo investigações sobre processo de aprendizagem, poucas pesquisas utilizaram como fundamentação as teorias de aprendizagem, sendo uma característica essencial para que, realmente, as tecnologias qualifiquem os processos de ensino e de aprendizagem.

O mapeamento indica poucos recursos para ensinar os números complexos no Ensino Superior, conforme também foi exposto na D13, na qual se constatou haver poucas produções acadêmicas dedicadas ao ensino e aprendizagem de números complexos e de grandezas elétricas nos cursos superiores de Engenharia Elétrica, considerando-o um tema digno de mais pesquisas. Os autores do A13 afirmam que os números complexos são uma área nobre, de grande tradição matemática e onipresente na Engenharia Moderna, ao mesmo tempo, com notável vitalidade, refletida na intensa atividade de pesquisa que se desenvolve nos dias atuais. Complementando essa perspectiva, professores que participaram da pesquisa do artigo PE1 destacam a importância dos números complexos como um conhecimento prévio, para o desenvolvimento de uma aprendizagem significativa de circuitos elétricos em CA,

principalmente por proporcionar a compreensão de conceitos mais inclusivos, o que seria impraticável ao utilizar a análise fasorial.

Em uma perspectiva similar, o autor da D16 espera que sejam realizados mais estudos sobre os números complexos, ressaltando a importância de apresentar esse conteúdo aos estudantes do Ensino Médio para mantê-lo no currículo escolar. Além disso, os autores da D16 e da D17 reconhecem que os números complexos são um conhecimento que facilita a análise de circuitos elétricos em corrente alternada, evitando o uso da forma trigonométrica do domínio de tempo, ou seja, de identidades trigonométricas.

Contudo, os autores do A13 e do PE5 afirmam que o ensino de números complexos em cursos de Engenharia não atinge níveis satisfatórios, pois há dificuldades em correlacionar os conceitos matemáticos desenvolvidos em sala de aula com conteúdos e exemplos práticos intrínsecos à Engenharia. Segundo os autores de A13, o distanciamento entre a teoria e a prática é justificado, em grande parte, pela demasiada carga horária dedicada a tópicos teóricos, pela ausência de laboratórios apropriados e até mesmo pela postura resistente de professores em repensar suas estratégias didáticas. Sendo assim, traz-se à tona a dificuldade de vincular o conhecimento matemático com situações práticas e reais.

Além da dificuldade de relacionar a teoria com a prática, os autores de PE1 e PE2 mostram um cenário em que os estudantes não têm um conhecimento mínimo sobre os números complexos, implicando dificuldades na aprendizagem de circuitos elétricos em CA. O estabelecimento de relações não arbitrárias e não literais entre conceitos teóricos com as situações práticas somente ocorrerá se os estudantes tiverem conhecimentos estáveis sobre números complexos na sua estrutura cognitiva, caso contrário, dificilmente ocorrerá o processo de interação entre conhecimentos prévios (conhecimentos matemáticos) e novos (conhecimentos de Física), pois os processos de reconciliação integradora e diferenciação progressiva não ocorrerão. Sem os conhecimentos prévios necessários, dificilmente o estudante desenvolverá uma aprendizagem significativa, pois não ocorrerá a interação entre aquilo que o estudante já sabe e o novo conhecimento. Nesse cenário, possivelmente, o estudante não irá aprender ou realizará uma aprendizagem mecânica, na qual memorizará algoritmos para resolver casos específicos envolvendo os números complexos.

A defasagem em conhecimentos de números complexos por acadêmicos de Engenharia não é um problema somente desta investigação de tese, sendo reconhecido também pelos pesquisadores (A6, A7, D13 e D14). O autor do A7 afirma que o ensino dos números complexos está em uma situação um tanto paradoxal: de um lado, não são estudados adequadamente no Ensino Superior por serem considerados conhecimento básico e, de outro,

são evitados no Ensino Médio por serem considerados pouco necessários ou inúteis. Complementando essa perspectiva, na última versão da BNCC (BRASIL, 2018), os números complexos não são contemplados como conhecimento básico para estudantes do Ensino Médio. Entende-se que esse cenário justifica a importância desta investigação e da criação de um OAM que possa auxiliar os acadêmicos de Engenharia, por meio de uma abordagem significativa e contextualizada dos números complexos.

Outro aspecto que difere as produções mapeadas da presente tese está na organização didática do material, sendo que nenhuma pesquisa descreve o ensino de números complexos para, posterior ou concomitantemente, abordar a análise de circuitos elétricos em CA ressaltando a importância dos dois conteúdos: matemático e físico. Essa perspectiva é diferente da que se tem nesta tese, em que se pretende, a partir de uma situação problema na área da elétrica, mostrar a necessidade de compreender os números complexos para realizar a análise de circuitos elétricos em CA.

Os trabalhos A11 e A12 são os mais próximos do tema a ser investigado nessa pesquisa, porém, ambos têm aspectos diferentes do contexto apresentado na introdução desta tese. O trabalho relatado no artigo A11 tem o mesmo público-alvo, acadêmicos de Engenharia Elétrica, e a mesma temática, a análise de circuito em CA com a utilização de objetos de aprendizagem. Contudo, é um projeto de pesquisa apresentado em sua fase inicial e no qual não estão claras as etapas que serão realizadas, nem como ocorrerá a coleta de dados. O artigo é de 2013 e, até o presente momento, não se tem evidências de que esse projeto tenha tido continuidade.

Além disso, observa-se que a ênfase do projeto do A11 está na análise do circuito elétrico, sendo que, inicialmente, os acadêmicos manipulam um material didático teórico, para aprender os conceitos de Matemática e da Elétrica, e depois interagem com simulações, para compreender as diferentes representações. Ainda em relação aos objetos de aprendizagem, os autores não descrevem e nem definem as simulações que serão utilizadas.

Concorda-se com a realidade detectada pelos autores do A11 em dois aspectos: em primeiro lugar, a maioria das disciplinas de Engenharia prioriza a resolução de exercícios utilizando algoritmos, não proporcionando ao acadêmico a compreensão dos conceitos matemáticos utilizados, aplicando-os de forma mecânica; em segundo lugar, a representação fasorial facilita a manipulação e a análise dos circuitos elétricos em CA, sendo assim necessário o conhecimento de números complexos.

As tecnologias podem auxiliar os professores a resolverem esse problema, utilizando, por exemplo, um OA. Porém, não se pode acreditar que as tecnologias sejam a solução para

os problemas da educação. Nesse aspecto, concorda-se com a fundamentação apresentada na D7, que defende que as tecnologias não podem ser utilizadas somente para substituir o giz e o quadro negro ou uma aula expositiva (MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013). Um modo de tornar o recurso tecnológico mais eficaz é desenvolvê-lo ou utilizá-lo considerando teorias construtivistas ou interacionais.

Os OA encontrados no mapeamento teórico têm como participantes estudantes do Ensino Médio ou do Ensino Médio Técnico, diferente da tese que consiste numa investigação com acadêmicos de Engenharia. Outro aspecto diferente em relação aos OA é que não estão disponíveis virtualmente, não estando acessíveis para que outros professores possam avaliá-los e testá-los. O único OA que está na *web* é “Números Complexos”, que aborda aspectos algébricos e geométricos, mas não os relaciona com os circuitos elétricos. Entretanto, o OAM construído na tese está disponível virtualmente em um *site*, sendo aberto para que seja utilizado por professores e estudantes de nível Médio Técnico, em Eletromecânica e Elétrica, ou em nível Superior, na área da Engenharia. Desse modo, demais professores podem apresentar seus resultados e seus *feedbacks*, o que servirá para qualificar continuamente o OAM que será construído.

Entre as pesquisas mapeadas, nesse contexto tecnológico, a D13 aproxima-se com o contexto apresentado na introdução deste trabalho e em Puhl (2016). Ambas têm o mesmo contexto de aplicação, porém, na D13, não houve nenhuma preocupação didática, além de ser um curso voltado somente aos estudantes de Circuitos Elétricos II da Universidade de Santa Úrsula. A tecnologia, por meio do AVA, está presente, porém a forma como é abordada não apresenta indícios da construção de um conhecimento, mas, sim, da transmissão de informações por meio de leituras; ou seja, o material disponível no AVA somente substitui o giz e o quadro negro ou uma aula expositiva. Não se trata de questionar a decisão do autor ao propor o ensino somente expositivo, pois seu objetivo foi de analisar AVAs AulaNet, Moodle e TelEduc, selecionando o mais adequado para a implementação na Universidade Santa Úrsula. Dessa forma, o curso, provavelmente, foi adendo da pesquisa, sendo um projeto piloto, que ainda não foi aplicado em nenhuma turma de Circuitos Elétricos II.

Diante do cenário educacional apresentado, no papel de educadores do século XXI, alguns professores não estão satisfeitos em ensinar somente a operar com números complexos sem que se proporcione a construção de um significado, sendo essa uma preocupação presente em todas as dissertações mapeadas. Um OAM, conforme o que se teve a intenção de desenvolver na tese, pode criar um ambiente reflexivo e interativo, propício para a

compreensão de conceitos e operações com números complexos, agregando significado ao conteúdo, desde que seja desenvolvido segundo uma teoria de aprendizagem construtivista.

Além disso, por meio do mapeamento, teve-se o conhecimento de um material didático, desenvolvido na D15, na D16 e na D17, sobre os elementos de circuitos elétricos e o processo de sua análise compreensível para estudantes do Ensino Médio e acadêmicos da Engenharia Elétrica. Essas dissertações auxiliaram o pesquisador a compreender os conceitos relacionados aos circuitos elétricos, atingindo um dos objetivos específicos desta tese: compreender a aplicação de números complexos na análise de circuitos elétricos em CA como subsídio teórico para a construção do OAM.

Portanto, verificou-se, no período dos estudos desses mapeamentos, que nenhuma pesquisa avaliou um OAM para o ensino dos conteúdos relacionados à análise de circuitos elétricos para acadêmicos de Engenharia. Desse modo, tem-se a expectativa de esta seja uma investigação inédita, cujo objetivo é avaliar as potencialidades de um OAM, fundamentado na teoria de aprendizagem significativa, que busque promover a compreensão dos conteúdos relacionados à análise de circuitos elétricos em CA para acadêmicos de Engenharia.

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, dos procedimentos metodológicos, definem-se a pesquisa, o delineamento, os instrumentos de construção de dados, os participantes e o método de análise. Em uma investigação, principalmente na qualitativa, entende-se que o conhecimento e a informação não estão disponíveis no ambiente, em uma realidade objetiva, mas sim na compreensão idiossincrática do pesquisador sobre o fenômeno, ou seja, em uma realidade construída<sup>41</sup>, pois se conhece “[...] algo apenas por meio das suas representações” (DENZIN; LINCOLN, 2006, p. 19). Diante disso, concorda-se com a perspectiva de Stecanela (2002), afirmando que existe a construção dos dados numa investigação, e não simplesmente a coleta de dados. Sendo assim, este capítulo reflete e justifica a escolha dos procedimentos metodológicos para, posteriormente, descrever as etapas desenvolvidas e apresentar o método de análise.

### 4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

Na introdução desta tese, apresentou-se a problemática em torno do conhecimento dos acadêmicos de Engenharia sobre números complexos, que é básico, do ponto de vista acadêmico e profissional. Além disso, foram consideradas as estratégias didáticas que, em muitos casos, dificultam a compreensão de conceitos relativos aos números complexos.

No capítulo “Estado do Conhecimento”, entre os diferentes propósitos (RICHARDSON, 1999; ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 1999; BOGDAN; BIKLEN, 2006; GIL, 2008; BIEMBENGUT, 2008; CRESWELL, 2010; GRAY, 2012; ARAÚJO; BORBA, 2013), buscaram-se questões próximas ao problema desta pesquisa, especificamente, recursos didáticos planejados para auxiliar professores e acadêmicos no ensino e na aprendizagem de números de complexos, além de pesquisas que propiciem uma compreensão mais profunda sobre a problemática desta tese.

Nos mapeamentos realizados, os estudos proporcionaram aprofundar a compreensão do contexto e do problema de investigação, e assim ampliar a possibilidade da realização desta investigação produzindo conhecimento para a comunidade científica (BORBA; ARAÚJO, 2010), pois uma pesquisa “[...] é requerida quando não se dispõe de informação

---

<sup>41</sup> Na realidade construída, cada indivíduo constrói sua realidade pela interação e pela compreensão do mundo, sendo construída, principalmente, por meio da linguagem (BICUDO, 2000; MORAES, 2018). Moraes (2007, p. 199) afirma: “Se entendermos que a realidade é algo construído, em permanente movimento, dialética, partiremos do pressuposto de que nunca teremos acesso à verdade total”, ou seja, não existe uma realidade objetiva.

suficiente para responder ao problema, ou então quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não possa ser adequadamente relacionada ao problema” (GIL, 2017, p. 1).

Esta tese tem o avaliar o objeto de aprendizagem multimodal MatElettric, como um exemplo de material didático desenvolvido seguindo as orientações de pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa de forma integrada à estratégia da resolução de problemas, a partir das percepções de acadêmicos e de um professor de Engenharia Elétrica. Em virtude desse objetivo, precisa-se decidir o método de pesquisa: quantitativo, qualitativo ou misto<sup>42</sup> (CRESWELL, 2010).

Os métodos quantitativos dominaram as pesquisas das ciências sociais desde o final do século XIX até meados do século XX (CRESWELL, 2010; MORGADO, 2012), tendo sua origem no positivismo, “[...] que destaca como pontos importantes para a produção da ciência a razão, a objetividade, o método, a definição de conceitos, a construção de instrumentos para garantir a objetividade da pesquisa” (BORBA; ARAÚJO, 2010, p. 105). Os métodos quantitativos visam a explicar um fenômeno em uma realidade objetiva, em um ambiente para testar hipóteses e investigar o comportamento de variáveis, em que o pesquisador tende a ser neutro<sup>43</sup> e os participantes são selecionados conforme determinado critério do pesquisador (DENZIN; LINCOLN, 2006; GÜNTHER, 2006; GRAY, 2012; FLICK, 2009; MORGADO, 2012).

Além desses aspectos, para o senso comum, os métodos qualitativos são considerados o oposto dos quantitativos, ou seja, se a pesquisa não envolve a quantificação então será qualitativa (BICUDO, 2013). Os métodos qualitativos não podem ser definidos pela negação do quantitativo, ou vice-versa, pois cada método tem características e pressupostos epistemológicos diferentes. Há diferentes justificativas passíveis para a utilização de métodos qualitativos. Nesta pesquisa a justificativa é a busca por “[...] compreender os contextos ou ambientes em que os participantes de um estudo abordam um

---

<sup>42</sup> A partir de 1990, a comunidade científica passou a considerar a possibilidade de utilizar métodos quantitativos e qualitativos em uma mesma pesquisa, denominando estudos dessa natureza de pesquisa de métodos mistos (CRESWELL, 2010; GRAY, 2012; GIL, 2017). Na pesquisa de métodos mistos, o pesquisador não pode propor um problema baseado apenas na compreensão de um fenômeno (qualitativa) ou na descrição e generalização dos resultados (quantitativa), é necessário combinar as duas formas de abordagem, permitindo que “[...] os pesquisadores generalizem simultaneamente a partir de uma amostra a uma população e obtenham uma visão mais rica e contextual do fenômeno que está sendo pesquisado” (GRAY, 2012, p. 166-167).

<sup>43</sup> Nesse método, o pesquisador precisa ignorar os interesses pessoais, a experiência profissional e os conhecimentos prévios no processo de observação e de análise (GRAY, 2012; FLICK, 2009). Diante da fundamentação teórica desta tese, é impossível realizar uma pesquisa neutra, visto que o significado é construído pela interação de conhecimentos.

problema ou questão” (CRESWELL, 2014, p. 52). Em virtude dessas características e do objetivo desta investigação, optou-se por utilizar os métodos qualitativos, fazendo uso de recursos quantitativos (tabelas, gráficos e de estatística descritiva) para apresentar resultados e facilitar a compreensão da problemática investigada, os quais são descritos a seguir.

## 4.2 MÉTODO DE PESQUISA

Durante a segunda metade do século XX, os métodos qualitativos, originando-se do construtivismo, conquistaram espaço e respaldo da comunidade científica (BOGDAN; BIKLEN, 2006; CRESWELL, 2010; GRAY, 2012), por serem um “[...] meio para explorar e para entender o significado que os indivíduos ou os grupos atribuem a um problema social ou humano” (CRESWELL, 2010, p. 26). Além disso, esses métodos defendem “[...] o papel ativo do sujeito em sua relação com o objeto de conhecimento e a construção da realidade. Dessa forma, o conhecimento é entendido como algo que não se encontra nem nas pessoas, nem fora delas, mas é construído progressivamente pelas interações estabelecidas” (RICHARDSON, 1999, p. 24).

Essas referências não são suficientes, sendo definições ingênuas que, atualmente, podem contemplar também os métodos quantitativos. Além disso, geralmente, não se encontra uma única definição para uma abordagem qualitativa (GIBBS, 2009; DENZIN; LINCOLN, 2006). Contudo, segundo Bogdan e Biklen (2006) há, ao menos, cinco características que precisam ser contempladas na investigação qualitativa: a fonte de dados está no ambiente da pesquisa; a investigação é descritiva; o interesse do investigador é no processo; a análise tende a ser fenomenológica; e o significado é de importância vital. Essas características estão presentes nesta tese.

A fonte dos dados tende a ser retirada de um ambiente próximo do natural, não se cria um ambiente planejado para dar origem aos dados, e o pesquisador é instrumento-chave da pesquisa, caracterizando-se como um investigador de método qualitativo. Os pesquisadores são ativos durante o estudo, frequentando o ambiente natural, estabelecendo relações com os participantes, ou seja, compreendendo em profundidade o contexto da pesquisa e construindo significados dos dados (ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 1999; BOGDAN; BIKLEN, 2006; BORTONI-RICARDO, 2008; GIL, 2008; CRESWELL, 2010, 2014; MORGADO, 2012). Cabe ressaltar que nesse processo, seja na pesquisa quantitativa ou qualitativa, o pesquisador exerce um papel ativo e precisa ser ético para não influenciar, alterar ou distorcer os dados.

Nesse processo de construção de significados, a comunicação é predominantemente por palavras ou imagens, e não por números, sendo uma investigação descritiva. Desse modo, faz-se pertinente utilizar instrumentos de produção de dados que permitam aos participantes expressarem suas ideias e suas perspectivas, propiciando uma fonte rica de dados para serem interpretados e analisados (RICHARDSON, 1999; ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 1999; BOGDAN; BIKLEN, 2006; DENZIN; LINCOLN, 2006; CRESWELL, 2010, 2014; GRAY, 2012).

A descrição da investigação faz com que a ênfase não seja no resultado final, mas principalmente no detalhamento das etapas e dos processos desenvolvidos durante a pesquisa (BOGDAN; BIKLEN, 2006). A descrição detalhada dos processos desenvolvidos evidencia a complexidade do problema investigado, a interação de variáveis que influenciam no estudo e a compreensão dos processos dinâmicos vividos com os participantes, permitindo um entendimento profundo sobre o problema investigado (RICHARDSON, 1999; ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 1999; BOGDAN; BIKLEN, 2006).

Os investigadores qualitativos tendem a analisar os dados de forma indutiva (BOGDAN; BIKLEN, 2006; CRESWELL, 2010, 2014). Os “[...] dados da pesquisa qualitativa objetivam uma compreensão profunda de certos fenômenos sociais apoiados no pressuposto da maior relevância do aspecto subjetivo da ação social” (GOLDENBERG, 1999, p. 49). Sendo assim, nesses métodos, não se propõe testar e comprovar hipóteses, mas procura-se compreender o fenômeno estudado no contexto de vida real, por meio de asserções, que correspondam aos objetivos dessa pesquisa (ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 1999; BOGDAN; BIKLEN, 2006; DENZIN; LINCOLN, 2006; BORTONI-RICARDO, 2008).

Quanto ao significado, esse é de importância vital, pois “[...] os investigadores qualitativos preocupam-se com aquilo que se designa por perspectivas participantes” (BOGDAN; BIKLEN, 2006, p. 50). Nessa perspectiva, a pesquisa qualitativa é considerada “[...] uma abordagem naturalista, interpretativa, para mundo, o que significa que seus pesquisadores estudam as coisas em seus cenários naturais, tentando entender, ou interpretar, os fenômenos em termos dos significados que as pessoas a eles conferem” (DENZIN; LINCOLN, 2006, p. 17). Desse modo, há uma preocupação em identificar e compreender a perspectiva que os participantes constroem sobre o fenômeno investigado (CRESWELL, 2010, 2014; GRAY, 2012).

Em busca da compreensão do problema, sugere-se a utilização de diferentes instrumentos para a construção de dados, como questionários, geralmente com perguntas

abertas; entrevistas abertas ou semiestruturadas; planos de observação; documentos; diários pessoais; e material não escrito, como fotografias e vídeos (RICHARDSON, 1999; ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 1999; STECANELA, 2002; BOGDAN; BIKLEN, 2006; BORTONI-RICARDO, 2008; GIBBS, 2009; CRESWELL, 2010, 2014; GRAY, 2012; MORGADO, 2012).

Desse modo, em geral, a utilização de métodos qualitativos, diferentemente do que ocorre nos métodos quantitativos, pressupõe uma quantidade volumosa de informações para descrever e compreender o fenômeno investigado, dentre as quais se busca a qualidade das informações (GOLDENBERG, 1999). A representatividade numérica, nesse caso, não tem relevância (RICHARDSON, 1999; GOLDENBERG, 1999; GRAY, 2012), pois não se pretende a generalização dos resultados, mas a compreensão do fenômeno em um local, contexto e tempo definidos na pesquisa (GRAY, 2012).

Nessa perspectiva, o pesquisador escolhe, em função do problema de investigação, a fonte dos dados e os indivíduos envolvidos nela (ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER; 1999; BOGDAN; BIKLEN, 2006), realizando uma amostragem intencional e, frequentemente, com um número pequeno de indivíduos, para não dificultar a construção das informações (GRAY, 2012) bem como a análise.

Esses aspectos teóricos descritos – nas perspectivas de Alves-Mazzotti e Gewandszajder (1999), Goldenberg (1999), Richardson (1999), Bogdan e Biklen (2006), Gil (2008), Bortoni-Ricardo (2008), Creswell (2010, 2014) e Gray (2012) – são contemplados na presente tese. Partindo do problema norteador<sup>44</sup> desta investigação, observa-se o papel ativo do pesquisador, definindo alguns elementos da pesquisa: as concepções teóricas em relação à aprendizagem significativa; a escolha intencional dos participantes, que serão acadêmicos de Engenharia; e o local da investigação, que será o ambiente natural da própria sala de aula.

#### 4.3 CONTEXTO DA INVESTIGAÇÃO

Nesta investigação, acadêmicos de Engenharia de uma Instituição de Ensino Superior da Serra Gaúcha utilizaram o MatEletric como material didático de uma disciplina que estuda o conteúdo de circuitos elétricos em CA. Essa pesquisa foi desenvolvida no segundo semestre de 2020, no contexto da pandemia, em que os acadêmicos estavam tendo aulas síncronas, por meio do Google Meet, durante o horário normal de aula.

---

<sup>44</sup> Como é avaliado, por acadêmicos e por um professor de Engenharia Elétrica de uma universidade do Rio Grande do Sul, o objeto de aprendizagem multimodal MatEletric, na condição de material didático, utilizado no ensino de circuitos elétricos em corrente alternada?

A disciplina em que foi aplicado o MatELetric tinha 31 acadêmicos matriculados, sendo 25 do sexo masculino e seis do feminino; desses, em média, 26 estavam presentes nas aulas síncronas, sendo que somente cerca de oito participavam ativamente nas aulas. Da mesma forma que nem todos se faziam presentes nas aulas síncronas, nem todos participaram da pesquisa. A pesquisa teve uma amostra dezoito acadêmicos, sendo catorze do sexo masculino e quatro do feminino, constando na amostra todos que participavam ativamente das aulas síncronas.

Sobre a aplicação do MatELetric, o professor da disciplina propôs o estudo desse material didático como parte integrante da disciplina, tendo o objetivo de introduzir o conteúdo de circuitos elétricos em CA e possibilitar, também, o estudo de conceitos considerados base, por meio de organizadores prévios, para promover uma aprendizagem significativa. Desse modo, buscou-se diminuir a influência do pesquisador no ambiente de pesquisa e nas ações dos acadêmicos, tornando o ambiente similar à sala de aula. Outro cuidado consistiu na inserção do pesquisador no local da pesquisa com duas semanas de antecedência, minimizando a influência de uma pessoa externa – o pesquisador – na observação da aula (BOGDAN; BIKLEN, 2006; CRESWELL, 2010; GRAY, 2012).

O MatELetric foi disponibilizado duas semanas antes de o professor abordar o conteúdo, permitindo que os acadêmicos se organizassem para utilizá-lo e para que realizassem as atividades propostas. Para complementar, o professor disponibilizou uma lista de exercícios sobre números complexos, elaborada com o auxílio do presente pesquisador (Apêndice B), para ser resolvida pelos acadêmicos após a interatividade com o MatELetric.

O presente pesquisador não fez nenhuma intervenção, antes ou durante a interatividade dos acadêmicos com o MatELetric, tendo uma participação ativa após a utilização do recurso digital, ao fazer algumas associações dos conteúdos ou das dificuldades em aula com os recursos do MatELetric. As observações serviram como instrumento para construir mais dados, proporcionando uma melhor compreensão do contexto da sala de aula e dos acadêmicos que utilizaram o MatELetric e fazem parte desta pesquisa.

Considerando o perfil da turma, o professor da disciplina sugeriu que a interatividade com o MatELetric fosse uma atividade avaliativa, valendo um ponto em uma avaliação do semestre. O professor justificou essa escolha pelo fato de o MatELetric ser utilizado como uma atividade extraclasse para os acadêmicos estudarem conceitos gerais e preencherem lacunas de aprendizagem, caracterizando como um material didático para o ensino de circuitos elétricos em CA. Além disso, a avaliação consiste em um incentivo para os acadêmicos realizarem a atividade, buscando compreender os conteúdos abordados. Os acadêmicos que

responderam aos questionários do MatEletric (independentemente do índice de acertos) e elaboraram *slides* apresentando e avaliando o material didático foram avaliados, recebendo o ponto.

De forma sintética, o MatEletric foi sugerido pelo professor como uma atividade extraclasse avaliativa, na qual os acadêmicos deveriam estudar e fazer uma apresentação e avaliação do material didático, sendo que a nota estava associada à realização das atividades, e não ao índice de acertos. Após a interatividade com o MatEletric, para construir dados, os acadêmicos utilizaram outros instrumentos, que são apresentados a seguir para compreender o problema investigado nesta tese.

Antes de os acadêmicos utilizarem o MatEletric, realizaram-se pesquisas exploratórias com professores e acadêmicos de Engenharia, com o propósito de aumentar o nível de compreensão sobre a investigação em desenvolvimento nesta tese e para identificar instrumentos didáticos em potencial, como recursos digitais. Outro foco dessas pesquisas preliminares realizadas foi o de identificar conceitos e operações com números complexos que constituem conhecimentos prévios em disciplinas de cursos de Engenharia, bem como verificar o nível de compreensão dos acadêmicos sobre esses conhecimentos.

#### **4.3.1 A perspectiva de professores de Engenharia sobre os números complexos**

Esta investigação teve o objetivo de identificar dificuldades que os acadêmicos apresentam sobre os números complexos e estratégias didáticas utilizadas pelos professores para superar essas dificuldades. A pesquisa contou com a participação de doze professores de instituições de Ensino Superior do Rio Grande do Sul, que utilizam conhecimentos de números complexos em disciplinas de Engenharia. Nessa amostra, encontram-se professores de seis instituições diferentes, sendo que sete deles ministram disciplinas sobre Circuitos Elétricos, quatro de Cálculo Diferencial e Integral e um de Variáveis Complexas.

A seleção dos participantes ocorreu aleatoriamente, da seguinte forma: inicialmente, acessou-se o *site* oficial das instituições de Ensino Superior do Rio Grande do Sul, em busca de endereços eletrônicos de professores que lecionassem disciplinas que utilizam números complexos. Após a busca, entrou-se em contato com todos os que foram identificados, explicando a pesquisa e solicitando a participação voluntária para responder ao instrumento de construção de dados. O instrumento utilizado foi um questionário aberto (Apêndice C), para que os participantes expressassem livremente as suas perspectivas, sendo enviado para os endereços eletrônicos disponíveis no *site* das instituições. Com o retorno dos professores que

se mostraram à disposição para responder o questionário, constituiu-se a amostra de doze professores. O Quadro 2 apresenta informações sobre os professores participantes, destacando as disciplinas em que atuam e a maior formação.

**Quadro 2** – Informações sobre os participantes da pesquisa.

Disciplina	Titulação
Circuitos Elétricos	Mestrado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Circuitos Elétricos	Mestrado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Cálculo	Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Cálculo	Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina
Circuitos Elétricos	Mestrado em Educação pela Universidade de Caxias do Sul
Cálculo	Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Circuitos Elétricos	Mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina
Cálculo	Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade de Caxias do Sul
Circuitos Elétricos	Mestrado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Circuitos Elétricos	Mestrado Profissional em Engenharia Elétrica pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos
Circuitos Elétricos	Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Variáveis Complexas	Mestrado em Matemática pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

Fonte: Elaborada pelo autor.

Constatou-se que os professores participantes reconheceram a importância dos conhecimentos sobre números complexos, principalmente na área da Elétrica, em que facilitam as operações matemáticas na análise de circuitos em CA (análise complexa<sup>45</sup>). No

<sup>45</sup> “Segundo Sadiku (2003), a aplicação da teoria de números complexos no estudo de circuitos elétricos de corrente alternada foi apresentado inicialmente, em 1893, pelo alemão Charles Proteus Steinmetz (1865-1923) e, dessa forma, seu trabalho chamou a atenção da comunidade científica. Steinmetz trabalhou em inúmeras pesquisas nos Estados Unidos, principalmente na General Electric Company (GE). A GE havia sido fundada por Thomas Edison, que a dirigiu entre 1876 a 1892. O período de 1892 a 1923 ficou conhecido como sendo a Era Steinmetz, por razões óbvias. A utilização de números complexos revolucionou a análise de circuitos sob regime alternado (AC), apesar de terem dito (naquela época) que ninguém, exceto Steinmetz, entendia o método.”. (OLIVEIRA, 2018, p. 40).

processo de análise complexa, as tensões e as correntes senoidais são transformadas em números complexos, denominando-as de fasores; e as resistências, as indutâncias e as capacitâncias também são transformadas em números complexos, denominando-as de impedâncias (REIS, 2009; LIRA, 2014; JOHNSON, 2014; CIPTOWIYONO, 2015; GERMANO, 2016; SILVA, 2016; OLIVEIRA, 2018). Sendo assim, os números complexos são considerados um conhecimento básico nas disciplinas dos cursos de Engenharias que abordam os circuitos elétricos em CA.

Entretanto, não há um consenso sobre quais conhecimentos são básicos, o que se justifica pela especificidade da disciplina e, possivelmente, pelo aprofundamento e complexidade com que os conteúdos são considerados pelo professor. A maioria dos professores participantes (75%) considera que os conhecimentos básicos de números complexos consistem em reconhecê-los na forma algébrica e polar, representá-los no plano Argand-Gauss, além de efetuar as operações de adição, subtração, multiplicação e divisão. Esses são conhecimentos necessários para analisar os circuitos elétricos em CA.

Os demais professores requisitam que os acadêmicos saibam a forma trigonométrica ou forma exponencial, pressupondo uma organização lógica dos conhecimentos sobre números complexos na Educação Básica, sendo que os conceitos gerais são estudados inicialmente – unidade imaginária e as operações na forma algébrica – para, posteriormente, avançar em conceitos específicos – operações na forma trigonométrica e na forma exponencial. Entretanto, esses conteúdos não são abordados no Ensino Médio, por envolverem outros conhecimentos matemáticos e um nível de abstração maior do estudante.

Os professores de Engenharia têm a expectativa de que egressos do Ensino Médio tenham estudado e compreendido os conceitos e as operações com números complexos na forma algébrica e, preferencialmente, também na forma trigonométrica para utilizá-los nas disciplinas de Engenharia. Esses são conhecimentos prévios para a análise de circuitos elétricos em CA; sem compreendê-los, possivelmente os acadêmicos irão memorizar algoritmos, desenvolvendo uma aprendizagem de procedimentos, de caráter mecânico.

Desse modo, na perspectiva dos professores participantes, o estudo de números complexos deveria ocorrer no Ensino Médio, para que fosse aplicado em disciplinas de Engenharia. Contudo, esse conteúdo não está sendo ensinado ou os estudantes não o estão compreendendo, prejudicando o desenvolvimento de conteúdos em que são requisitados. Geralmente, o professor de Ensino Superior não espera que os acadêmicos apresentem lacunas de aprendizagem, considerando a existência de uma estrutura estável de

conhecimentos prévios que possibilitem criar significados para aprender novos conteúdos nas disciplinas (COELHO, 2013).

Em relação aos conhecimentos de números complexos, na perspectiva dos professores, 16% consideram que os acadêmicos conhecem conceitos básicos; 42% que conhecem pouco, sendo insuficiente para aprender sua disciplina; e outros 42% consideram que os conhecimentos são variados, em virtude da escola – pública ou privada – em que se cursou o Ensino Básico. Desse modo, observa-se que boa parte dos professores considera que os acadêmicos não têm os conhecimentos necessários para aprender o conteúdo da disciplina, dificultando o estabelecimento de relações não arbitrárias e não literais entre conhecimentos, ou seja, promovendo uma aprendizagem mecânica.

Os acadêmicos que conhecem números complexos geralmente sabem efetuar somente as operações de adição e subtração, sendo insuficiente para compreender os conceitos abordados nas disciplinas dos cursos da Engenharia. Essa constatação é compartilhada por Linhares (2017), ao relatar que saber números complexos é pré-requisito para cursar disciplinas de Engenharias, cujo conteúdo aborda circuitos elétricos em corrente alternada, da Universidade Santa Úrsula, no Rio de Janeiro. Contudo, os acadêmicos não sabem o suficiente, dificultando a aprendizagem de conteúdos da área da Engenharia e ocasionando, muitas vezes, o abandono da disciplina e até mesmo a evasão no curso (LINHARES, 2017).

A dificuldade em aprender números complexos não ocorre somente no Ensino Superior. Gomes (2018) propôs uma estratégia didática sobre teletransporte quântico, logo após ensinar números complexos. Teoricamente, os estudantes deveriam compreender os conceitos e as operações básicas, visto que esses conteúdos foram recém-ensinados pelo professor. Entretanto, Gomes (2018) constatou que estudantes do Ensino Médio apresentam pouco conhecimento de números complexos.

Apesar da existência de aplicações dos números complexos em outras áreas – na aerodinâmica, na elétrica, na computação gráfica, na dinâmica de fluídos e na física quântica –, essas não são apresentadas e nem ensinadas no Ensino Médio, pois, para os professores, não são compreensíveis aos estudantes (CHAGAS, 2013; OLIVEIRA, 2018; MOREIRA, 2018; CARNEIRO, 2019). Diante disso, a dificuldade na compreensão, segundo Mello (2005), Panaoura, Elia, Gagatsis e Giatilis (2006), Nordlander e Nordlander (2012), Chaves (2014) e Oliveira (2018), está relacionada ao ensino descontextualizado e dissociado da realidade, o qual é justificado somente como um conhecimento matemático, dificultando o processo de aprendizagem.

Reforçando essa ideia, Oliveira (2018, p. 1) afirma que “[...] não é raro verificar esse conteúdo [números complexos] sendo apresentado de forma isolada e sem conexão com outras áreas do conhecimento ou sem qualquer tipo de aplicação senão a de resolução de equações com raiz quadrada de números negativos”. Complementado, Araújo (2006) identificou que professores do Ensino Médio apontam que a dificuldade de ensinar números complexos está associada à organização do livro didático, cuja abordagem é predominantemente algébrica e, principalmente, não apresenta problemas contextualizados.

Em outra perspectiva, Salcedo e Alfonso (2005), Silva (2011) e Ciptowiyono (2015) compreendem a dificuldade dos estudantes como um obstáculo epistemológico, visto que os matemáticos demoraram para aceitar e formalizar os números complexos. Diante disso, compreende-se que os números complexos são considerados um conhecimento de difícil compreensão para estudantes e acadêmicos, sendo que, no ensino de Engenharia, ocasiona dificuldades na aprendizagem de técnicas de análise de circuitos elétricos em CA (MELLO, 2005; VILAS BOAS JUNIOR, 2014; SILVA, 2016; AGRICCO JUNIOR, 2017; LINHARES, 2017; CARNEIRO, 2019).

Reforçando essa perspectiva, Mello (2005) e Mello e Santos (2005) afirmam que há dois fatores que dificultam a análise de circuitos elétricos em CA: a falta de entendimento de números complexos e, principalmente, o fato de os estudantes não perceberem alguma aplicação desses números quando os estudam. Segundo eles, os estudantes compreendem os conhecimentos relativos aos circuitos elétricos em corrente alternada – como capacitor, indução eletromagnética, bobina e ressonância –, mas apresentam dificuldades nos conhecimentos matemáticos considerados pré-requisitos na disciplina de Eletricidade (MELLO, 2005; MELLO; SANTOS, 2005).

Esse cenário tende a atenuar as dificuldades dos acadêmicos no Ensino Superior, visto que com a BNCC, os números complexos deixarão de ser ensinados no Ensino Médio (BRASIL, 2018). Contrapondo essa perspectiva, documentos norteados para o ensino de matemática nos EUA preveem o ensino dos números complexos no Ensino Médio, abordando a representação no plano Argand-Gauss, as operações na forma algébrica e na forma polar, a relação das operações com a representação no plano Argand-Gauss e a utilização dos números complexos na resolução de equações (UNITED STATES, 2013).

Diante disso, os números complexos ocupam uma posição singular na grade curricular, não sendo definido o nível de escolaridade adequado para promover o seu ensino (CARNEIRO, 2004a, 2004b; PORTOLAN, 2017). Os professores dos cursos de Matemática, no Ensino Superior, consideram os números complexos um conhecimento básico e elementar;

porém, os professores do Ensino Médio evitam esse conteúdo por considerarem abstratos e de difícil compreensão para os estudantes (CARNEIRO, 2004a, 2004b; NETO, 2013; SILVA, 2016; PORTOLAN, 2017). Esse, porém, não é o único conhecimento que está nessa situação, Palis (2010, p. 1) generaliza e afirma que “a transição matemática ensino médio-superior na área técnico-científica tem sido objeto de preocupação internacional e se configura como um desafio para professores e uma barreira para alunos.”. Esse contexto explica o entendimento dos professores, ao considerarem que o tipo de escola frequentada, pública ou privada, impacta nos conteúdos que foram estudados pelos acadêmicos no Ensino Básico.

Almeida (2016) relata que é ingenuidade e/ou desinformação, um professor de Engenharia acreditar que ao menos 50% dos acadêmicos ingressantes compreendem conhecimentos matemáticos básicos para cursar a sua disciplina, dispensando a construção ou reconstrução de significados de conceitos e operações estudadas no Ensino Fundamental e Médio necessários para a sua disciplina (PALES, 2010). Em relação às estratégias que os professores utilizam para preencher as lacunas de aprendizagens dos acadêmicos em suas disciplinas, a maioria (83%) realiza exposições em sala de aula.

Silva Filho, Montejunas, Hipólito e Lobo (2011) também consideram que as aulas expositivas predominam no Ensino Superior brasileiro. Contudo, as “aulas expositivas muitas vezes dão uma falsa sensação de segurança para os alunos, que parecem entender tudo, mas só descobrem que não entenderam direito quando resolvem fazer exercícios e aí têm grandes dificuldades em resolvê-los” (GUDWIN, 2017).

Nesse contexto, os acadêmicos recebem um conjunto de informações e exemplos ilustrativos sobre procedimentos que devem depois reproduzir. A compreensão dos conceitos e das operações com números complexos não ocorre instantaneamente, pois, possivelmente, os acadêmicos têm conhecimentos na estrutura cognitiva que devem ser reconstruídos, como a raiz quadrada de um número negativo e os conjuntos numéricos. Diante disso, entende-se que uma aula é tempo insuficiente para promover uma aprendizagem significativa de números complexos, implicando dificuldades no processo de análise de circuitos elétricos em corrente alternada.

Corroborando essa ideia, as estratégias didáticas que ressaltam a repetição e a memorização, como a aula expositiva, acarretam dificuldades de aceitação dos números complexos e, conseqüentemente, na aprendizagem dos conceitos e das operações (NETO, 2009). Esse autor afirma que “ensinar algoritmos sem que os alunos tenham desenvolvido o significado das operações leva a uma mecanização sem compreensão, que se traduz não só em

resultados indesejáveis como também numa atitude de rejeição ao estudo desses números” (NETO, 2009, p. 15).

As tecnologias têm potencial para ampliar o tempo e os espaços de aprendizagem, sendo um recurso que pode trazer benefícios aos processos de ensino e de aprendizagem, seja para o preenchimento de lacunas de aprendizagem ou para o estudo de novos conteúdos, como ocorre nesta pesquisa de doutorado. No contexto desta tese, há recursos digitais que promovem o ensino de números complexos, tais como: “Investigando em  $C$ ”<sup>46</sup> (BATISTA; BARCELOS; COSTA; BEHAR, 2009); “Números Complexos”<sup>47</sup> (MONZON, 2012); “Descomplicando os Complexos”<sup>48</sup> (PINTO, 2015); “Números Complexos: interação e aprendizagem”<sup>49</sup> (PUHL, 2016); e “Um blog sobre os números complexos”<sup>50</sup> (MOREIRA, 2018). Entretanto, nenhum desses tem o objetivo de desenvolver o ensino de números complexos de forma contextualizada para acadêmicos de Engenharia que estudarão circuitos elétricos em CA.

Todos os professores que utilizam a aula expositiva para preencher lacunas dos acadêmicos consideram a possibilidade de utilizar recursos digitais em sala de aula, desde que o material didático seja planejado considerando pressupostos teóricos, como é o caso da TAS (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003). Além disso, os professores destacaram que esse material didático deveria contemplar algumas características. A Figura 6 sintetiza as características citadas pelos professores que consideram utilizar ou sugerir o uso de recursos digitais aos acadêmicos.

### **Figura 6 – Características relevantes para a criação do OAM**

---

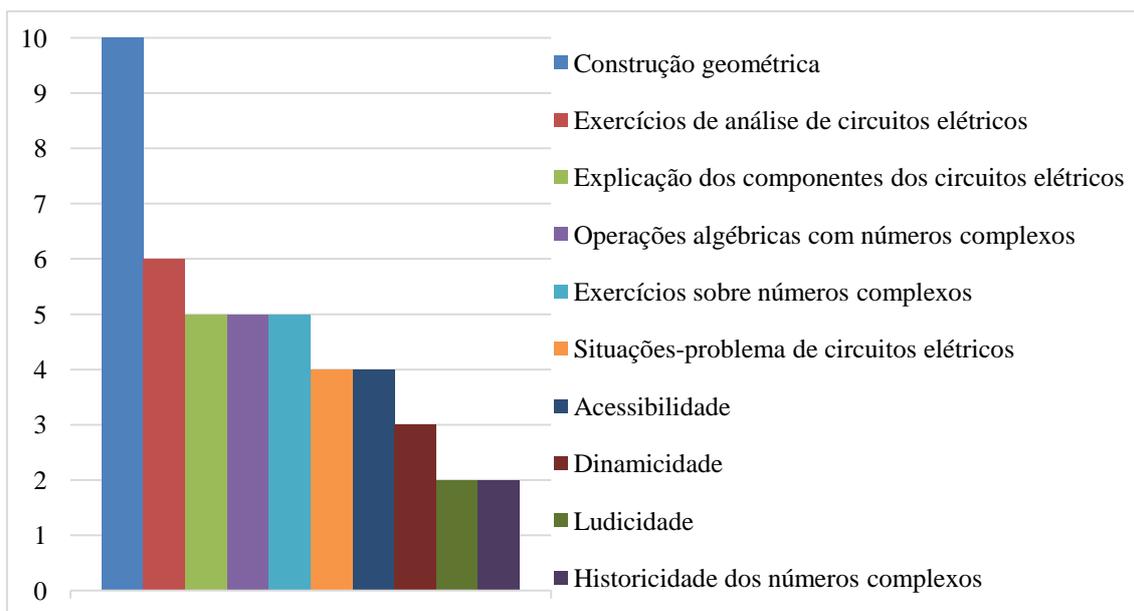
<sup>46</sup> Disponível em: <http://www.es.iff.edu.br/softmat/projetotic/portaltic/applets/numeros-complexos>. Acesso em: 8 fev. 2016.

<sup>47</sup> Disponível em: [http://www.ufrgs.br/espamat/disciplinas/numeros\\_complexos/](http://www.ufrgs.br/espamat/disciplinas/numeros_complexos/). Acesso em: 26 fev. 2020.

<sup>48</sup> Disponível em: <https://www.geogebra.org/u/eustaquio+pinto>. Acesso em: 26 fev. 2020.

<sup>49</sup> Disponível em: <https://numeroscomplexos.000webhostapp.com/>. Acesso em: 26 fev. 2020.

<sup>50</sup> Disponível em: <https://complexos.blog.br/>. Acesso em: 26 fev. 2020.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Todos os professores destacaram a necessidade de contemplar, no recurso digital, aspectos de construção geométrica. Chaves (2014), ao considerar as orientações de documentos oficiais dos EUA, sugere uma abordagem geométrica, aproveitando o conhecimento dos estudantes sobre pares ordenados para explicar os números complexos. Outra sugestão refere-se ao ensino por meio da representação polar, permitindo que o estudante compreenda o número complexo como um operador de transformações no plano Argand-Gauss, facilitando a aprendizagem de números complexos: “de fato, quando o número  $i$  é visto como uma transformação, não há nada de ‘imaginário’ nele. Quando os números são vistos como transformações, os números complexos são muito simples de compreender.” (CHAVES, 2014, p. 35, tradução nossa)<sup>51</sup>.

O OAM criado na pesquisa do mestrado, do autor desta tese, já apresenta um espaço de aprendizagem com aplicativos do GeoGebra, para testes sobre possíveis conjecturas, aplicações de conceitos introdutórios de números complexos e realização das operações de adição e subtração, multiplicação, divisão, radiciação e potenciação. Durante a pesquisa de doutorado, criou-se o MatEletric, acoplado ao OAM da pesquisa do mestrado, promovendo um ensino contextualizado e a utilização da estratégia de resolução de problemas para envolver os acadêmicos no processo de aprendizagem. O planejamento do MatEletric, da

<sup>51</sup> “In fact, when the number  $i$  is viewed as such a transformation, there is nothing ‘imaginary’ about it. When numbers are viewed as transformations, complex numbers are very simple to understand.” (CHAVES, 2014, p. 35).

presente tese, está em consonância com as conclusões da pesquisa que Almeida (2016, p. 84) realizou com professores de Engenharia:

associado ao ensino de Matemática nos cursos superiores, tem mostrado que não é suficiente conhecer bem o que será ensinado, mas, também conforme as análises feitas nos parágrafos anteriores, [...] é necessário incorporar teorias associadas à educação; apresentar contextos significativos aos alunos; usar, sobremaneira, as ferramentas computacionais para construir o conhecimento matemático e, por fim, acolher os alunos, tratando de oportunizar ambientes em que eles possam preencher as lacunas conceituais advindas de uma formação educacional básica deficiente.

Em síntese, na perspectiva dos professores participantes da pesquisa, a maioria dos acadêmicos apresenta lacunas de aprendizagem sobre números complexos e também de conhecimentos básicos de Matemática. Como forma de auxiliar tais acadêmicos, a maioria dos professores faz uso de aulas expositivas, o que é insuficiente para promover uma aprendizagem significativa, ainda mais para aqueles que não estudaram números complexos. Como alternativa, os professores consideram a possibilidade de utilizar recursos digitais, como um OAM, para preencher lacunas, pois reconhecem que propiciar algumas aulas com explicações sobre os conceitos e operações com números complexos não é o suficiente para se promover a compreensão dos conhecimentos básicos requisitados nas disciplinas da Engenharia.

A partir dessa pesquisa inicial, reconheceram-se os conhecimentos considerados básicos, as lacunas de aprendizagem dos acadêmicos e as características que um OAM deve contemplar para que os professores utilizem esse recurso na construção ou reconstrução de significados sobre números complexos. Essas informações serviram de subsídio teórico para a construção do MatEletric, contemplando, assim, um dos objetivos específicos da presente tese: identificar dificuldades que os acadêmicos apresentam sobre os números complexos e estratégias didáticas utilizadas pelos professores para superar essas dificuldades. Nessa seção analisou-se a perspectiva dos professores que participaram dessa pesquisa inicial, na seção seguinte são descritos e discutidos os resultados de pesquisas realizadas com acadêmicos de Engenharia de duas instituições de Ensino Superior.

#### **4.3.2 O nível de compreensão de acadêmicos sobre números complexos**

Essa investigação teve o objetivo de verificar o nível de compreensão sobre números complexos de acadêmicos de Engenharia de Instituições de Ensino Superior do Rio Grande do Sul, identificando e analisando erros cometidos nas operações matemáticas. Os dados foram

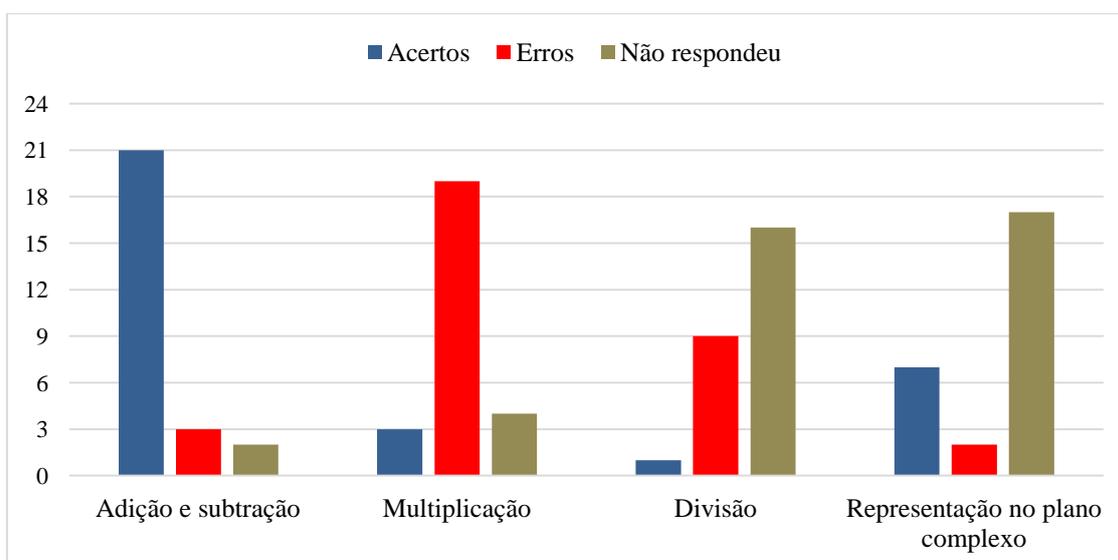
gerados a partir um questionário (Apêndice D), aplicado no segundo semestre de 2017, composto por questões que envolviam conceitos e operações com números complexos.

Os participantes dessa pesquisa foram divididos em três grupos: 1) 51 acadêmicos de Engenharia de uma instituição de Ensino Superior da Serra Gaúcha que não têm a possibilidade de cursar uma disciplina introdutória sobre números complexos e que estudarão análise de circuitos elétricos em corrente alternada; 2) 41 acadêmicos de Engenharia de uma instituição de Ensino Superior da região metropolitana de Porto Alegre que têm a possibilidade de cursar uma disciplina introdutória sobre números complexos e que estudarão análise de circuitos elétricos em corrente alternada, mas que ainda não a cursaram; e 3) 66 acadêmicos de Engenharia de uma instituição de Ensino Superior da região metropolitana de Porto Alegre que cursaram uma disciplina introdutória sobre números complexos e que estudarão análise de circuitos elétricos em corrente alternada.

O Grupo 1 e o Grupo 2 têm características análogas, visto que ainda não teriam estudado os números complexos no Ensino Superior e que, no decorrer da disciplina, utilizariam esses conhecimentos. Em compensação, os participantes do Grupo 3 já estudaram os números complexos no Ensino Superior e utilizam esses conhecimentos na análise de circuitos elétricos em corrente alternada. Apesar das diferenças, em algumas operações, como multiplicação e divisão, os resultados dos grupos são similares. Em termos de organização, optou-se por apresentar os resultados de cada grupo separadamente para, em seguida, fazer um comparativo.

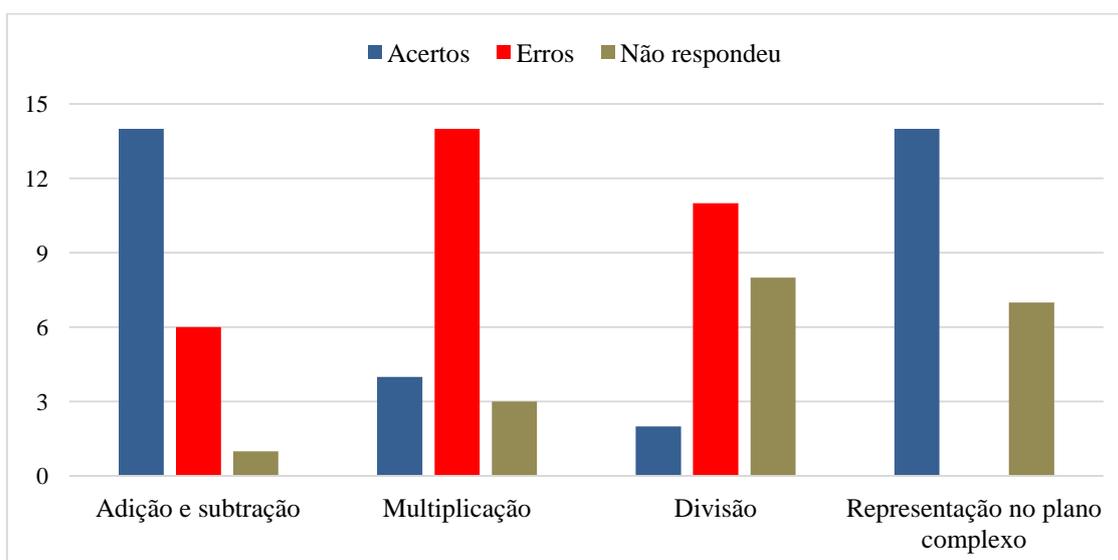
Os resultados dessas investigações com esses grupos de acadêmicos encontram-se detalhadas e publicadas em dois trabalhos (PUHL; MÜLLER; LIMA, 2019b; PUHL; MÜLLER; LIMA, 2020c). Nesta seção são apresentados os resultados considerados mais relevantes que foram considerados na elaboração do MatEletric.

No Grupo 1, 29 alunos cursaram o Ensino Médio em escola pública estadual, 21 na rede privada e um no Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS). Em relação ao ensino de números complexos, 28 afirmaram que os estudaram no Ensino Médio; outros dezesseis estudaram esse conteúdo somente no Ensino Superior, um em curso pré-vestibular, um no Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) e cinco acadêmicos responderam que nunca haviam estudado tais números. Além disso, apesar de 46 acadêmicos terem estudado números complexos, somente 26 disseram saber efetuar operações com esses números. Com a resolução dos exercícios que envolviam as quatro operações básicas, o índice de acertos foi ainda menor, conforme consta na Figura 7.

**Figura 7** – Aproveitamento nas resoluções do Grupo 1

Fonte: Elaborada pelo autor.

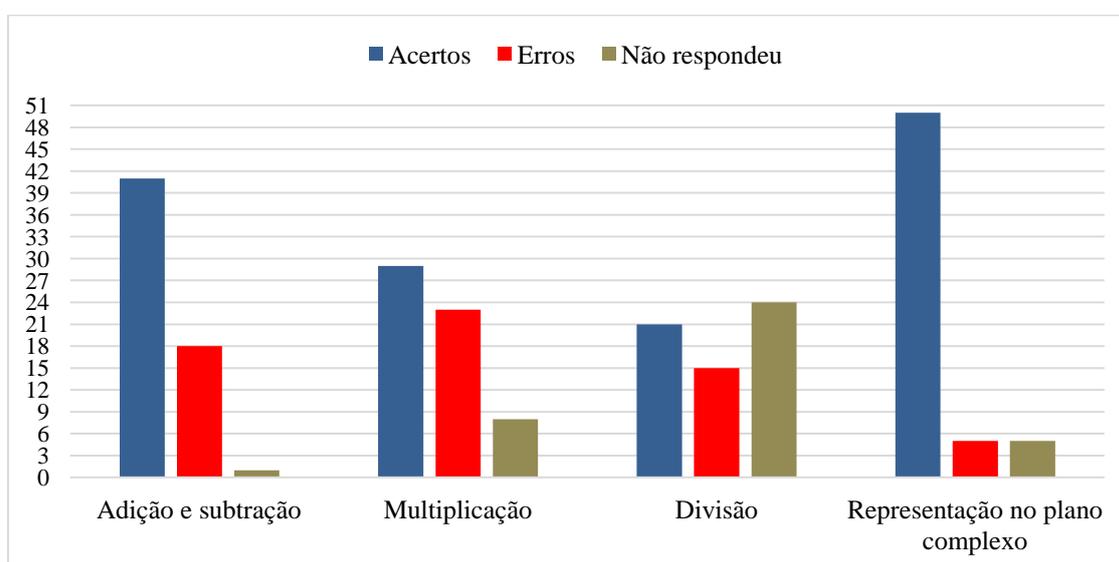
No Grupo 2, 26 alunos cursaram o Ensino Médio em escola privada e quinze em escola pública estadual. Sobre o ensino de números complexos, 25 participantes os estudaram no Ensino Médio, oito no Ensino Superior, dois em cursos pré-vestibular e seis não os estudaram. Em uma perspectiva similar à do Grupo 1, apesar de a maioria já ter estudado números complexos, somente 21 consideraram saber efetuar operações com tais números. A Figura 8 apresenta o aproveitamento desses acadêmicos em operações com números complexos: adição, subtração, multiplicação, divisão e na representação no plano complexo.

**Figura 8** – Aproveitamento nas resoluções do Grupo 2

Fonte: Elaborada pelo autor.

O Grupo 3 apresenta participantes da mesma instituição do Ensino Superior que a do Grupo 2, porém esses cursaram uma disciplina introdutória, sobre números complexos. Em relação à formação na Educação Básica, 32 acadêmicos são egressos da rede privada, 31 de escolas estaduais e três do IFRS. Como era esperado, todos os acadêmicos estudaram números complexos, sendo 36 no Ensino Médio e 26 somente no Ensino Superior. Diferentemente dos Grupos 1 e 2, a maioria dos acadêmicos do Grupo 3 afirmou conhecer o suficiente sobre os números complexos e somente seis não saberiam efetuar as quatro operações básicas. A Figura 9 apresenta o aproveitamento dos sessenta acadêmicos em relação às operações propostas no questionário.

**Figura 9** – Aproveitamento nas resoluções do Grupo 3



Fonte: Elaborada pelo autor.

Observa-se o aumento considerável de acertos em todas as operações, mostrando fortes indícios da relevância, em termos de aprendizagem, de se ter uma disciplina no curso de Engenharia que aborde números complexos. Os acadêmicos do Grupo 3 apresentam facilidade para operar com números complexos, reconhecendo-se, assim, mais capazes para analisar circuitos elétricos em CA. Entretanto, ainda é significativo o percentual de erros e de operações não realizadas, principalmente na multiplicação e na divisão.

Esse cenário reforça a pertinência da existência de um recurso digital para promover a aprendizagem de números complexos. Os acadêmicos dos três grupos julgaram bem-vindo um recurso digital para reconstruírem, ou ainda construírem, significados dos conceitos e das operações com números complexos, principalmente, em atividades contextualizadas na área da Engenharia. Além disso, os acadêmicos consideram que o recurso digital deveria ser

composto, principalmente, por vídeos, situações-problema, atividades com *software* de geometria dinâmica e textos informativos, contendo os conceitos necessários de números complexos para a disciplina de Engenharia que analise circuitos elétricos em CA.

#### 4.3.2.1 Confluências entre os grupos de acadêmicos

As pesquisas realizadas em 2013 e 2017 apresentam indicativos de que, nas duas instituições de Ensino Superior onde foram aplicados os questionários, a maioria dos acadêmicos ingressa nos cursos de Engenharia com defasagens ou desconhecimento dos conceitos e das operações com números complexos. Esse cenário também foi verificado por outros pesquisadores, que também concluíram que o ensino de números complexos dificilmente ocorre no Ensino Médio (BATISTA, 2004; MELLO, 2005; MELLO; SANTOS, 2005; PANAOURA; ELIA; GAGATIS; GIATILIS, 2006); ELI, 2014; PEREIRA, 2016; COSTA, 2016) ou, quando é proposto, geralmente não é compreendido pelos estudantes (NOBRE, 2013; CHAVES, 2014; GUEDES JUNIOR, 2016; AVELAR, 2016).

**Tabela 3** – Comparação do índice de acertos em 2013 e 2017

Ano	Adição e subtração		Representação no plano complexo		Multiplicação		Divisão	
	Freq. Abs.	Freq. Rel.	Freq. Abs.	Freq. Rel.	Freq. Abs.	Freq. Rel.	Freq. Abs.	Freq. Rel.
	2013	22	25,9%	19	22,4%	3	3,5%	0
2017	35	74,5%	21	44,7%	7	14,9%	3	6,3%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 3 mostra um comparativo dos dados de 2013 e 2017. Ressalta-se que o Grupo 3 não foi considerado nos dados da Tabela 3, pois o perfil dos acadêmicos é diferente, posto que esses estudaram os números complexos no Ensino Superior. Observa-se que, no levantamento de 2017, os participantes mostraram um nível maior de conhecimento. Em ambas, os participantes eram acadêmicos de Engenharia que utilizariam números complexos para analisar circuitos elétricos em corrente alternada. Entretanto, há diferenças a destacar: em 2013, dos 103 participantes, dezoito (17,5%) desistiram de efetuar as operações com números complexos em algum momento da resolução, provavelmente por não conseguir concluí-las; em 2017, dos 92 participantes, 45 (49%) não efetuaram tais operações.

O maior índice de desistência dos participantes de 2017 pode ser considerado um fator que justifica o aumento da porcentagem de acadêmicos que acertaram as operações solicitadas. Ressalta-se, então, que os dados da Tabela 3 são referentes aos acadêmicos que saberiam efetuar as operações: 85 (dos 103 participantes) em 2013 e 47 (dos 92 participantes) em 2017.

Em relação ao nível de conhecimentos dos acadêmicos, considerando-se a escolaridade, não se observou diferença significativa em relação aos egressos do Ensino Médio de escola pública e da rede privada, conforme consta no Quadro 3. Esse dado é um indicativo de que, independentemente de ser pública ou privada, a maioria dos acadêmicos ingressa no Ensino Superior com pouco conhecimento sobre os números complexos, gerando dificuldades de aprendizagem no decorrer do curso de Engenharia, conforme afirmam os professores.

**Quadro 3** – Conhecimentos dos acadêmicos considerando o tipo de escolaridade

	Grupo 1 e 2 (adição)	Grupo 3 (adição)	Grupo 1 e 2 (multiplicação)	Grupo 3 (multiplicação)	Grupo 1 e 2 (divisão)	Grupo 3 (divisão)
Público						
Privado						
Legenda: ■Correto ■Errado ■Não fez						

Fonte: Elaborada pelo autor.

O Quadro 4 sintetiza os resultados das pesquisas realizadas com os acadêmicos dos três grupos (PUHL; MÜLLER; LIMA, 2019b; PUHL; MÜLLER; LIMA, 2020c). Nesse quadro, apresenta-se uma classificação dos erros cometidos pelos acadêmicos e o percentual de frequência, sendo possível observar “níveis” diferentes de compreensão de números complexos, a partir da análise desses erros.

**Quadro 4** – Tipos de erros em operações básicas

Operação	Tipos de erros	Frequência		
		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3

Adição e subtração	Subtração somente do que é parte real	1	5	16
	Não considerar as partes real e imaginária	1	0	2
	Igualar a zero a operação e resolvê-la como uma equação	1	1	0
Multiplicação	Não aplicar a propriedade distributiva	6	8	15
	Não efetuar a equivalência da unidade imaginária	12	5	6
	Não somar partes semelhantes corretamente	0	0	2
	Não identificar as partes real e imaginária para efetuar a operação	1	0	0
	Igualar a zero a operação e resolvê-la como uma equação	0	1	0
Divisão	Representar a divisão na forma de fração e desmembrá-la em duas frações, uma para cada parte, real e imaginária	8	9	8
	Não efetuar corretamente a racionalização	0	2	7
	Não considerar as partes real e imaginária para efetuar a operação	1	0	0

Fonte: Elaborada pelo autor.

A maior diferença ocorreu entre os Grupo 1 e 2 em comparação com o Grupo 3. Os acadêmicos do Grupo 3 compreendem mais sobre números complexos, possivelmente, devido à disciplina cursada no Ensino Superior. Entretanto, boa parte dos acadêmicos do Grupo 3 apresenta dificuldades em efetuar as operações de multiplicação e divisão, evidenciando falhas nos processos de ensino e de aprendizagem. Em relação às defasagens dos acadêmicos, o Quadro 4 apresenta os tipos de erros cometidos e a frequência de cada um.

A operação de adição com números complexos não é diferente de efetuá-la com outros tipos de termos algébricos, cujo princípio é juntar termos semelhantes; isso acontece também com a subtração, assim que é convertida em soma com termos opostos. A defasagem que prevaleceu nessas operações foi na subtração: ao subtrair um número  $a + bi$ , os acadêmicos subtraíram apenas os valores de  $a$ , incorrendo nos mesmos erros que acontecem quando a subtração envolve mais de um termo e “entra na conta” apenas o primeiro deles, ou, também, como aconteceu para alguns, ainda não há clareza em operar com sinais do tipo “menos mais”, “mais menos” e “menos menos”.

Na multiplicação, um grupo considerável de acadêmicos mostrou, como é comum observar nas salas de aula em qualquer nível de ensino, dificuldades para lidar com conhecimentos básicos de Matemática, como não aplicar a propriedade distributiva para resolver uma multiplicação de números complexos. De outro lado, outros acadêmicos aplicaram a propriedade distributiva, mas, para boa parte deles,  $i^2$  não era conhecido como  $-1$ , dando indícios de que não compreendiam o conceito da unidade imaginária, uma vez que foi essa a definição que deu origem ao conjunto dos números complexos.

Em relação à operação da divisão, novamente a falta ou a pouca familiaridade com números complexos ficou evidente. Nessa operação, há um percentual maior de acadêmicos que não resolveram a questão do que daqueles que erraram. O erro mais frequente consistiu em representar a divisão como uma fração, mas desmembrando-a em divisão do que era real entre si e do que era imaginário entre si. O segundo tipo de erro mais frequente apresentou indicativos de que os acadêmicos conheciam o procedimento da divisão, porém apresentaram erros na multiplicação ou na utilização de equivalência referente a unidade imaginária, em que  $i^2 = -1$ .

A representação geométrica, por sua vez, também serviu de confirmação sobre lacunas e defasagens. Esse contexto provavelmente implica dificuldades, quando os acadêmicos precisarão compreender os conceitos e as operações envolvidos na análise de circuitos elétricos em CA.

Diante disso, esta investigação de tese buscou conhecer e sugerir melhorias para essa situação, propondo a utilização do MatEletric para promover o ensino de conceitos gerais e básicos da análise de circuitos elétricos em CA, permitindo ao professor dedicar o tempo em sala de aula para abordar conteúdos específicos da Engenharia e não para explicar conceitos considerados como pré-requisitos. Além do Quadro 3, no Apêndice E, detalham-se os resultados dos três grupos de acadêmicos, organizados conforme o tipo de escola – pública ou privada – frequentada no Ensino Médio.

Em concordância com resultados de outras pesquisas já mencionadas, em todos os grupos têm-se indícios de compreensão, da maioria dos participantes, em relação às operações de adição e subtração. Além dessas, a maior parte dos acadêmicos dos Grupos 2 e 3 representaram corretamente o número complexo no plano Argand-Gauss. Portanto, essas operações foram mais facilmente reconhecidas e efetuadas, possivelmente, pelo fato de que envolvem um pensamento análogo ao que requerem outros conhecimentos presentes na estrutura cognitiva dos acadêmicos, como é o caso da adição e da subtração de polinômios e da representação de pontos no plano cartesiano.

Nas outras operações, apesar de o Grupo 3 apresentar mais acertos que os Grupos 1 e 2, a maioria errou ou não resolveu as questões de multiplicação e de divisão, sendo a divisão, segundo os participantes dos três grupos, a operação mais difícil de ser realizada e também a que menos é compreendida. Além da divisão, escrever a forma trigonométrica dos números complexos também foi citada por professores de Engenharias (PUHL; LIMA, 2014a; PUHL, 2016) como uma operação difícil, assim como operar com os números nessa forma. Tais operações com números complexos – multiplicação e divisão, formas algébrica e trigonométrica (polar) – são conhecimentos considerados básicos pela maioria dos professores de Engenharia que participaram desta pesquisa.

Mesmo os participantes do Grupo 3, que estudaram números complexos no Ensino Superior, tiveram dificuldades em realizar essas operações. Esses dados evidenciam que alguns conhecimentos não são tão simples de serem compreendidos e que as estratégias didáticas utilizadas com os acadêmicos do Grupo 3 possivelmente não propiciaram uma aprendizagem significativa. A constatação da aprendizagem significativa demanda bastante tempo, pois é difícil distingui-la de uma aprendizagem mecânica em curto espaço de tempo.

Diante disso, compreende-se que o MatEletric pode ser utilizado por diferentes acadêmicos e que conterà espaços de aprendizagem conforme foram sugeridos para atender às necessidades dos usuários. Por exemplo, os acadêmicos dos Grupos 1 e 2 o utilizariam para compreender conhecimentos introdutórios para, posteriormente, realizar operações com números complexos. Já os participantes do Grupo 3, para compreender um conhecimento mais específico, como representação e operações com números complexos na forma trigonométrica (polar).

O MatEletric não foi desenvolvido para ser utilizado uma única vez em uma instituição específica, mas pretende-se que seja um recurso disponível para acadêmicos em geral que precisam desenvolver conhecimentos sobre números complexos, podendo fazê-lo de forma autônoma, ou por professores de Engenharia, que podem utilizá-lo em sala de aula ou para estudos extraclasse, de aprendizagem de conhecimentos prévios para a análise de circuitos em CA.

#### 4.4 INSTRUMENTOS PARA CONSTRUÇÃO DE DADOS

Em relação às questões éticas da pesquisa, o pesquisador convidou os acadêmicos para participar da investigação, esclarecendo sua efetiva participação. Além disso, foi solicitada a permissão para registrar, por escrito e por fotografias, as produções dos

acadêmicos, sendo eles preservados de qualquer forma de identificação. Contudo, devido à pandemia, a utilização desses registros por escrito e de fotografias ficou comprometida, em virtude das aulas síncronas.

Para o registro das informações coletadas das observações, foi utilizado um diário de campo, no qual o pesquisador anotou as observações, descrevendo o contexto da investigação e situações consideradas relevantes para a pesquisa, como expressões corporais e diálogos (FIORENTINI; LORENZATO, 2006). Isso porque “a elaboração de um diário proporciona um registro adequado do pensamento do pesquisador e ajuda a desenvolver uma postura reflexiva” (GRAY, 2012, p. 153), facilitando a seleção das informações utilizadas na análise.

Além do diário, as fotografias têm estreita relação com os métodos qualitativos, pois apresentam potencial descritivo que pode ser utilizado para compreender o subjetivo, sendo um meio para apresentar uma situação ou acontecimento. Nesta investigação, elas foram utilizadas para ressaltar os métodos de ensino e as atividades realizadas pelo professor durante as aulas virtuais. As fotografias são mais um instrumento para compreender a problemática investigada, bem como responder ao problema norteador (BOGDAN; BIKLEN, 2006; CRESWELL, 2010; GRAY, 2012).

Para complementar os instrumentos de construção de dados, tinha-se a ideia de solicitar que os acadêmicos produzissem vídeos apresentando e avaliando o MatEletric, como OAM e material didático para o ensino de circuitos elétricos em CA. Segundo Bortoni-Ricardo (2008), os vídeos proporcionam uma vantagem ao pesquisador, que pode revê-los para tirar dúvidas e construir novas compreensões. Entretanto, o professor da disciplina considerou que os acadêmicos não iriam realizar tal atividade, sugerindo que elaborassem *slides*. Considerando a opinião e o conhecimento do professor da turma, decidiu-se utilizar os *slides* como mais um instrumento para construir dados.

Outro instrumento utilizado consistiu em um questionário misto<sup>52</sup>, contendo questões abertas sobre as potencialidades do MatEletric como recurso didático, além da realização de uma avaliação fechada sobre suas características de usabilidade, interação, interatividade,

---

<sup>52</sup> O questionário contempla perguntas a serem respondidas por escrito pelo pesquisado (GIL, 2017), podendo ser definido como uma “[...] técnica de investigação composta por um conjunto de questões que são submetidas a pessoas com o propósito de obter informações sobre conhecimentos, crenças, sentimentos, valores, interesses, expectativas, aspirações, temores, comportamento presente ou passado etc.” (GIL, 2008, p. 121). O questionário misto combina perguntas abertas com perguntas fechadas, em que nas perguntas abertas deseja-se uma maior elaboração das opiniões do participante, permitindo uma melhor compreensão do fenômeno investigado; e nas perguntas fechadas controla-se as respostas, facilitando a tabulação (RICHARDSON, 1999; FLICK, 2009; CRESWELL, 2010; GRAY, 2012).

acessibilidade, qualidade de conteúdo, efetividade e apresentação<sup>53</sup>. Ao utilizar métodos qualitativos, faz-se pertinente realizar entrevistas com os participantes (RICHARDSON, 1999; BOGDAN; BIKLEN, 2006; CRESWELL, 2010; GRAY, 2012). Porém, como os acadêmicos possivelmente realizam seus estudos após uma jornada de trabalho, estando cansados, optou-se por aplicar um questionário aberto. Esse instrumento permitiu que os participantes escrevessem as suas perspectivas, sem ocupar um tempo demasiado como ocorreria em uma entrevista (GIL, 2008).

Para complementar a perspectiva dos acadêmicos de Engenharia, foram realizadas entrevistas semiestruturadas<sup>54</sup> com os acadêmicos e com o professor da disciplina para melhor compreender a sua perspectiva e avaliação do MatElettric como material didático para ensino de circuitos elétricos em CA. A entrevista é um instrumento, junto com as observações, que proporciona informações para compreender, em profundidade, o problema de investigação (MARTINS; BICUDO, 1994; RICHARDSON, 1999; BOGDAN; BIKLEN, 2006).

Além disso, Bogdan e Biklen (2006, p. 134) consideram que a entrevista permite que o pesquisador construa dados “[...] descritivos na linguagem do próprio sujeito, permitindo ao investigador desenvolver intuitivamente uma ideia sobre a maneira como os sujeitos interpretam aspectos do mundo”. Complementando essa perspectiva, a entrevista pode ser considerada “[...] a única possibilidade que se tem de obter dados relevantes sobre o mundo-vida do respondente. Ao entrevistar-se uma pessoa, o objetivo é descrever tão detalhadamente quanto possível as preocupações do entrevistado” (MARTINS; BICUDO, 1994, p. 54). Os instrumentos utilizados nesta investigação buscam descrever contexto, pessoas, eventos e sentidos que os indivíduos atribuem ao fenômeno.

O Quadro 5 sintetiza os instrumentos de construção de dados e o tipo de dado coletado, sendo que os dois primeiros são referentes às pesquisas exploratórias com acadêmicos e professores de Engenharia e os demais foram utilizados para construir argumentos para defender a presente tese.

---

<sup>53</sup> Essa avaliação fechada consiste em um modelo de avaliação elaborado por Lieban *et al.* (2010), em que a pergunta realizada sobre cada critério é respondida na seguinte escala: *insatisfatório, satisfatório, bom, muito bom, ótimo* ou *não sei opinar*. No final das respostas, apresenta-se um gráfico destacando as porcentagens de cada característica do OAM.

<sup>54</sup> A entrevista é uma interação social realizada por duas ou mais pessoas, em que uma delas formula questões e as demais respondem (RICHARDSON, 1999; BOGDAN; BIKLEN, 2006; GIL, 2017). A entrevista semiestruturada, também chamada entrevista em profundidade, pode ser considerada uma conversa intencional, guiada por algumas perguntas previamente definidas para compreender o significado construído pelos participantes sobre o fenômeno investigado (ALVES-MAZZOTTI; GEWANDSZNAJDER, 1999; RICHARDSON, 1999; BOGDAN; BIKLEN, 2006; GIL, 2008, 2017; CRESWELL, 2010).

**Quadro 5** – Síntese dos instrumentos para a construção dos dados

<b>Instrumento</b>	<b>Dados</b>	<b>Tipo de dado</b>
Questionário misto aplicado virtualmente	Texto e informações produzidas pelos professores de Engenharia Elétrica	Percepção sobre as dificuldades que os acadêmicos apresentam sobre os números complexos e de possíveis intervenções para sanar tais dificuldades
Questionário misto aplicado presencialmente	Texto e informações produzidas pelos acadêmicos de Engenharia	Indicativos de conceitos e operações que os acadêmicos compreender com números complexos
Questionário misto aplicado virtualmente	Texto e informações produzidas pelos acadêmicos de Engenharia e o professor da disciplina	Percepção do MatEletric, como OAM e material didático, para o ensino de circuitos elétricos em CA
<i>Slides</i>	Texto e informações produzidas pelos acadêmicos de Engenharia	Percepção do MatEletric, como OAM e material didático, para o ensino de circuitos elétricos em CA
Observações registradas no diário de campo	Texto produzido pelo pesquisador	Registros do pesquisador sobre as aulas durante e após a utilização do MatEletric
Entrevista semiestruturada	Gravações dos discursos de acadêmicos e do professor da disciplina	Percepção do MatEletric como material didático para promover o ensino de circuitos elétricos em CA

Fonte: Elaborada pelo autor.

Essa diversidade de instrumentos de produção de dados permite uma ampla descrição da situação investigada, em que se privilegia o processo e não o resultado final. Para aumentar o nível de qualidade e de confiabilidade da descrição, foi utilizado o procedimento da triangulação, ao buscar convergência, corroboração, correspondência de resultados de diferentes métodos (DENZIN; LINCOLN, 2006; FLICK, 2009; CRESWELL, 2010, 2014; GRAY, 2012; MORGADO, 2012; ARAÚJO; BORBA, 2013). Entre os diferentes tipos de triangulação que existem – de dados, entre investigadores, múltipla e metodológica – foi realizada a metodológica intramétodo, podendo ser denominada de triangulação de instrumentos, pois utilizam-se vários instrumentos de construção de dados dentro do mesmo método (DENZIN, 1989 *apud* GRAY, 2012).

A triangulação de instrumentos pretende mostrar diferentes perspectivas sobre o mesmo problema, sendo assim não se pretende produzir “[...] representações congruentes nem contraditórias de um objeto, e sim mostra diferentes construções de um fenômeno – por exemplo, em nível de conhecimento cotidiano e em nível de práticas” (FLICK, 2009, p. 74). Desse modo, busca-se utilizar instrumentos complementares, para fornecer uma compreensão mais profunda e detalhada sobre o problema investigado (DENZIN; LINCOLN, 2006; FLICK, 2009; CRESWELL, 2010, 2014; GRAY, 2012; MORGADO, 2012).

Diante desse contexto, considera-se que foram contempladas as cinco características da abordagem qualitativa (BOGDAN; BIKLEN, 2006), justificando, assim, a escolha pelos métodos qualitativos na investigação. Na sequência, descreve-se o estudo de caso (YIN, 2015) que é o delineamento que se adequou aos objetivos desta investigação.

#### 4.5 ESTUDO DE CASO

Em virtude do objetivo desta investigação e das características dos métodos qualitativos, optou-se pelo delineamento de um estudo de caso. O estudo de caso pode ser utilizado em investigações quantitativas e qualitativas (YIN, 2015), em diferentes áreas de conhecimentos, sendo um dos principais delineamentos dos métodos qualitativos em ciências sociais, pois busca a compreensão de um fenômeno a partir da exploração do objeto de estudo (STAKE, 1995; GOLDENBERG, 1999; CRESWELL, 2014; YIN, 2015).

A compreensão do fenômeno investigado sofre influência de inúmeros fatores – aporte teórico, contexto social, econômico e cultural –, sendo assim, nega-se a existência de uma realidade objetiva e admite-se uma realidade construída, em que o pesquisador descreve a sua compreensão sobre a problemática investigada. A partir dessa perspectiva, o estudo de caso tem sido utilizado em investigações no contexto escolar, pois tem potencial para proporcionar a compreensão dos processos de ensino e de aprendizagem, considerando a realidade e o conhecimento como uma construção mental idiossincrática (MORGADO, 2012).

Devido ao cenário complexo que caracteriza o estudo de caso, não há um consenso em relação à sua definição teórica e epistemológica (STAKE, 1995; YIN, 2015; YAZAN, 2016). Nesta investigação, por se ter encontrado mais familiaridade com os propósitos do seu desenvolvimento, optou-se pela caracterização de Yin (2015), que é proposta em duas partes: (a) o escopo de uma pesquisa de estudo de caso e (b) suas características.

Em relação ao escopo, o estudo de caso consiste em uma investigação empírica que ocorre em ambiente natural (contexto), no qual o pesquisador busca uma compreensão profunda sobre a problemática investigada (caso<sup>55</sup>), em que os limites entre o contexto e o caso não são evidentes (YIN, 2015). Desse modo, o caso está dentro de um contexto, de um local e de um momento específico (CRESWELL, 2014). Além disso, nesse delineamento, o pesquisador não tem a intenção de manipular variáveis e de influenciar nas ações dos participantes, pois pretende-se compreender um fenômeno do mundo real, ou seja, compreender um caso dentro de um contexto específico (YIN, 2015).

Aplicando essas características na tese, tem-se uma investigação empírica que ocorreu durante um período de aula, em uma disciplina específica da Engenharia de uma instituição de Ensino Superior da Serra Gaúcha, no segundo semestre de 2020, em que foram introduzidos conhecimentos sobre os circuitos elétricos em CA (contexto). Nesse contexto, o pesquisador buscou compreender em profundidade o processo de interatividade dos acadêmicos de Engenharia com o MatELetric, a fim de destacar suas potencialidades como material didático para o ensino de circuitos elétricos em CA (caso). Diante disso, o caso e o contexto têm estreita relação, sendo difícil verificar suas fronteiras, além de prever as ações dos acadêmicos com o MatELetric.

Em relação às características metodológicas, o estudo de caso contempla inúmeras variáveis que podem influenciar na compreensão da problemática investigada, sendo assim necessários diferentes instrumentos de construção de dados, como múltiplas fontes de evidências para a compreensão do caso, além de beneficiar-se do desenvolvimento anterior de proposições teóricas para orientar a coleta e a análise de dados (YIN, 2015). Complementando essa perspectiva, para atingir o objetivo do estudo de caso – a compreensão da problemática investigada –, não se pode utilizar somente um instrumento de fonte dos dados, sendo necessários vários instrumentos que proporcionaram diferentes perspectivas do caso investigado (CRESWELL, 2014; YIN, 2015).

Em uma definição similar, de forma mais sintética, o estudo de caso qualitativo pode ser considerado uma pesquisa

[...] na qual o investigador explora um sistema delimitado contemporâneo da vida real (um caso) ou múltiplos sistemas delimitados (casos) ao longo do tempo, por meio da coleta de dados detalhada em profundidade envolvendo múltiplas fontes de

---

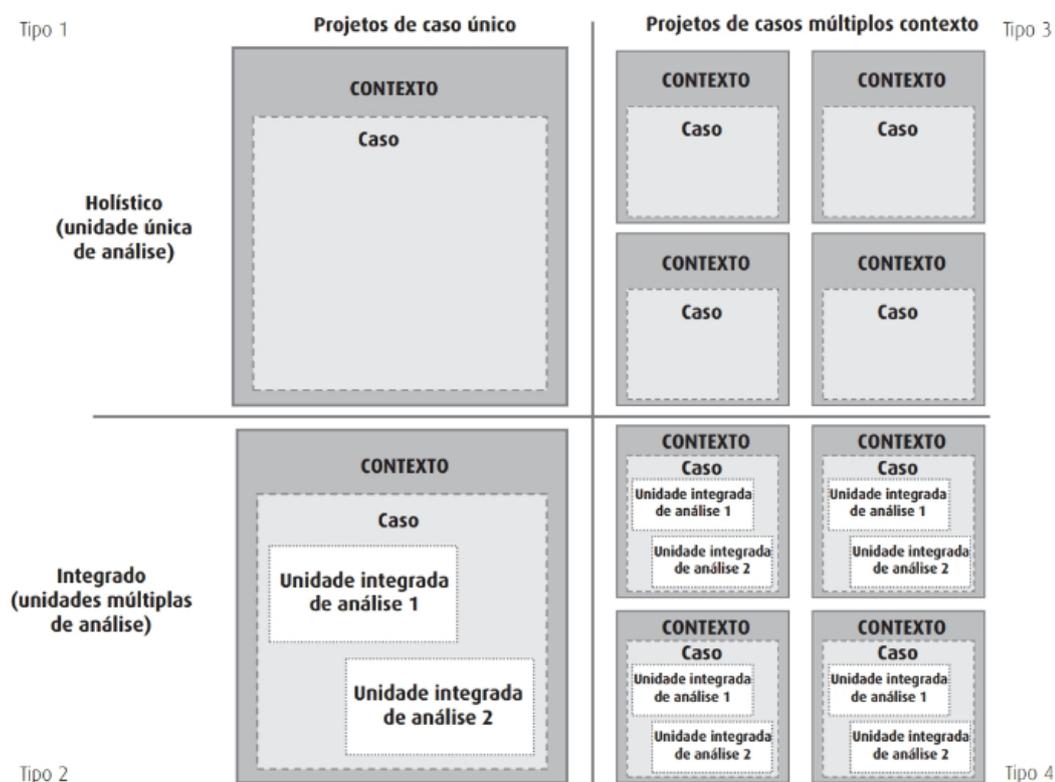
<sup>55</sup> O caso é o principal objeto de investigação da pesquisa, caracterizando-se como fenômeno contemporâneo uma manifestação concreta, como por exemplo: uma pessoa, uma comunidade, um programa, um processo, uma política, uma prática, um acontecimento, entre outros (YIN, 2015). Sendo assim, “o caso não pode ser simplesmente uma abstração, como uma reivindicação, um argumento ou mesmo uma hipótese” (YIN, 2015, p. 36).

informação (p. ex., observações, entrevistas, material audiovisual e documentos e relatórios) e relata uma descrição do caso e temas do caso (CRESWELL, 2014, p. 86).

Nesta pesquisa, há também inúmeros fatores que influenciam na investigação, considerando que cada acadêmico é único, tendo conhecimentos e experiências didáticas únicas com as tecnologias, sendo assim faz-se necessário utilizar alguns instrumentos para avaliar as potencialidades do MatEletric. Como fontes de evidências, os *slides* foram criados pelos acadêmicos, e o questionário foi aplicado para verificar as suas compreensões sobre a utilização do MatEletric como recurso didático. Além dos questionários, a observação e os registros no diário de campo contribuíram para compreender do caso, além das entrevistas realizadas com alguns acadêmicos e com o professor da disciplina. Os dados serão triangularizados e irão compor o *corpus* da pesquisa.

Os estudos de caso podem ser classificados em quatro tipos: 1) caso único e holístico; 2) caso único e integrado; 3) casos múltiplos e holístico; 4) casos múltiplos e integrado (YIN, 2015), conforme mostra a Figura 10.

**Figura 10** – Classificação dos tipos básicos de estudos de casos.



Fonte: (YIN, 2015, p. 53)

Compreende-se esta pesquisa como um estudo de caso único e integrado. O estudo de caso é único, pois a investigação aconteceu somente uma vez, buscando avaliar o MatELetric, como material didático para o ensino de circuitos elétricos em CA, na perspectiva de uma turma de acadêmicos de Engenharia e do professor da disciplina. A investigação não se repetiu para outro grupo de acadêmicos de outra disciplina, ou ainda em outra instituição de Ensino Superior para que os resultados sejam comparados, o que caracteriza o estudo de caso múltiplo (YIN, 2015). Além disso, há diferentes instrumentos de construção de dados com diferentes participantes (acadêmicos, o professor e a perspectiva do pesquisador), sendo assim, considera-se mais do que uma unidade de análise que compõe o *corpus* da pesquisa. Se houvesse somente uma unidade de análise, então o estudo de caso seria holístico (YIN, 2015).

Esses são aspectos metodológicos considerados no desenvolvimento da pesquisa, em que se busca compreender o caso investigado e avaliar o MatELetric como material didático para o ensino de circuitos elétricos em CA. Em consonância com o método e o delineamento de pesquisa, os dados foram analisados a partir das orientações de Moraes e Galiazzi (2016) com o método de Análise Textual Discursiva (ATD).

#### 4.6 MÉTODO DE ANÁLISE

O método de análise foi o da Análise Textual Discursiva (ATD), fundamentado em Moraes e Galiazzi (2016, p. 13) que a define como uma

[...] metodologia de análise de informações de natureza qualitativa com a finalidade de produzir novas compreensões sobre os fenômenos e discursos. Insere-se entre os extremos da análise de conteúdo e a análise de discurso, representando, diferentemente destas, um movimento interpretativo de caráter hermenêutico.

Uma pesquisa que trabalhe em torno de um problema original requer do pesquisador percorrer um caminho que está indefinido o tempo todo. Somente no final se atinge uma clareza maior do que é pretendido. A ATD é um método de análise utilizado, principalmente, em pesquisas em que não se podem prever comportamentos e em que se busca compreender os significados dos discursos dos participantes e da situação investigada. Nesse processo, o pesquisador precisa “[...] conviver com a insegurança de um fluxo incerto e inconstante de uma trajetória que precisa ser produzida no próprio processo da pesquisa, em que o seu objeto é reconstruído constantemente” (MORAES; GALIAZZI, 2016, p. 187).

A ATD é um método de análise fundamentado com pressupostos teóricos da análise de conteúdo e da análise de discurso, sendo diferenciada pelo nível de intensidade e de incidência desses métodos de análise. A análise de conteúdo e de discurso polarizam, entre

essas características, “[...] descrição e interpretação, compreensão e crítica, leitura do manifesto ou latente, pressupostos em fenomenologia, hermenêutica e etnografia x dialética, partes e todo e teorias emergentes e *a priori*” (MORAES; GALIAZZI, 2016, p. 182). Em compensação, a ATD enfatiza uma relação entre as dicotomias, um entremeio desses métodos, focalizando a profundidade e complexidade dos fenômenos (MORAES; GALIAZZI, 2016).

A ATD é um procedimento de análise árduo, rigoroso e que exige do pesquisador um esforço constante na busca da compreensão de significado. Diante disso, o processo da ATD constitui-se da execução de quatro etapas: 1) constituição do *corpus* da pesquisa; 2) desconstrução do *corpus* em unidades de análise ou unidades de sentido, a unitarização<sup>56</sup>; 3) a categorização e recategorização das unidades de sentido; e 4) produção da compressão do fenômeno investigado, ou seja, a comunicação e validação da pesquisa por meio de textos que relacionam a fundamentação teórica com o discurso dos participantes, os metatextos (MORAES; GALIAZZI, 2016).

O *corpus* da pesquisa é constituído das respostas dos participantes, junto com os outros instrumentos de construção de dados, sendo agrupados e codificados – por participantes e por tipo de instrumento – em um único arquivo para facilitar o processo da unitarização e da localização das unidades de sentido. O *corpus* da pesquisa constitui a visão complexa do fenômeno investigado, sendo necessário desmontá-la para compreender suas particularidades, impregnar-se dos pequenos significados para permitir uma nova compreensão ou a construção de novos significados pelo pesquisador (MORAES; GALIAZZI, 2016).

Desse modo, a unitarização consiste na “desmontagem dos textos” (MORAES; GALIAZZI, 2016), em que o pesquisador busca definir unidades de sentido nos discursos dos participantes para construir novas formas de organização e de compreensão do fenômeno. Nesse processo de unitarização, o pesquisador interpreta o *corpus* da pesquisa, não constituindo as unidades de sentido somente com o texto explícito, mas as unidades podem sofrer a influência do pesquisador, “[...] correspondendo a interpretações do pesquisador que atingem sentidos implícitos dos textos” (MORAES; GALIAZZI, 2016, p. 42).

No método da ATD, inicialmente, busca-se a compreensão dos significados explícitos nos discursos, impregnando-se do contexto e dos significados do fenômeno,

---

<sup>56</sup> A unitarização é o processo de “[...] delimitar e destacar unidades básicas de análise a partir dos materiais pesquisados, envolvendo permanentes interpretações do investigador” (MORAES; GALIAZZI, 2016, p. 193).

realiza-se um esforço em construir novos significados mais complexos e aprofundamentos. Esse processo não se restringe a compreender somente o fenômeno implícito na investigação, mas de ser um movimento de aprofundamento e de reconstrução de significados dos discursos ou do fenômeno investigado. Sendo assim, a ATD tem um caráter descritivo e interpretativo, de modo que o pesquisador participa ativamente na análise dos dados, compreendendo o fenômeno investigado ou os significados atribuídos pelos participantes da pesquisa (MORAES; GALIAZZI, 2016).

Segue-se, então, para a terceira etapa, que consiste da categorização, que se refere ao agrupamento das unidades de sentido semelhantes, buscando relacionar as partes dos discursos dos participantes para permitir uma compreensão mais profunda do fenômeno investigado. Sendo assim, “a categorização é um processo de comparação constante entre as unidades definidas no momento inicial da análise, levando a agrupamentos de elementos semelhantes. Conjuntos de elementos de significação próximos constituem as categorias” (MORAES; GALIAZZI, 2016, p. 44). O objetivo da categorização não é focalizar exclusivamente as partes do fenômeno, mas enfatizar “[...] uma parte como modo de melhorar a compreensão do todo” (MORAES; GALIAZZI, 2016, p. 177).

O processo de categorização, geralmente, é realizado mais de uma vez, principalmente quando o *corpus* da pesquisa é grande e diversificado. Inicialmente, realiza-se uma categorização inicial (com unidades mais abrangentes), uma intermediária (agrupando as categorias iniciais semelhantes) e uma final (agrupando novamente as categorias). Esse processo proporciona ao pesquisador uma impregnação e uma compreensão maior dos dados. Categorizar, mais do que focalizar exclusivamente partes de um sistema, passa a significar dar ênfase a uma parte como modo de melhorar a compreensão do todo. Sintetizando essa perspectiva,

[...] o processo de categorização não se conclui na emergência inicial das categorias, mas precisa avançar até que se atinja um sistema de categorias válido e capaz de expressar com clareza as novas compreensões alcançadas. Isso envolve o entrecruzamento das categorias construídas, complementando-se e se agrupando em grandes categorias (MORAES; GALIAZZI, 2016, p. 196).

Nesse processo de interpretação das unidades de sentido, da categorização, pode-se utilizar o método dedutivo, o indutivo ou o combinado. O método dedutivo é utilizado na análise discursiva, no qual se define antecipadamente um referencial teórico forte e crítico para analisar os discursos dos participantes, ou seja, é “[...] um movimento do geral para o particular, implica construir categorias antes mesmo de examinar o ‘corpus’. As categorias

são deduzidas das teorias que servem de fundamento para a pesquisa” (MORAES; GALIAZZI, 2016, p. 45). Esse método proporciona as categorias denominadas *a priori*.

O método indutivo “[...] implica produzir as categorias a partir das unidades de análise construídas desde o ‘corpus’. Por um processo constante de comparar e contrastar as unidades de análise, o pesquisador vai organizando conjuntos de elementos semelhantes [...]” (MORAES; GALIAZZI, 2016, p. 45). Esse método está organizado do particular para o geral, assim o pesquisador agrupa as unidades de sentidos e categoriza-as conforme a sua compreensão, definindo as categorias por um processo emergente, por isso o método dedutivo proporciona as categorias emergentes.

Esses dois métodos, dedutivo e indutivo, podem ser utilizados de forma combinada. Moraes e Galiazzi (2016, p. 46) relatam que o método combinado pode ser aplicado quando se parte “[...] de categorias definidas ‘a priori’ com base em teorias escolhidas previamente, o pesquisador encaminha transformações gradativas no conjunto inicial de categorias, a partir do exame das informações do *corpus* de análise”.

Definidas as categorias, realiza-se a quarta etapa, a da comunicação dos resultados, que compreende a construção dos metatextos. Os metatextos combinam “[...] descrição e interpretação, uma das formas de caracterizar a análise textual discursiva, constitui-se num esforço para expressar intuições e entendimentos atingidos a partir da impregnação intensa com o *corpus* da análise” (MORAES; GALIAZZI, 2016, p. 59). Esse é um movimento inacabado, uma busca constante em ampliar o nível de compreensão da problemática investigada, sendo impossível a compreensão global do fenômeno, devido à inexistência de uma realidade objetiva e da impossibilidade do pesquisador desligar seus sentimentos e emoções na análise dos dados (MORAES; GALIAZZI, 2016).

Nesta tese, o *corpus* da pesquisa foi constituído pelas respostas dos acadêmicos ao questionário, pelos *slides* produzidos, pela transcrição das entrevistas com acadêmicos e com o professor titular e pelas descrições no diário de campo. Em relação às respostas dos acadêmicos, tinha-se a expectativa de gerar uma grande quantidade de informações, devido ao tamanho da turma. Se tal ocorresse, para restringir a amostra de acadêmicos seria utilizada a técnica da saturação teórica<sup>57</sup> (FONTANELLA; RICAS; TURATO, 2008; FONTANELLA; MAGDALENO JÚNIOR, 2012; MORAES; GALIAZZI, 2016). Essa técnica consiste em interromper a constituição do *corpus* da pesquisa quando os relatos de novos participantes não

---

<sup>57</sup> “Amostragem por saturação é uma ferramenta conceitual de inequívoca aplicabilidade prática, podendo, a partir de sucessivas análises paralelas à coleta de dados, nortear sua finalização” (FONTANELLA; RICAS; TURATO, 2008, p. 25).

apresentarem nenhuma informação nova, somente reforçarem conceitos já abordados, sendo assim, “[...] as informações fornecidas pelos novos participantes da pesquisa pouco acrescentariam ao material já obtido, não mais contribuindo significativamente para o aperfeiçoamento da reflexão teórica fundamentada nos dados que estão sendo coletados” (FONTANELLA; RICAS; TURATO, 2008, p. 17).

A amostragem da saturação teórica não determina um escore para interromper o *corpus*, na definição de um número ideal de participantes, sendo que essa decisão cabe ao pesquisador. O nível de impregnação dos dados de conhecimentos teóricos e metodológicos e do interesse do pesquisador sobre o fenômeno influenciam diretamente no ponto da saturação (FONTANELLA; MAGDALENO JÚNIOR, 2012; MORAES; GALIAZZI, 2016). Em virtude dos acadêmicos não terem gerado dados em excesso e da tese utilizar a ATD, que busca a compreensão profunda do fenômeno investigado, optou-se por não utilizar o critério de saturação, não limitando o *corpus*, para privilegiar as perspectivas de todos os participantes da pesquisa. Os participantes da pesquisa foram 18 acadêmicos e o professor da disciplina.

Após a constituição do *corpus*, foi feita uma leitura flutuante dos dados para realizar o processo da unitarização. O pesquisador faz um processo de inserir-se no contexto da investigação, mas também de retirar-se para visualizar e captar informações sobre o fenômeno sob outra perspectiva. O Quadro 6 explica a codificação realizada e utilizada para identificar o participante, o instrumento de construção de dados e o fragmento. Em relação à codificação, a primeira letra refere-se ao participante (acadêmico ou professor), seguida da letra inicial do instrumento de construção de dados (*slides*, questionário ou entrevista) e do número do participante, para, no fim, informar o número do fragmento.

**Quadro 6** – Codificação utilizada na presente pesquisa

Exemplo de código	Participante	Instrumento	Número do participante	Fragmento
AS14F05	A = Acadêmico	S = <i>Slides</i>	14	F05 = 5º fragmento
AQ12F41	A = Acadêmico	Q = Questionário	12	F41 = 41º fragmento
AE15F12	A = Acadêmico	E = Entrevista	15	F12 = 12º fragmento
PQ01F43	P = Professor	Q = Questionário	01	F43 = 43º fragmento
PE01F05	P = Professor	E = Entrevista	01	F03 = 3º fragmento

Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir das unidades de sentido, foi realizada uma análise dedutiva, em que se constituíram categorias emergentes, das quais emergiram os significados construídos pelo pesquisador sobre o fenômeno. As categorias devem contemplar todo o *corpus* da pesquisa – exaustividade –, assim, além de restringir a amostra, a saturação teórica auxiliaria na seleção de informações pertinentes à investigação (MORAES; GALIAZZI, 2016).

No processo de categorização, o *corpus* da pesquisa foi composto de 1121 fragmentos, os quais resultaram em 978 unidades de sentidos que foram agrupadas em 303 categorias iniciais para, posteriormente, definir trinta intermediárias e, conseqüentemente, as três finais. Por fim, comunicam-se os resultados sobre cada categoria emergente final, com os metatextos, nos quais ocorre uma descrição do fenômeno, mas também um diálogo entre o empírico – os dados – com o referencial teórico que fundamenta esta tese. Antes de apresentar os metatextos, descreve-se o processo de elaboração do material didático utilizado pelos acadêmicos, que é objeto de estudo desta investigação, o MatElettric.

## 5 ELABORAÇÃO DO MATELETRIC

O processo de elaboração do *MatEletric* iniciou-se em uma pesquisa de mestrado profissional (PUHL, 2016), na qual foi desenvolvido o objeto de aprendizagem *Números complexos: interação e aprendizagem*<sup>58</sup> (PUHL; LIMA, 2017b). O *Números complexos: interação e aprendizagem* era composto de dez espaços de aprendizagem: Caminhada histórica, Espaço do vestibulando, Fazer e compreender, Apoio tecnológico, Rotas de Aprendizagem, Quem quer dinheiro? Show do milhão, Foco na teoria, Calculadora, Aplicações e Fórum de discussões. Esses ambientes foram criados para atender à diversidade dos estudantes que estão presentes em salas de aulas (PUHL; LIMA, 2017b). Além disso, servem como suporte para os acadêmicos estudarem sobre números complexos.

**Figura 11** – *Homepage* do OAM

**Números Complexos:  
interação e aprendizagem**

Este é um recurso digital composto por dez espaços de aprendizagem. Nele, você encontrará textos, vídeos, questões e aplicativos para uma rota de estudo de números complexos para análise de corrente alternada.

Olá, eu sou o Radice!  
Estou aqui para estudarmos juntos.  
Por favor, ao lado, escolha uma opção de acesso.

[Se você é novo por aqui, te convido a seguir comigo o roteiro completo de aprendizagem sobre corrente alternada.](#)

[Se você já conhece o recurso, pode acessá-lo livremente aqui.](#)

[Para conhecer melhor os espaços de aprendizagem, é só acessar a página de especificação.](#)

Organizado por: Cassiano Scott Puhl, Isolda Gianni de Lima e Thaísa J. Müller

Fonte: Captura de tela. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/>

Apesar da diversidade de recursos, o OA não continha um espaço de aprendizagem voltado para acadêmicos de Engenharia, contextualizando o conteúdo de números complexos, relacionando com o cálculo de impedância e de reatância de circuitos elétricos em CA. Diante disso, elabora-se o *MatEletric*<sup>59</sup>, o qual está agregado ao objeto de aprendizagem *Números*

<sup>58</sup> Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/>. Acesso em: 10 out. 2020.

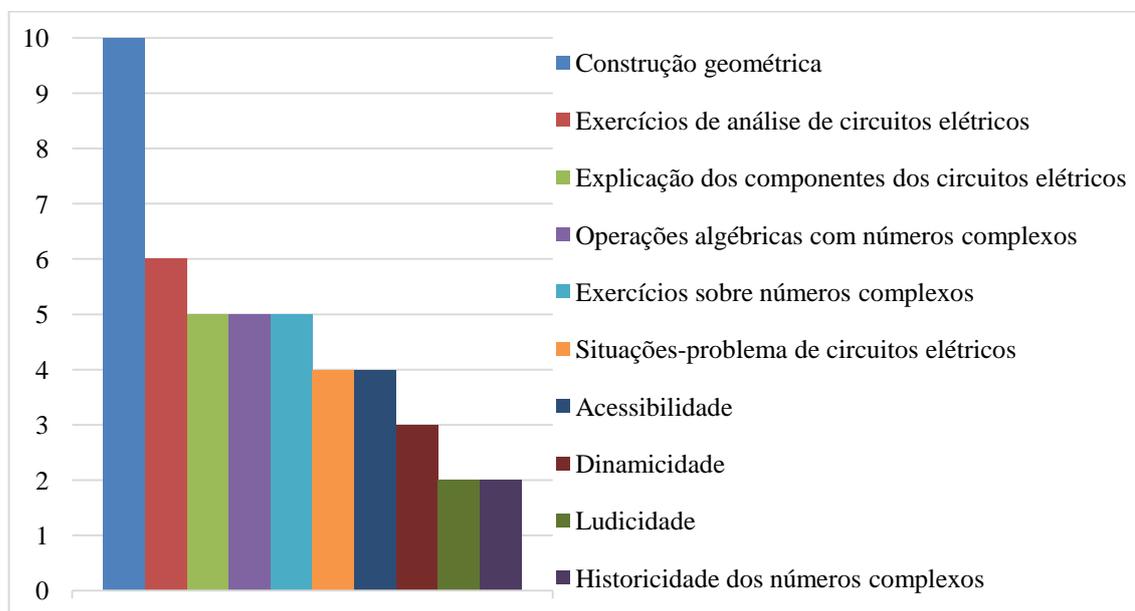
<sup>59</sup> Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/mateletric.html>. Acesso em: 10 out. 2020.

*complexos: interação e aprendizagem*, mas que tem como objetivo promover a aprendizagem de números complexos associado ao de circuitos elétricos em CA, tendo como público-alvo acadêmicos de Engenharias.

Contudo, antes da elaboração do *MatEletric*, realizaram-se pesquisas exploratórias com 158 acadêmicos de Engenharia, de duas Instituições de Ensino Superior do Rio Grande do Sul, e doze professores que utilizam conhecimentos sobre os números complexos em suas disciplinas de cursos de Engenharia. Entre os acadêmicos participantes da pesquisa, 98% mostraram-se interessados e dispostos a interagir com OA para aprender ou relembrar conceitos e operações com números complexos. Na pesquisa com professores, 83% dos participantes consideraram a possibilidade de utilizar um OA em sua aula, de modo presencial ou como atividade extraclasse.

A partir do interesse dos professores, buscou-se saber quais recursos didáticos e características deveriam ser contemplados no OA. A Figura 12 sintetiza as características citadas pelos professores que consideram utilizar ou sugerir o uso de recursos digitais aos acadêmicos.

**Figura 12** – Características relevantes para a criação do OA



Fonte: Elaborada pelo autor com base nas respostas dos professores.

Todos os professores destacaram a necessidade de contemplar aspectos de construção geométrica, o qual já está presente no OA *Números complexos: interação e aprendizagem*, sendo um espaço de aprendizagem com aplicativos do GeoGebra, para testar

possíveis conjecturas, compreender conceitos introdutórios e realizar operações de adição e subtração, multiplicação, divisão, radiciação e potenciação com números complexos. Considerando os dados fornecidos nessas pesquisas e em estudos teóricos, elaborou-se o *MatEletric*. Cabe ressaltar que os conteúdos do *MatEletric* – textos, vídeos e exercícios – foram revisados por três professores de Física que lecionam no IFRS e por um professor de Engenharia Elétrica que leciona o conteúdo de circuitos elétricos em CA.

Para fins de organização didática, o *MatEletric* foi organizado em três fases: 1) introdução de conceitos de circuitos elétricos em CA; 2) questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos; e 3) problemas para analisar circuitos elétricos em CA. Na primeira fase, se apresenta uma introdução do conteúdo, mostrando a aplicabilidade dos números complexos na área da Elétrica. Dando continuidade, disponibilizam-se questionários, em forma de organizadores prévios, para preencher lacunas de aprendizagem e ativar conhecimentos que serão necessários para a última fase, que envolve a resolução de problemas de análise de circuitos elétricos em CA.

Ao acessar o *MatEletric* encontra-se o personagem Radice<sup>60</sup> (Figura 13), o qual tem o objetivo de fornecer informações, orientar, guiar e auxiliar os acadêmicos, exercendo uma função similar à de um professor. Com esse personagem, busca-se tornar o OA um ambiente mais atrativo, “humano” e simpático aos acadêmicos. Logo no início, Radice apresenta conceitos básicos sobre CA e corrente contínua (CC), por meio de vídeos e textos, conforme consta na Figura 13, para posteriormente abordar a aplicabilidade da CA no cotidiano, sendo a principal fonte de energia presente nas residências.

**Figura 13** – Radice fornecendo informações aos acadêmicos

---

<sup>60</sup> Radice é o apelido do personagem batizado com o nome de Radiceler Tarcauchy. O nome Radice foi construído a partir de uma pesquisa sobre o desenvolvimento histórico dos números complexos, desde a sua origem, como números “sofisticados”, até a sua consolidação como conjunto numérico. Dessa forma, o nome Radice homenageia alguns matemáticos, como Niccolò Tartaglia, Leonhard Euler e Augustin-Louis Cauchy. A parte inicial do nome, *Radice*, deve-se ao símbolo de radical, que caracteriza o personagem.

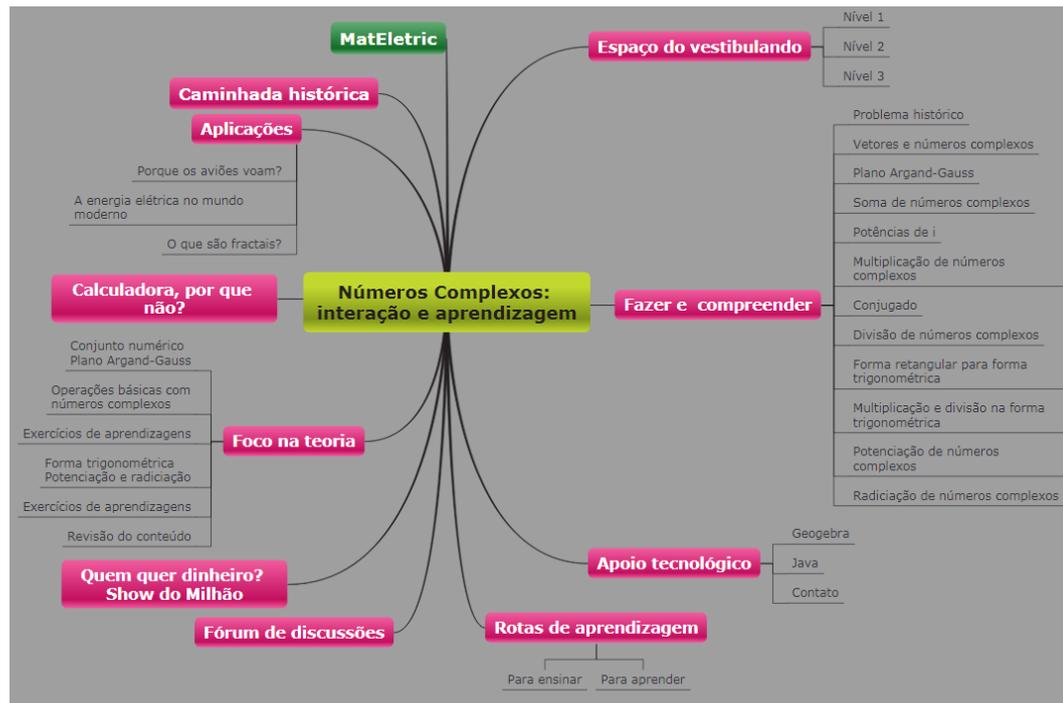
The screenshot shows the MatElettric interface. At the top, the title "MatElettric" is displayed in blue. Below it, a text box states: "Este espaço tem o objetivo de propiciar um ambiente de aprendizagem para que o estudante construa significados sobre o procedimento de análise de circuitos elétricos em corrente alternada." The main content area features a video player with the title "O que é Corrente Alternada e Corre..." and "Aula #10". The video player includes a play button and a progress bar. To the right of the video player is a blue speech bubble containing text: "Vamos começar do básico: você sabe a diferença entre corrente contínua e corrente alternada? Caso ela ainda não esteja clara pra você, basta dar play no vídeo ao lado ou, então, acessar o ambiente 'A energia elétrica no mundo moderno', em que eu te conto como isso funciona." Below the speech bubble is a blue character with glasses and a smile. At the bottom right, there are two blue buttons labeled "Tela inicial" and "Mapa web", and a video player control bar showing "0:00".

Fonte: Captura de tela. Disponível em: <http://numeroscomplexos.online/218.html>.

Os circuitos elétricos em CA possuem componentes que criam resistência à energia recebida pela corrente elétrica. Essa resistência, nos circuitos elétricos em CA, é denominada impedância, a qual pode ser representada por um número complexo. Os números complexos evitam a utilização de um nível de conhecimento matemático mais elevado – como, por exemplo, equações diferenciais e identidades trigonométricas – para analisar os componentes de circuitos elétricos em CA; simplificando esse processo (JOHNSON, 2014; CIPTOWIYONO, 2015; JESUS; TESTANI, 2016; AGRICCO JUNIOR, 2017; PORTOLAN, 2017; OLIVEIRA, 2018).

Na Figura 13, pode-se observar os recursos utilizados para a navegação no *MatElettric*. As flechas indicam as ações de voltar e avançar nas explicações. Há um botão para voltar na tela inicial e outro para acessar um mapa de navegação que mostra todos os espaços de aprendizagem presentes no OA *Números complexos: interação e aprendizagem* (Figura 14) e também disponibiliza um sumário. No menu suspenso do sumário, há os principais tópicos abordados no *MatElettric*, permitindo que o acadêmico o utilize em diferentes dias, que se avance ou que se retroceda nas atividades com maior agilidade e eficiência. Além disso, o Radice apresenta sugestões de *links* para complementar o estudo dos conteúdos abordados no OA *Números complexos: interação e aprendizagem* ou em *sites* disponíveis na *web*.

**Figura 14** – Mapa *web*



Fonte: Captura de tela. Disponível em: <http://numeroscomplexos.online/0.html>.

Durante a interação no *MatELetric*, explicam-se as diferenças das reatâncias resistivas, indutivas e capacitivas, as quais compõem a impedância, esta representada por um número complexo. As explicações sobre as reatâncias são compostas por textos e imagens (Figura 15), associando conceitos da elétrica com o conteúdo matemática, abordando-o algebricamente e geometricamente, conforme foi solicitado pelos professores de Engenharia.

**Figura 15** – MatELetric mostrando o significado geométrico das reatâncias

# MatELetric

Este espaço tem o objetivo de propiciar um ambiente de aprendizagem para que o estudante construa significados sobre o procedimento de análise de circuitos elétricos em corrente alternada.

**Sumário**

Analisando graficamente a figura ao lado, e considerando seus componentes resistivos, indutivos e capacitivos, tem-se que:

A corrente elétrica do resistor está em fase com a tensão do circuito.

A corrente elétrica do capacitor está adiantado  $90^\circ$  em relação à tensão do circuito, por isso a impedância capacitiva está no eixo imaginário negativo.

A corrente elétrica do indutor está atrasada  $90^\circ$  em relação à tensão do circuito, por isso a impedância indutiva está no eixo imaginário positivo.

Por fim, analisando se o circuito está em paralelo ou em série, é possível determinar a impedância total.

↔  
Tela inicial Mapa web

Fonte: Captura de tela. Disponível em: <http://numeroscomplexos.online/276.html>.

Essa abordagem introdutória, mostrando a aplicação dos números complexos na área da elétrica foi realizada para contextualizar o conteúdo, instigar e chamar a atenção do acadêmico para a necessidade de compreender o conteúdo matemático para realizar a análise de circuitos elétricos em CA. Desse modo, busca-se fazer com que o acadêmico esteja motivado, predisposto a interagir, a realizar atividades e a aprender sobre números complexos, pois, segundo a TAS, a aprendizagem significativa ocorre quando se realiza um esforço mental, ou seja, promove-se a interação entre conhecimentos prévios com os conteúdos do OA.

A organização inicial do *MatEletric* contempla a propriedade da diferenciação progressiva da TAS, em que se abordam conceitos gerais (definição de CA) para depois trazer os conceitos mais específicos (impedância, reatância resistiva, reatância indutiva, reatância capacitiva, as implicações de cada componente elétrico sobre o comportamento da corrente elétrica e da tensão do circuito). Essa abordagem possibilita que os acadêmicos compreendam conceitos gerais sobre circuitos elétricos em CA, que é o objeto de estudo deles, porém para dar continuidade aos estudos faz-se necessário o conhecimento sobre números complexos.

Entretanto, conforme já mencionado neste documento, o conteúdo de números complexos não está sendo abordado na Educação Básica (ELI, 2014; PEREIRA, 2016; PUHL, 2016; COSTA, 2016), sendo assim uma lacuna de aprendizagem para os acadêmicos de Engenharia. Em virtude desse contexto, elabora-se um organizador prévio, em forma de questionário, para que o acadêmico possa lembrar ou aprender conceitos e operações com números complexos. O organizador prévio aborda conceitos gerais – definição de números complexos, significado da unidade da unidade imaginária, representação na forma algébrica e polar – para, posteriormente, abordar as operações de adição e subtração, na forma algébrica, e a multiplicação e a divisão, na forma polar. A escolha desses conteúdos justifica-se pela necessidade de compreendê-los para analisar circuitos elétricos em CA.

A Figura 16 ilustra a tela de acesso ao organizador prévio. Ao acadêmico que sabe efetuar operações, é disponibilizado um questionário com perguntas diretas, e, para aqueles que não sabem, o questionário é composto com as mesmas perguntas, mas com informações e dicas que o auxiliam a estabelecer relação dessas operações com conhecimentos mais básicos de Matemática, como, por exemplo, as operações algébricas.

**Figura 16** – Tela de acesso ao organizador prévio de números complexos

**MatEletric**

Este espaço tem o objetivo de propiciar um ambiente de aprendizagem para que o estudante construa significados sobre o procedimento de análise de circuitos elétricos em corrente alternada.

**Sumário**

Você já viu, conhece ou estudou números como  $z_1 = 1 + 2i$ ,  $z_2 = -2i$  ou  $z_3 = 4 - 5i$ , chamados "números complexos"?

Sim, estudei e lembro o que são e como calculá-los.

Sim, estudei, mas não lembro como calculá-los.

Nunca estudei números complexos.

Obs.: Ao responder à pergunta, você terá acesso a um questionário sobre números complexos, que aborda os conceitos e operações necessárias à análise de circuito em corrente alternada.

←  
Tela inicial Mapa web

Fonte: Captura de tela. Disponível em: <http://numeroscomplexos.online/220.html>.

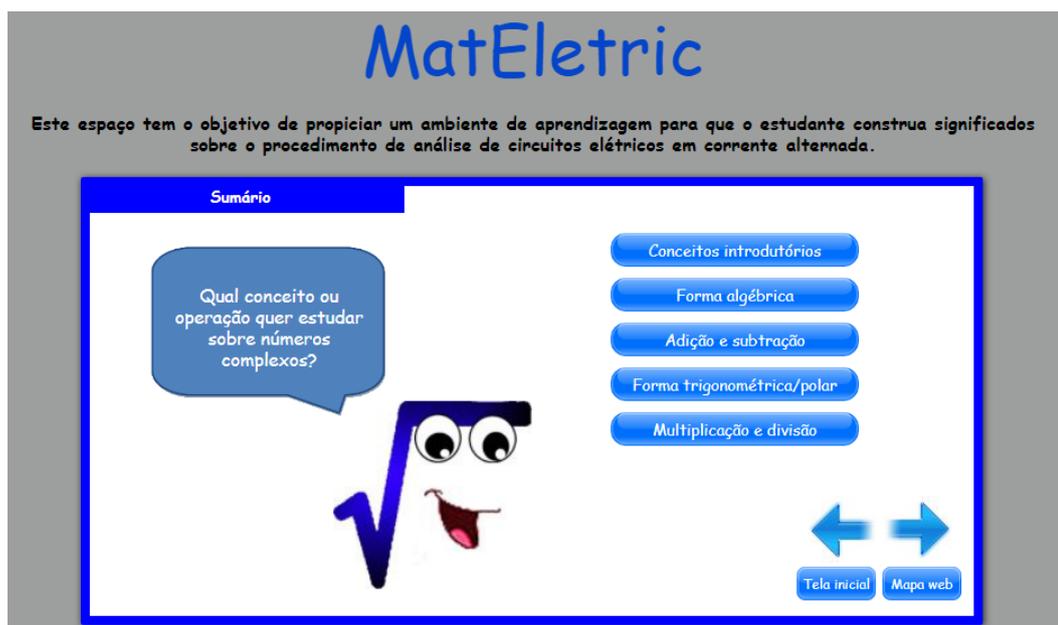
As informações e dicas fornecidas no organizador prévio buscam mostrar semelhanças entre conteúdos matemáticos, permitindo que o acadêmico estabeleça relações entre o conteúdo e seus conhecimentos prévios, conforme sugere a propriedade da reconciliação integradora. Desse modo, o acadêmico, ao receber informações sobre números complexos, pode estabelecer uma relação não arbitrária e construir significado desses conceitos, a partir de seus conhecimentos prévios. Sendo assim, os organizadores prévios buscam propiciar a aprendizagem sobre números complexos e ativar conhecimentos na estrutura cognitiva dos acadêmicos.

Ao responder ao questionário, acertando ou errando a pergunta, o acadêmico tem acesso a *feedbacks* que explicam o conteúdo, sugerindo diferentes recursos (textos, vídeos, plataforma Khan Academy, aplicativos e *sites*) para aprenderem. Para cada pergunta, sugere-se um tipo de recurso, como, por exemplo, para compreender o significado da unidade imaginária, sugere-se o acesso a uma sequência de aplicativos do GeoGebra para que o acadêmico possa associar os números complexos a vetores; para as operações de adição e subtração, o recurso indicado são vídeos que explicam e exemplificam essas operações.

A diversidade de recursos deve-se ao interesse de contemplar diferentes perfis de acadêmicos, sendo que alguns preferem estudar de forma mais interativa ou receptiva. Além dos *feedbacks*, o Radice apresenta os conteúdos essenciais e sugere outros recursos para o acadêmico aprender sobre números complexos, conforme consta na Figura 17. Desse modo, busca-se promover um ensino individualizado, em que cada acadêmico vai aproveitar o

organizador prévio conforme o seu conhecimento e o seu interesse. Além dos *feedbacks* e de diferentes recursos didáticos, disponibiliza-se uma síntese<sup>61</sup>, em uma folha A4, que apresenta a definição, as representações de números complexos e exemplifica as operações de adição e subtração, na forma algébrica, e multiplicação e divisão, na forma polar, sendo esses conhecimentos básicos para analisar circuitos elétricos em CA.

**Figura 17** – Radice apresentando os conteúdos essenciais aos acadêmicos.



Fonte: Captura de tela. Disponível em: <http://numeroscomplexos.online/233.html>.

Além dos organizadores prévios sobre números complexos, disponibiliza-se outro para os acadêmicos relembrem sobre a lei de Ohm, o comportamento dos componentes elétricos, da energia elétrica e da tensão nos circuitos associados em série e em paralelo. Esses conceitos já foram estudados pelos acadêmicos para analisarem circuitos elétricos em CC. Diante disso, esse organizador prévio foi estruturado com *feedbacks*, cujo objetivo é relemburar e ativar conhecimentos para que os acadêmicos os utilizem na resolução de problemas.

Os organizadores prévios incorporados no *MatEletric* foram elaborados no Formulários Google, com a função teste para fornecer os *feedbacks* logo após o envio dos acadêmicos. Em virtude de ser um material introdutório, cujo objetivo é proporcionar conhecimentos para que os acadêmicos os utilizem na análise de circuitos elétricos, não foi

<sup>61</sup> Disponível em: [https://www.dropbox.com/s/bdbnc54tzqeuoa/Resumo\\_Complexos2.pdf?dl=0](https://www.dropbox.com/s/bdbnc54tzqeuoa/Resumo_Complexos2.pdf?dl=0). Acesso em: 10 out. 2020.

realizada nenhuma avaliação por pontos, mas tem-se a expectativa que sirvam como instrumentos de suporte e autoavaliação de conhecimento.

Após proporcionar atividades introdutórias (organizadores prévios), disponibilizam-se tarefas de aprendizagem aos acadêmicos, em forma de problemas que envolvem a análise de circuitos elétricos em CA. Os problemas abordam o cálculo dos valores de módulo e fase da impedância, da corrente elétrica e da tensão em cada componente do circuito.

Os problemas foram planejados para contextualizar o conteúdo e buscar envolver os acadêmicos no processo de aprendizagem. Os acadêmicos, sentindo-se desafiados e interessados em resolver as situações, possivelmente, estarão motivados e predispostos a aprender. Além disso, os problemas foram organizados para gradativamente aumentar o nível de dificuldade dos conteúdos, fazendo com que sempre haja um componente diferente no problema subsequente.

O Quadro 7 apresenta uma síntese dos conceitos envolvidos nos problemas a serem resolvidos. Nos seis primeiros problemas, Radice apresenta dicas, auxilia e acompanha o processo de resolução e, nos três últimos, não. Nesses, fornecem-se indicativos para o acadêmico autoavaliar a sua aprendizagem, gerando *feedbacks* dos acertos ou erros cometidos.

**Quadro 7** – Relação de problemas apresentados aos acadêmicos.

Problema	Componentes elétricos	Associação dos componentes elétricos
1	Resistor e Indutor	Série
2	Resistor e Capacitor	Série
3	Resistor e Capacitor	Paralelo
4	Indutor e Capacitor	Paralelo
5	Resistor, Indutor e Capacitor	Misto
6	Resistor, Indutor e Capacitor	Misto
7	Resistor, Indutor e Capacitor	Série
8	Resistor, Indutor e Capacitor	Paralelo
9	Resistor, Indutor e Capacitor	Misto

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os seis problemas iniciais foram elaborados para os acadêmicos estudarem e aprenderem a efetuar operações com números complexos e analisar circuitos elétricos. Após a resolução de cada problema, Radice apresenta a resposta. Caso o acadêmico não acerte, são

apresentas dicas, fazendo-o refletir e retomar o procedimento de análise. Essas etapas intermediárias da resolução do problema fornecem instruções com os objetivos de: apresentar e/ou ativar conhecimentos matemáticos ou sobre circuitos; favorecer, assim, a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora; promover momentos de reflexão sobre o conhecimento específico na análise de circuitos elétricos em CA. Essas ações buscam manter o acadêmico ativo, motivando-o para compreender os conceitos envolvidos na resolução do problema, promovendo uma aprendizagem significativa por descoberta semiautônoma.

Se a dificuldade do acadêmico persistir, Radice apresenta a resolução detalhada do cálculo, conforme consta na Figura 18, visando à consolidação dos conhecimentos na estrutura cognitiva, e, em seguida, será proposto um novo problema. A diferença entre os problemas está na forma da associação do circuito, em série ou em paralelo, ou dos componentes elétricos que compõem o circuito elétrico. O tipo de associação envolverá procedimentos diferentes para determinar os valores da corrente elétrica e da tensão.

**Figura 18** – Radice fornecendo dicas aos acadêmicos.

The screenshot shows the MatELetric software interface. At the top, the title "MatELetric" is displayed in blue. Below it, a text box states: "Este espaço tem o objetivo de propiciar um ambiente de aprendizagem para que o estudante construa significados sobre o procedimento de análise de circuitos elétricos em corrente alternada." The main content area is titled "Sumário" and "Dicas". It contains several questions: "Utilizou a relação da reatância indutiva? Cuidou a unidade de medida do indutor?", "A impedância indutiva é representada no eixo positivo ou negativo?", "A impedância total é determinada somente pelo indutor? Como fica representada a impedância total graficamente?", and "Lembra-se das razões trigonométricas para determinar a fase da impedância total?". Below these questions is a circuit diagram with a voltage source  $E = 100\text{ V}$ ,  $60\text{ Hz}$ , a resistor  $R1 = 8\ \Omega$ , and an inductor  $L1 = 16\text{ mH}$ . The impedance is given as  $\text{Impedância: } Z_T = 8 + 6,03j \text{ ou } Z_T = 10,02 \angle 37^\circ [\Omega]$ . To the right, a character named Radice, a blue square root symbol with eyes and a smile, is speaking. A speech bubble says: "Antes de apresentar a resolução, quero lhe dar dicas em forma de perguntas. Se não conseguiu, clique aqui." Below the character are two buttons: "Tela inicial" and "Mapa web".

Fonte: Captura de tela. Disponível em: <http://numeroscomplexos.online/253.html>.

Por meio desses problemas, busca-se contemplar concomitantemente os princípios de diferenciação progressiva e reconciliação integradora, pois os acadêmicos iniciam num conceito geral, de circuitos elétricos em CA, e utilizam os números complexos para analisar o comportamento de cada componente elétrico. Contudo, os valores de módulo e fase da corrente elétrica e da tensão de cada componente elétrico são determinados pela forma como

estão associados, em série ou paralelo, sendo assim as características específicas são determinadas pelo contexto geral.

Em busca de propiciar um instrumento de autoavaliação de aprendizagem sobre circuitos elétricos em corrente, disponibilizaram-se três problemas, com um grau de complexidade maior daqueles que foram estudados, para os acadêmicos resolverem. Esses problemas foram elaboradas em Formulários Google, seguindo as mesmas diretrizes dos organizadores prévios incorporados no *MatEletric*. Desse modo, buscou-se contemplar os princípios da organização sequencial de conteúdo e da consolidação de conhecimentos.

O *MatEletric* é composto de organizadores prévios e de tarefas de aprendizagem, apresentando nove problemas, visando a envolver os acadêmicos no processo de aprendizagem. Além disso, busca-se desenvolver uma aprendizagem significativa dos conhecimentos básicos sobre números complexos, por meio dos organizadores prévios, e promover relações não arbitrárias e substantivas desses com os novos conhecimentos da área da Elétrica. Os diversos ambientes que constituem o OA foram arquitetados de modo a apresentar algumas opções de percurso aos acadêmicos, que podem segui-los numa rota ou por outras alternativas, inclusive com outros recursos da *web*, para aprender conceitos matemáticos e de circuitos elétricos.

Essa organização do conteúdo busca aproximar o acadêmico de seu campo profissional, podendo aumentar o nível de atenção e motivar a aprendizagem, pois “ajuda-o a dar significado para as teorias e os conceitos que deve aprender e integrá-los ao seu mundo intelectual; a levantar questões e elaborar perguntas reais que têm a ver com seu trabalho” (MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013, p. 148). O aumento do nível de atenção e de motivação são indicativos de que o acadêmico está predisposto a aprender, a realizar um esforço mental para relacionar conhecimentos de forma não arbitrária e substantiva, facilitando “[...] a capacidade para solução de problemas, na medida em que diferenciação progressiva e reconciliação integrativa de conceitos relevantes tenham ocorrido” (NOVAK, 1981, p. 114). Sendo assim, é importante que as estratégias didáticas, no ensino de Engenharia, sejam planejadas envolvendo os conceitos e as operações matemáticas nas relações com o cotidiano social ou profissional (REIS, 2009).

Apesar de a organização dos conteúdos contemplar diferentes princípios da TAS, cabe ressaltar que o da consolidação não é contemplado na sua integridade. O *MatEletric* é um ambiente considerado aberto, no qual o acadêmico pode utilizar qualquer espaço e avançar nas atividades da forma que achar conveniente. Desse modo, o OA não garante a consolidação de conhecimentos, por parte dos acadêmicos, para que se avance nas atividades,

mas, por meio dos questionários, dos *feedbacks* e dos problemas, fornece indicativos para que o acadêmico realize uma autoavaliação da sua aprendizagem.

Os espaços de aprendizagem desenvolvidos na pesquisa de mestrado que servem de apoio para os acadêmicos estudarem números complexos são apresentados a seguir, de forma breve, sendo que a explicação da fundamentação teórica de cada espaço de aprendizagem consta na dissertação (PUHL, 2016).

## 5.1 CAMINHADA HISTÓRICA

A “Caminhada histórica” é um ambiente estruturado como uma linha do tempo que apresenta alguns matemáticos<sup>62</sup> que contribuíram para a formalização da teoria dos números complexos, buscando ressaltar o processo de construção humana desse conhecimento. Nesse ambiente, a aprendizagem é desenvolvida por meio da leitura: o estudante conhece a evolução histórica e as dificuldades enfrentadas pelos matemáticos para aceitarem os números complexos como um conhecimento matemático.

## 5.2 ESPAÇO DO VESTIBULANDO

O “Espaço do vestibulando” constitui uma coletânea de questões sobre números complexos que foi preparada a partir de uma busca em provas de vestibular de universidades federais do Brasil e de outras universidades que se destacam na oferta de cursos da área das Ciências Exatas e Tecnologia, no Estado do Rio Grande do Sul. Esse é um espaço construído para que os usuários ampliem o grau de especificidade sobre números complexos, privilegiando os estudantes que não se contentam com o fundamental e que buscam aprender mais ou se sentem motivados por desafios.

Em busca de elaborar um material potencialmente significativo, as questões foram organizadas, logicamente, em três níveis: fácil (nível um), médio (nível dois) e difícil (nível três)<sup>63</sup>. Desse modo, ao resolver as questões, progressivamente, os estudantes utilizam o conhecimento da etapa anterior, podendo ancorar novos saberes aos subsunçores.

---

<sup>62</sup> Estes são alguns matemáticos presentes no OAM: Girolamo Cardano, Raphael Bombelli, Albert Girard, Gottfried Wilhelm Leibniz, Abraham de Moivre, Leonhard Euler, Caspar Wessel, Jean Robert Argand, Carl Friederich Gauss e Agustin Cuchy.

<sup>63</sup> O nível um aborda conceitos básicos sobre as operações, a representação geométrica na forma algébrica e a comparação entre números complexos e raízes complexas. O nível dois contempla a forma trigonométrica e as operações de multiplicação e divisão nessa forma. O nível três envolve as operações de radiciação e potenciação e, também, a decomposição de polinômios.

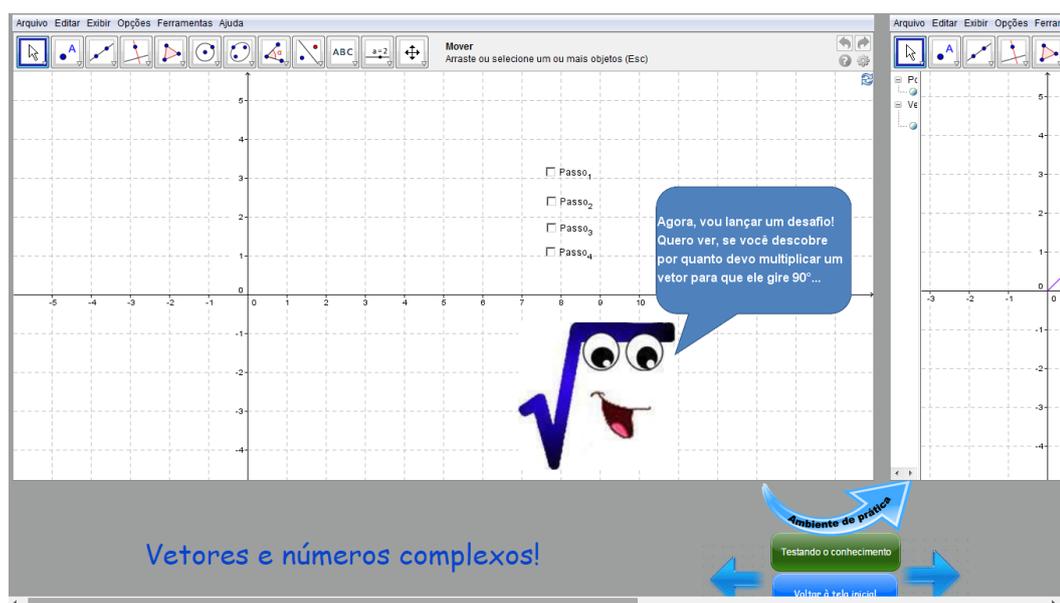
Esse espaço busca criar um ambiente reflexivo, portanto não é baseado num sistema pergunta-resposta. Quando o estudante erra pela primeira vez, o sistema propõe um questionamento, levando-o a refletir sobre a questão ou, ainda, a ativar subsunções para retomar a resolução. Desse modo, o erro faz parte do processo de aprendizagem, servindo como um meio de reflexão e crescimento cognitivo (BARROS, 1996; BECKER, 2015). Se, mesmo assim, o estudante não acertar, ele tem acesso ao gabarito e a uma explicação da resolução.

### 5.3 FAZER E COMPREENDER

O “Fazer e compreender” é constituído por uma sequência de aplicativos no GeoGebra e por um desafio matemático com atividades potencialmente significativas para a aprendizagem de números complexos. Nesse ambiente de geometria dinâmica, os estudantes são instigados a refletir, testar hipóteses, analisar e construir conhecimentos por meio de uma abordagem geométrica, colocando em segundo plano o ensino formal e algebrizante de números complexos (CARNEIRO, 2004a, 2004b; SPINELLI, 2009).

No espaço “Fazer e compreender”, há três recursos importantes que o estudante pode utilizar para construir o conhecimento sobre os números complexos: a interação no GeoGebra, o ambiente de prática e o *link* “Testando o conhecimento”. Os aplicativos do GeoGebra apresentam um personagem virtual, chamado Radice, que guia uma conversa ou desafios, em busca de criar um ambiente propício para a reflexão e a compreensão dos conceitos e propriedades de números complexos (Figura 19). Desse modo, o estudante participa ativamente e reflete sobre os conhecimentos abordados, tendo a liberdade de manipular e utilizar os recursos disponíveis no GeoGebra.

**Figura 19** – Radice lançando um desafio para o estudante



Fonte: Captura de tela. Disponível em: <http://numeroscomplexos.online/12.html>.

O ambiente de prática é outra tela interativa, que fica ao lado do mencionado anteriormente. Esse ambiente permite ao estudante mais liberdade ao manipular os recursos do GeoGebra para testar hipóteses e analisá-las, e construir significados do conhecimento abordado.

O recurso “Testando o conhecimento” (botão verde exibido na Figura 19) é uma planilha eletrônica com perguntas sobre os conhecimentos abordados nos aplicativos do GeoGebra. Esse recurso tem o objetivo de indicar se o significado construído pelo estudante está correto, tornando-se, assim, um indício da compreensão, ou não, do novo conhecimento.

Além dos aplicativos do GeoGebra, o espaço “Fazer e compreender” apresenta um ambiente chamado “Problema histórico”. Nesse ambiente, busca-se colocar o estudante no lugar de um matemático do ano 1550, com dificuldades para resolver situações-problema, como esta, que é proposta aos estudantes: “Diga dois números cuja soma é 6 e a multiplicação é 13”. Nesse ambiente, o personagem virtual, Radice, ajuda o estudante a superar empecilhos encontrados durante a resolução do desafio (Figura 20), propondo dicas para ativar subsunçores e, conseqüentemente, para facilitar ancoragem dos novos conhecimentos.

**Figura 20** – Radice e o estudante precisam estudar

# Números Complexos

Este espaço tem o objetivo de propiciar um ambiente de aprendizagem para que o estudante construa significados sobre conceitos, propriedades e operações com números complexos.

E agora, o que eu faço com essa raiz quadrada negativa? Ele não pertence aos números reais, e agora o que fazer?

Vamos estudar um pouquinho...

$$r = \frac{6 \pm \sqrt{-16}}{2}$$


Fonte: Captura de tela. Disponível em: <http://numeroscomplexos.online/48.html>.

Desse modo, o “Fazer e compreender” tem o objetivo de proporcionar um ambiente reflexivo para que o estudante construa conhecimentos, por meio da interação com os aplicativos do GeoGebra ou com o personagem virtual. A sequência de aplicativos visa a modificar a prática do professor, oferecendo uma alternativa diferenciada que permite o protagonismo do estudante. Além disso, o estudante conta com o apoio de um personagem virtual, que auxilia e questiona, fazendo-o refletir sobre os significados construídos.

#### 5.4 APOIO TECNOLÓGICO

O espaço de apoio tecnológico é “[...] fundamental em qualquer animação de caráter pedagógico, pois fornece instruções de uso e respostas às dúvidas mais frequentes dos usuários” (MONTEIRO *et al.*, 2006, p. 396). Desse modo, criou-se esse espaço, “Apoio tecnológico”, para propor soluções a alguns problemas recorrentes no *software* Java, que é necessário para programar e interagir com os aplicativos do GeoGebra.

#### 5.5 ROTAS DE APRENDIZAGEM

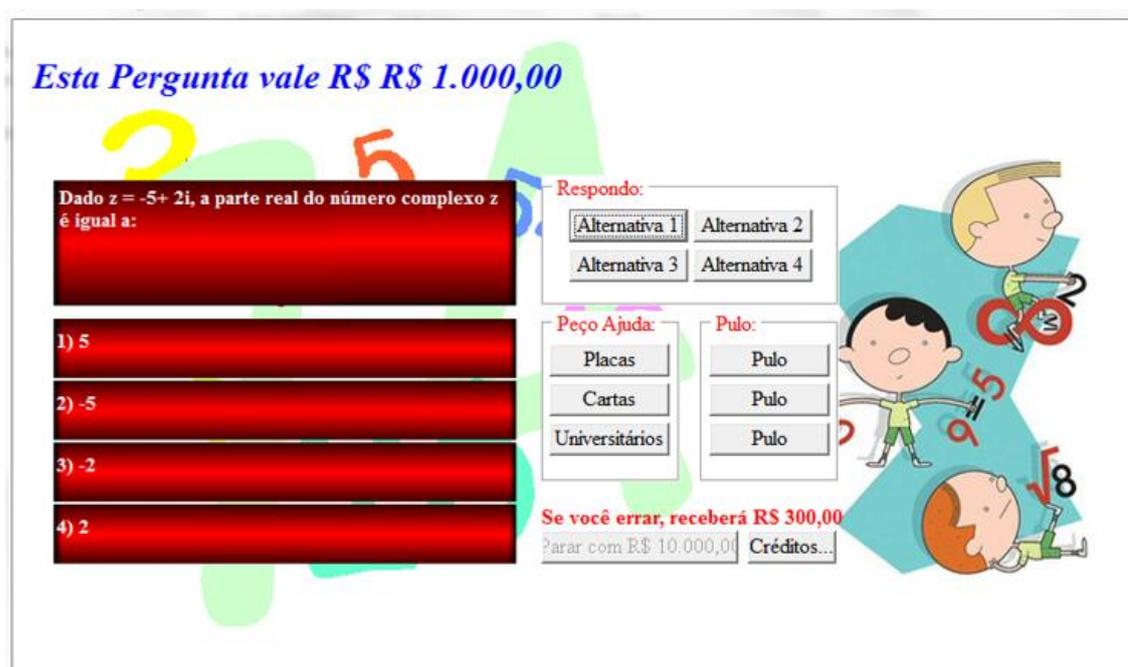
No espaço “Rotas de aprendizagem”, são sugeridos percursos aos professores e aos estudantes para, respectivamente, planejarem aulas e compreenderem os números complexos por meio do OAM. Esse espaço se torna interessante para os professores, principalmente os

do Ensino Médio, pois é composto por seqüências de aulas com atividades potencialmente significativas para a aprendizagem do conteúdo por meio de estratégias ativas.

## 5.6 QUEM QUER DINHEIRO? SHOW DO MILHÃO

“Quem quer dinheiro?” é uma expressão bastante conhecida e sugere o lúdico. Para desafiar e estimular os estudantes, criou-se um “Show do milhão” alusivo a um programa da televisão brasileira, com perguntas sobre números complexos (Figura 21). Os recursos digitais, como os OAM, ou as “[...] atividades pedagógicas digitais devem evidenciar os aspectos lúdicos, de interação e de experimentação que deveriam estar presentes em qualquer processo de aprendizagem significativa” (PRATA; NASCIMENTO; PIETROCOLA, 2007, p. 107). Essa integração da ludicidade com as TD potencializam o envolvimento dos usuários nos processos de ensino e de aprendizagem.

**Figura 21** – Interface do “Show do milhão”



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na programação desse recurso, seguiu-se uma organização lógica dos conceitos, e as questões foram ordenadas por graus de dificuldade e de especificidade. Nas primeiras rodadas – 1 mil a 5 mil –, as questões referem-se à parte algébrica do número complexo e à unidade imaginária  $i$ ; na segunda parte – 10 mil a 50 mil –, as questões envolvem as operações na forma algébrica; nas últimas rodadas – 100 mil a 500 mil –, as questões contemplam a forma

trigonométrica. Por fim, na pergunta final – 1 milhão –, há uma expressão numérica de números complexos, envolvendo diferentes operações na forma algébrica e trigonométrica.

O “Show do milhão” traz questões que foram selecionadas e adaptadas de diferentes livros didáticos e da *web*. Em cada rodada do jogo, as questões são apresentadas por nível de dificuldade, mas escolhidas de forma aleatória. Desse modo, esse recurso busca criar um ambiente dinâmico e desafiador para os estudantes consolidarem os conhecimentos. Para evitar a repetição de questões, programou-se um banco de perguntas consideravelmente grande, composta de 109 questões.

### 5.7 FOCO NA TEORIA

No espaço “Foco na teoria”, são apresentados os conceitos formais da teoria dos números complexos. Esse espaço torna-se relevante para reforçar os significados construídos em outros (como no “Fazer e compreender”), o que permite que os estudantes ampliem o grau de especificidade e de compreensão do conteúdo, por meio de explicações e exemplos.

### 5.8 CALCULADORA

Em “Calculadora”, são propostas formas de como operar com números complexos nas calculadoras científicas Casio e HP, escolhidas por serem bastante utilizadas por estudantes do Ensino Médio e de cursos de Engenharia. Assim, agregaram-se vídeos explicativos disponibilizados no YouTube de como se operam números complexos nesses aparelhos.

### 5.9 APLICAÇÕES

No espaço “Aplicações”, são apresentadas situações reais (nas quais números complexos podem ser identificados) descritas em linguagem compreensível para estudantes de Ensino Médio. Essas situações fazem ver que os números complexos não são somente um objeto teórico na Matemática, mas que estão presentes também em conceitos da Física. Esse espaço apresenta três situações nas quais os números complexos são fundamentais: a análise de circuitos elétricos em corrente alternada, a força de sustentação do avião e os fractais. Tais situações foram pesquisadas e construídas com a colaboração de professores universitários e

de cursos técnicos, que sugeriram bibliografias com aplicações que auxiliam a dar consistência ao conteúdo.

#### 5.10 FÓRUM DE DISCUSSÕES

O “Fórum de discussões” permite aos estudantes expor dúvidas e serem auxiliados por professores e/ou outros estudantes, por meio de interação virtual, com o objetivo de promover uma construção cooperativa de significados. Desse modo, destaca-se o compartilhamento de experiências e a oportunidade que todos têm de apresentar e discutir possíveis soluções aos problemas, propiciando uma construção reflexiva sobre os conhecimentos abordados nos problemas expostos.

## 6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os dados construídos com os acadêmicos e o professor da disciplina proporcionam três categorias emergentes que buscam responder ao problema de pesquisa e de que os objetos de aprendizagem, como é o caso do MatELetric, podem colaborar significativamente no processo de ensino de conteúdos, se o material didático desenvolvido seguir as orientações de pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa de forma integrada à estratégia da resolução de problemas. No processo de categorização dos fragmentos de textos, obtiveram-se trinta categorias intermediárias, as quais foram reagrupadas, e culminaram em três categorias finais, a saber: i) *Organização didática e dos conteúdos*; ii) *Ensino individualizado e autoavaliação do conhecimento*; e iii) *Sugestões de aperfeiçoamentos*.

O Quadro 8 apresenta as categorias intermediárias (subcategorias) que compõem cada uma das finais, em ordem decrescente conforme a sua representatividade. Esses dados foram construídos a partir dos relatos dos participantes desta pesquisa: do professor da disciplina e de 18 acadêmicos. Além disso, apresentam o percentual de fragmentos de textos presentes em cada categoria, sendo que as duas primeiras trazem argumentos para considerar o MatELetric um material potencialmente significativo no ensino de circuitos elétricos em CA.

**Quadro 8** – A frequência dos fragmentos das categorias finais com suas subcategorias.

N.	Categorias Finais e Subcategorias	Fragmentos de texto	
		Frequência absoluta	Frequência relativa
I	<p><i>Organização didática e dos conteúdos</i></p> <p>A incompreensão de conteúdos-base pode dificultar o estudo de conteúdos.</p> <p>A navegação pelo MatELetric ocorre de forma intuitiva.</p> <p>A organização didática do MatELetric auxilia no estudo dos conteúdos.</p> <p>A organização didática do MatELetric pode ser utilizada em outras disciplinas do curso de Engenharia.</p> <p>A organização didática dos conteúdos auxilia no estudo dos conteúdos.</p> <p>A parte gráfica do MatELetric é simples.</p> <p>A professora não tem opinião sobre os <i>feedbacks</i>.</p> <p>As tarefas de aprendizagem do MatELetric envolvem o acadêmico no estudo dos conteúdo.</p> <p>As tarefas de aprendizagem do MatELetric são coerentes com o conteúdo estudado.</p> <p>O conteúdo apresentado é de fácil compreensão.</p> <p>O MatELetric apresenta um forma diferente de estudar os conteúdos.</p> <p>O MatELetric auxilia no estudo de conteúdos-base.</p> <p>O MatELetric é recomendado como material didático pelos acadêmicos.</p>	769	68,6%

	<p>O MatElettric é um material didático que complementa a aula.  O MatElettric proporciona a introdução do conteúdo de circuitos elétricos.  Os recursos digitais precisam fazer parte das salas de aulas.</p>		
II	<p><i>Ensino individualizado e autoavaliação do conhecimento</i></p> <p>O MatElettric possibilita autoavaliação dos conteúdos estudados.  O MatElettric pode ser utilizados por estudantes de diferentes níveis de escolaridade.  O MatElettric sugere conteúdos e recursos conforme o conhecimento do acadêmico.  O acadêmico tem acesso livre e independente nos recursos do MatElettric.  O MatElettric tem diferentes ambientes e recursos para ensinar os conteúdos.</p>	184	16,4%
III	<p><i>Sugestões de aperfeiçoamentos</i></p> <p>O MatElettric pode ser aperfeiçoado.  A interatividade poderia ser melhorada no MatElettric.  O sistema de navegação no MatElettric poderia ser aperfeiçoada.  A parte gráfica do MatElettric poderia ser melhorada.  Alguns conteúdos poderiam ser sintetizados e/ou reforçados no MatElettric.  O MatElettric poderia ser adaptado a acadêmicos com necessidades especiais.  O MatElettric poderia ser um aplicativo de <i>smartphone</i> com <i>login</i>.  O MatElettric poderia ter mais recursos interativos para estudar os conteúdos.  O MatElettric poderia ter vídeos de autoria própria.</p>	168	15,0%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na primeira categoria, *Organização didática e dos conteúdos*, têm-se indicativos de que a organização didática e dos conteúdos realizadas no MatElettric, fundamentados nos pressupostos teóricos da TAS e da RP, auxiliam na compreensão de conceitos e na análise de circuitos elétricos em CA. Entre os pressupostos teóricos contemplados nessa categoria, há três princípios da TAS: diferenciação progressiva, reconciliação integradora e organização sequencial; além disso, a contextualização do conteúdo é um componente motivacional que envolve o acadêmico no processo de aprendizagem, ou seja, promove a ação cognitiva (predisposição em aprender).

Além disso, os acadêmicos reconhecem a relevância do estudo de conteúdos-base – números complexos e conceitos introdutórios de circuitos elétricos – para promover a aprendizagem significativa sobre circuitos elétricos em CA. Essa perspectiva está em consonância com pressupostos teóricos da TAS, em que se faz necessário disponibilizar organizadores prévios para preencher lacunas de aprendizagem e ativar conhecimentos prévios dos acadêmicos.

Em virtude dessa organização didática, os participantes consideram o MatEletric um material didático para introduzir o conteúdo de circuitos elétricos em CA, seja para complementar a aula ou para aplicá-lo por meio da sala de aula invertida. Apesar de haver limitações no MatEletric, conforme consta na terceira categoria, os participantes consideram utilizá-lo no ensino presencial ou virtual, por propiciar uma forma diferente de estudar, ampliando o tempo da aula para mais explicações sobre o conteúdo próprio da disciplina ou para sanar dúvidas de conteúdos considerados básicos e ainda não compreendidos pelos acadêmicos.

A segunda categoria, *Ensino individualizado e autoavaliação do conhecimento*, contempla características que evidenciam a possibilidade de promover um ensino individualizado, conforme o interesse e conhecimento do acadêmico, além de disponibilizar recursos para autoavaliar as aprendizagens desenvolvidas. Nessa categoria, tem-se o reconhecimento de que uma das potencialidades dos recursos tecnológicos é promover um ensino mais individualizado, considerando os conhecimentos do acadêmico, a forma como ele prefere estudar (auditiva, visual e interativa) e o respeito ao seu ritmo de aprendizagem. Entre os pressupostos teóricos da TAS nessa categoria, observa-se a importância de considerar o conhecimento prévio do acadêmico, além do princípio da consolidação.

Por último, na categoria *Sugestões de aperfeiçoamentos*, os participantes da pesquisa apresentaram limitações técnicas e de conteúdo. O OAM tem a característica de ser um recurso adaptável conforme as necessidades dos usuários. Diante disso, essa categoria revela aspectos para serem aprimorados ou modificados, os quais podem interferir na interatividade com o MatEletric, possivelmente, impactando a predisposição do acadêmico em aprender.

A seguir apresentam-se os metatextos que representam a compreensão das informações e dos discursos, explícitos e implícitos, no *corpus* de análise sobre a avaliação do MatEletric, na condição de material didático para o ensino de circuitos elétricos em CA. A ordem da apresentação dos metatextos não indica o grau de importância da categoria, mas o modo como elas se relacionam para confirmar a tese de que o MatEletric, como um exemplo de material didático elaborada a partir da TAS e da RP, caracteriza-se como um material potencialmente significativo no ensino de circuitos elétricos em CA. Além disso, nos metatextos, há termos grifados, em negrito, para ressaltar conceitos considerados importantes dos pressupostos teóricos da TAS e da RP, que foram contemplados a partir da compreensão dos relatos dos participantes da pesquisa.

## 6.1 ORGANIZAÇÃO DIDÁTICA E DOS CONTEÚDOS

A categoria *Organização didática e dos conteúdos* tem o seguinte argumento aglutinador: a organização didática do MatEletric apresenta o conteúdo de forma contextualizada e gradativa, desde conteúdos considerados básicos até conceitos introdutórios de circuitos elétricos em CA, por meio de um sistema de navegação simples e intuitivo, permitindo que a atenção do acadêmico esteja centrada em estabelecer relação entre os conhecimentos prévios com as das tarefas de aprendizagem, sendo assim adequado para ser utilizado nas aulas de Engenharia.

Na seção dos pressupostos teóricos, há um mapa conceitual que explica a relação da organização didática do MatEletric com os conceitos da TAS e da RP que fundamentam a presente a pesquisa (Figura 1). Nessa categoria, *Organização didática e dos conteúdos*, por meio dos relatos dos participantes, é possível identificar a maioria desses conceitos, indicando que o MatEletric é um bom material didático, na perspectiva dos participantes da pesquisa. Isso pode ser verificado por depoimentos: “o MatEletric apresenta uma opção interessante para estudantes e professores que precisam de educação a distância” (AS15F41); “[...] o MatEletric poderia ser utilizado nas aulas, na verdade, hoje em dia, como que o cara vive nessa era digital” (AE03F21); e “aí acho que não mudaria tanto nas aulas presenciais, como tendo aulas à distância, porque, no caso, ele [MatEletric], foi isso [antecipar o conteúdo da aula] que ajudou muito” (AE10F30).

O acadêmico está inserido num contexto social em que os recursos tecnológicos são utilizados com diferentes objetivos – educacional, de lazer, de comunicação, profissional, entre outros –, não sendo possível dissociá-los da sua formação profissional e acadêmica. Essa perspectiva está presente desde o início da década de 2000, quando Prensky (2001, p. 1) já destacava que “os alunos de hoje – do maternal à faculdade – representam as primeiras gerações que cresceram com esta nova tecnologia. [...] Os jogos de computadores, *e-mail*, a internet, os telefones celulares e as mensagens instantâneas são partes integrais de suas vidas”.

A experiência do pesquisador como docente de Educação Básica indica que os estudantes, na sua maioria, utilizam recursos tecnológicos para o lazer, para jogos virtuais e redes sociais, ou para a comunicação. Apesar de os estudantes estarem inseridos nesse contexto tecnológico, eles apresentam dificuldades em utilizar alguns recursos requisitados na maioria das profissões, como usar o *e-mail* para enviar trabalhos, a *web* como ferramenta de busca de informações ou de conteúdos e *softwares* para redigir textos, elaborar planilhas ou

fazer apresentações. Complementando essa perspectiva, a BNCC (BRASIL, 2018, p. 9) estabelece que uma competência<sup>64</sup> que o estudante deve ter é

Compreender, utilizar e criar tecnologias digitais de informação e comunicação de forma crítica, significativa, reflexiva e ética nas diversas práticas sociais (incluindo as escolares) para se comunicar, acessar e disseminar informações, produzir conhecimentos, resolver problemas e exercer protagonismo e autoria na vida pessoal e coletiva.

As instituições de ensino, intermediadas pelos professores, deveriam promover estratégias didáticas para desenvolver essa competência nos estudantes. Entretanto, o que se tem observado é a dificuldade em incorporar as TD como recurso didático no ensino presencial, mesmo reconhecendo seu potencial para qualificar os processos de ensino e de aprendizagem (KENSKI, 2006; MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013). Em meio à pandemia causada pelo Coronavírus, as instituições de ensino tiveram de adotar as TD do dia para a noite, incorporando-as nas suas salas de aulas, implementando um ensino remoto ou virtual aos estudantes.

Em meio à pandemia, professores e estudantes foram obrigados a “[...] migrarem para a realidade *online*, transferindo e transpondo metodologias e práticas pedagógicas típicas dos territórios físicos de aprendizagem, naquilo que tem sido apelidado de ensino remoto de emergência” (MOREIRA; SCHLEMMER, 2020, p. 7). Reforçando essa ideia, Moran (2020b, p. 1) cita que “fomos empurrados abruptamente para o digital e percebemos que podemos replicar a maior parte das atividades da nossa vida em diferentes plataformas e aplicativos”.

Em meio à pandemia, as TD foram incorporadas aos sistemas de ensino, devido ao seu potencial para “[...] aumentar as interações, colaborações e cooperações entre as pessoas, mesmo que estejam geográfica e temporalmente afastadas” (TAJRA, 2012, p. 180). Desse modo, a maioria dos estudantes, de diferentes níveis de escolaridade, teve acesso a uma parte do conteúdo curricular, condição relevante, mas não determinante, por si só, da aprendizagem.

Moreira e Schlimmer (2020) e Moran (2020b) indicam que as TD estão sendo utilizadas para expor o conteúdo didático, não aproveitando as suas qualidades e potencialidades, tais como: “[...] estimular a curiosidade, a imaginação, a comunicação, a construção de diferentes caminhos para a resolução de problemas e o desenvolvimento das capacidades: cognitiva, afetiva, moral e social” (ZORZAN, 2007, p. 88). As TD por si só não qualificam os processos de ensino e de aprendizagem. Cabe ao professor utilizá-las para

---

<sup>64</sup> “Na BNCC, **competência** é definida como a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho” (BRASIL, 2018, p. 8).

atingir esse objetivo, e não simplesmente migrar um ensino presencial, por vezes meramente expositivo, para o virtual (KENSKI, 2006; TAJRA, 2012; MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013).

Moran (2020a, p. 2) destaca que “[...] professores que privilegiam a transmissão de conteúdo, tornam o processo cansativo, insuportável e pouco produtivo para todos”. Nessa perspectiva, considerando a TAS, as TD tendem a promover uma aprendizagem considerada mais mecânica do que significativa, pois essa estratégia permite que estudante ouça o professor, memorize o conteúdo e replique numa avaliação. A concepção do MatElettric contrapõe essa perspectiva, pois busca interagir com o acadêmico, propiciando um material didático para um ensino contextualizado e com potencial para promover aprendizagem significativa de circuitos elétricos em CA.

Segundo o professor participante da pesquisa, o MatElettric permite que seja “[...] realizada um proposta pelo professor da Engenharia como parte inicial do conteúdo, propondo uma atividade como a sala de aula invertida” (PQ01F28). A fala revela sua preocupação em utilizar uma TD com objetivos didáticos definidos, os quais são evidentes para o professor e, possivelmente, para os acadêmicos. Para o professor, o MatElettric proporciona a introdução do conteúdo de circuitos elétricos em CA para os acadêmicos de Engenharia, ampliando assim o tempo da sala de aula, que pode ser destinado para aprofundar conceitos mais específicos e difíceis que envolvem o conteúdo.

Complementando essa contextualização, Moran (2020b, p. 2) destaca que a sala de aula invertida possibilita que o acadêmico estude “[...] em tempos diferentes, depois realiza[r] desafios individuais e em grupo de aplicação mais imediata, utilizando diversas plataformas digitais, com momentos *offline* combinados com outros *online* para apresentação, discussão *online* e formas mais imediatas de avaliação”. A sala de aula invertida e o MatElettric têm o objetivo de **otimizar o tempo da sala de aula** e promover o **envolvimento dos acadêmicos** com a sua aprendizagem.

A otimização do tempo é um dos benefícios de se utilizar as TD no processo de ensino, ampliando o tempo e as opções de ambientes para aprender. Desse modo, não se restringe o ensino à sala de aula, mas, na ideia da sala de aula invertida, pode-se promover, com apoio das TD, uma introdução com a proposição de conceitos básicos a serem compreendidos para, posteriormente, serem discutidos e aprofundados na aula (WILEY, 2000; SÁ FILHO; MACHADO, 2003; KENSKI, 2006; HIGUCHI *et al.*, 2010; PEÑA, 2010; MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013; CANTO FILHO; LIMA, 2014).

O professor, ao propor o MatELetric associado à sala de aula invertida, oferece um material didático para auxiliá-lo a resolver o contexto problemático apresentado na introdução, em que os acadêmicos apresentam lacunas de aprendizagem do conteúdo de números complexos. Em pesquisas exploratórias com acadêmicos e professores de Engenharia, constatou-se a possibilidade da utilização de um recurso digital para suprir lacunas de aprendizagem sobre números complexos (MORALES; PUHL; LIMA, 2013; PUHL; LIMA, 2014a, 2014b; PUHL; MÜLLER; LIMA, 2019b, 2020c). Essa perspectiva é compartilhada pelo professor participante da pesquisa, que relata: “como professor da Engenharia Elétrica, tenho realizado algumas propostas de interação dos estudantes com outras plataformas” (PQ01F31).

A fala do professor indica a busca por recursos digitais que auxiliem no ensino de conteúdos, mas principalmente que propiciem a compreensão de conceitos básicos para as disciplinas de Engenharia. Esse reconhecimento, o professor atribui ao MatELetric, visto que pretende utilizá-lo no próximo semestre, por meio da sala de aula invertida. Esse é um indicativo de que o MatELetric auxilia qualificando os processos de ensino e de aprendizagem, otimizando o tempo em sala de aula e oportunizando um ensino diferenciado do conteúdo de circuitos elétricos em CA.

Considerando esse contexto, os participantes da pesquisa, os acadêmicos e o professor, reconhecem que o MatELetric otimiza o tempo da aula, ou fora da aula, seja para promover aprendizagem em sala de aula ou auxiliando o acadêmico como recurso para estudar tais conteúdos: “muitas vezes buscamos vídeos dos conteúdos e acabamos perdendo um bom tempo à procura de um conteúdo bom e explicativo” (AQ06F09); “a página com todo o seu conteúdo facilita a aprendizagem em um tempo menor sem sombra de dúvidas” (AQ09F64); “para que o professor possa ganhar tempo com alguns tópicos que estão desaprendidos pelos alunos” (AS08F29); e “desse modo o professor teria mais tempo de interagir na resolução das atividades em sala de aula” (PQ01F29).

A otimização do tempo da sala de aula é requisitada também pelos acadêmicos, pois querem destinar seu tempo para estudar o conteúdo da disciplina, e não conceitos e operações considerados de Matemática Básica, apesar de serem fundamentais para compreender os conteúdos de Engenharia. Em um mundo tecnológico, da Sociedade da Informação ou da Sociedade em Rede (BEHAR, 2009), faz-se necessário aproveitar os recursos digitais para dinamizar os processos de ensino e promover o fácil acesso à informação e ao conhecimento, por meio da *web* (MORETTO, 2007).

Reforçando essa ideia, Moran (2002, p. 20) cita que “[...] quanto mais mergulhamos na sociedade da informação, mais rápidas são as demandas por respostas instantâneas. As pessoas, principalmente as crianças e os jovens, não apreciam a demora, querem resultados imediatos.”. O tempo para os acadêmicos também é precioso, em virtude da quantidade de disciplinas cursadas, da necessidade de momentos de lazer e da dificuldade em conciliar o estudo com o trabalho, conforme consta no seguinte relato: “Eu gostaria de ter feito com mais [tempo], mas infelizmente tenho outras disciplinas, e a gente está sempre correndo e não tem tempo para estudar direito” (AE10F09).

O perfil de acadêmico da IES em que foi aplicado o MatEletric consiste, em sua maioria, de trabalhadores, no período do dia, que buscam a formação acadêmica, no período da noite. Esse perfil de acadêmico, geralmente, tem um tempo limitado para dedicar-se aos estudos extraclasse, que também competem com momentos de lazer e de descanso. Apesar da falta de tempo, os acadêmicos consideram que o MatEletric cumpriu seu objetivo didático, de otimizar o tempo da aula, introduzir e auxiliar no estudo de circuitos elétricos em CA: “o *site* auxilia na iniciação de um assunto que posteriormente será trabalhado em aula” (AS18F28); “como uma forma da gente antecipadamente ver o conteúdo” (AE10F29); “o *site* do MatEletric é uma ferramenta excelente para complementar o material didático de cada professor” (AS13F35); e “ótima ferramenta para introdução do assunto” (AQ13F34).

Os relatos dos acadêmicos são coerentes com o método da sala de aula invertida proposto pelo professor, no qual o MatEletric pode ser utilizado para introduzir o conteúdo de circuitos elétricos em CA de modo virtual, aproveitando o tempo da sala de aula para tirar dúvidas e aprofundar os conteúdos estudados. Essa perspectiva está em consonância com as ideias de Kenski (2006), sendo necessário alternar momentos de interatividade<sup>65</sup> com o OAM com outros de interação<sup>66</sup> em sala de aula, viabilizando que discutam “[...] em equipe os resultados de suas interações com o ambiente tecnológico e com outros momentos em que refletem ou se concentram em atividades isoladas, sem os recursos tecnológicos” (KENSKI, 2006, p. 50).

O MatEletric permite que o professor o utilize nesse contexto, complementando as suas estratégias didáticas, sendo indicado pelos participantes da pesquisa, principalmente, pela sua organização didática, conforme consta nos seguintes relatos: “a organização do conteúdo

---

<sup>65</sup> A interatividade consiste em uma relação do usuário com a tecnologia, uma relação tecnossocial, por meio do compartilhamento de informações e conteúdo pelas interfaces gráficas (BELLONI, 1999; TORREZANN; BEHAR, 2009).

<sup>66</sup> A interação consiste em uma relação entre dois ou mais indivíduos que ocorre por meio da comunicação (BELLONI, 1999; TORREZANN; BEHAR, 2009).

do MatELetric ajudou bastante na análise de circuitos elétricos em corrente alternada” (AQ09F07); “a ordem em que o conteúdo é apresentado ajudou muito [na análise de circuitos elétricos]” (AQ18F01); e “acho que é o sistema mesmo que foi proposto ali, a ordem dos itens ficou legal assim, para chegar no final e atingir o objetivo de analisar circuitos elétricos” (AE10F37).

A organização do conteúdo citada pelos acadêmicos refere-se à didática do MatELetric e, conseqüentemente, nos pressupostos teóricos utilizados. Os conteúdos apresentados no MatELetric estão organizados em três fases: 1) introdução de conceitos de circuitos elétricos em CA; 2) questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos; e 3) problemas para analisar circuitos elétricos em CA.

Essas fases estão em consonância com a compreensão de Almeida (2016, p. 84) sobre o processo de ensino que deveria ser contemplado pelos professores de Engenharia:

[...] é necessário incorporar teorias associadas à educação; apresentar contextos significativos aos alunos; usar, sobremaneira, as ferramentas computacionais para construir o conhecimento matemático e, por fim, acolher os alunos, tratando de oportunizar ambientes em que eles possam preencher as lacunas conceituais advindas de uma formação educacional básica deficiente.

As fases são sequenciais e gradativas, mas o MatELetric disponibiliza todos os recursos de forma independente, assim o acadêmico pode acessá-los do modo que achar conveniente. A possibilidade de reutilizar os recursos de forma independente é uma característica dos OAM (WILEY, 2000; CARNEIRO; SILVEIRA, 2014; AGUIAR; FLÔRES, 2014), denominada de modularidade (TAROUCO, 2004) ou granularidade (BETTIO; MARTINS, 2002). Essa característica refere-se à organização do OAM em módulos independentes e não sequenciais, facilitando o acesso aos conteúdos, podendo ser utilizado em conjunto com outros recursos e em diferentes contextos (BETTIO; MARTINS, 2002; TAROUCO, 2004).

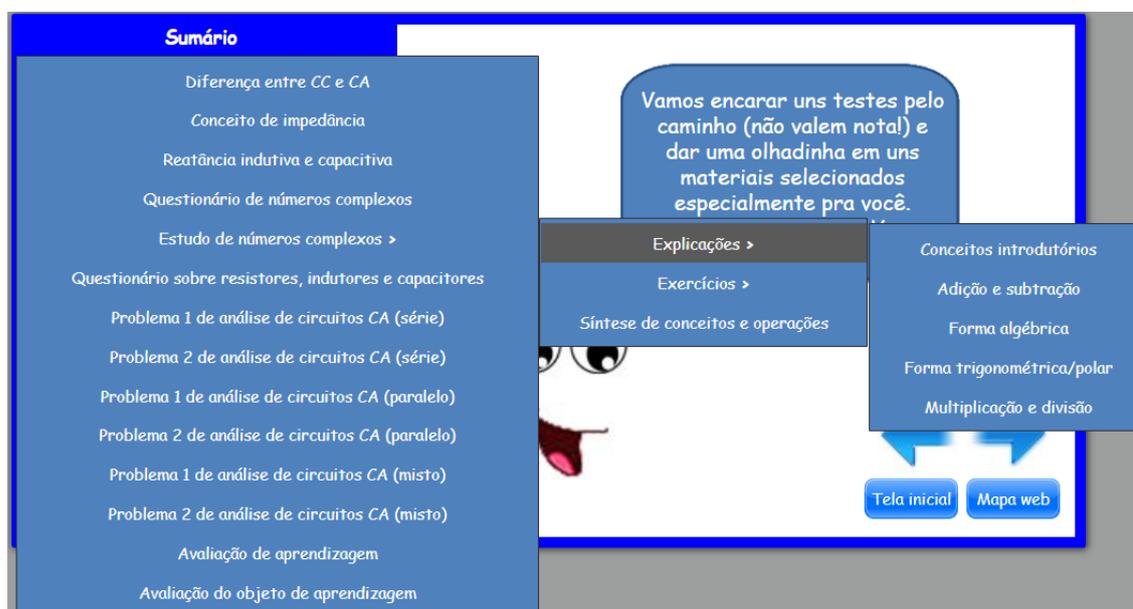
O MatELetric dividido em fases já consiste em um exemplo de granularidade ou modularidade. Entretanto, o MatELetric não se limita a somente três unidades, pois assim seria um OAM de baixa granularidade, sendo que isso “[...] deve ser evitado, pois torna mais difícil a reutilização – o que vai contra a proposta básica dos OA” (MUNHOZ, 2012, p. 102).

Em cada fase do MatELetric, é estudado mais de um conceito ou disponibilizada mais de uma atividade, sendo necessário criar outras ferramentas para aumentar a granularidade. Desse modo, contempla-se uma característica de um material educacional digital, ao oportunizar ao acadêmico acessar os conteúdos de “[...] maneira não linear, ou seja, conforme a lógica que estiver construindo em cada momento” (TORREZANN; BEHAR, 2009, p. 35).

A seguir, apresentam-se relatos que exemplificam a possibilidade de o acadêmico perpassar por diferentes ambientes de forma disjuntiva: “Os botões permitem retroceder nas unidades de forma simples e à vontade” (AS15F07); “depois tu cria uma espécie de um mapa conceitual [Mapa *Web*] numa das abas dele que fica mais tranquilo também de tu achar as coisas, isso também foi importante” (AE03F13); “o botão ‘sumário’ permite avançar para a resolução de circuitos caso já conheça números complexos” (PQ01F14); e “a página com o seu modo de navegação facilita a aprendizagem em um tempo menor, sem sombra de dúvidas” (AQ09F65).

Os botões para avançar e retroceder, mas principalmente o sumário e o Mapa *Web* são exemplos que promovem a alta granularidade do MatEletric. O sumário (Figura 22) disponibiliza o acesso aos conteúdos estruturantes que compõem cada fase do MatEletric. O desmembramento das fases aumentam as unidades para estudar os conteúdos, facilitando a navegação pelo recurso digital. Desse modo, o aumento da granularidade do OAM proporciona “[...] maior velocidade de desenvolvimento e maiores possibilidades de reutilização, reduzindo os riscos de sobrecarga cognitiva” (CANTO FILHO; LIMA, 2014, p. 48).

**Figura 22** – Sumário do MatEletric para agilizar o acesso aos conteúdos

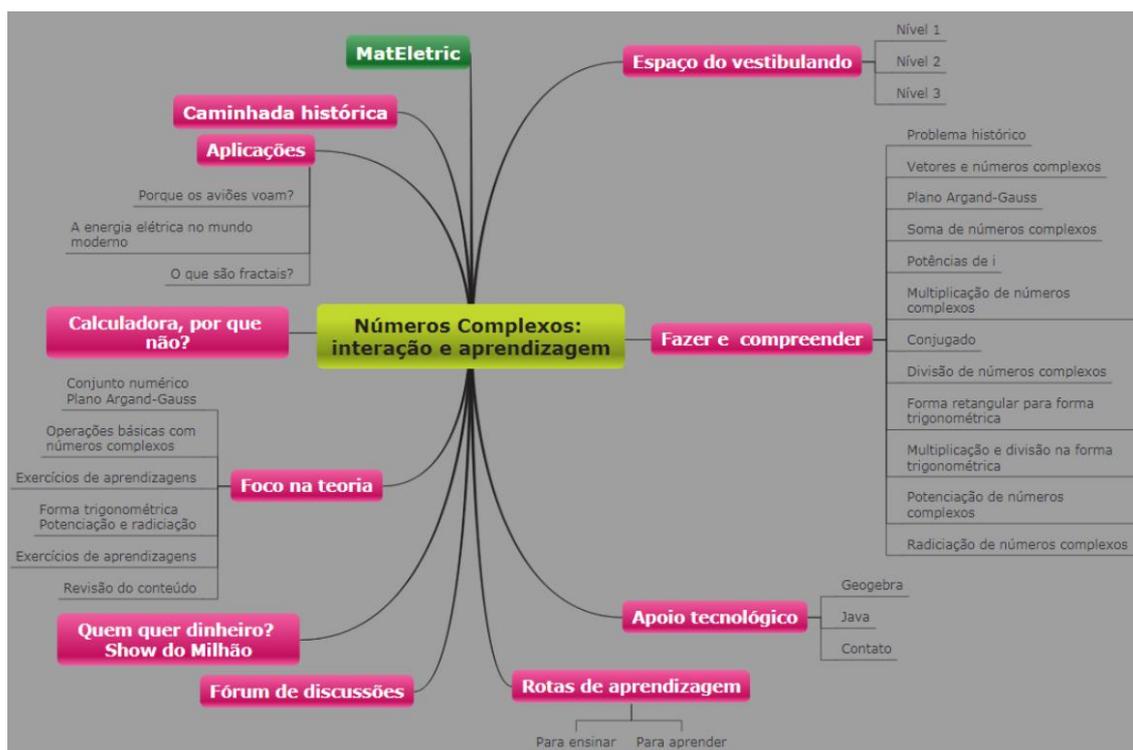


Fonte: Imagem retirada de AS15. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/mateletric.html>.

Além do sumário, o Mapa *Web* (Figura 23) promove o acesso aos espaços de aprendizagem que estão agregados ao MatEletric, que auxiliam nos processos de ensino e de

aprendizagem de números complexos. O Mapa Web assemelha-se a um mapa conceitual, sendo esse um recurso interessante para aumentar granularidade do OAM. Segundo Munhoz (2012, p. 45): “os mapas conceituais permitem dividir uma ideia complexa (curso, disciplina, eixo temático etc.) em simplificações que fracionam os conceitos, atingem alta granularidade e independência do contexto e identificam um OA”.

**Figura 23** – Mapa Web do MatEletric



Fonte: Imagem retirada de AS01, AS03, AS05, AS12, AS15 e AS16. Disponível em:

<https://numeroscomplexos.online/0.html>.

A alta granularidade ocasiona o aumento da utilização e reutilização dos recursos do MatEletric, contemplando outra característica do OAM: a reusabilidade ou a flexibilidade, pois se viabiliza a reutilização dos recursos do MatEletric, no qual os acadêmicos podem avançar e retornar da forma que considerarem conveniente, adaptando-o a múltiplos contextos e ambientes de aprendizagem (TAROUCO, 2004; BEHAR, 2009; SANTAROSA, 2010; CANTO FILHO; LIMA, 2014).

A reutilização do OAM também está associada ao acesso aos conteúdos de forma rápida e objetiva, otimizando o tempo de busca e de interatividade com o MatEletric. Essa característica possibilita que o acadêmico tenha a preocupação em prestar atenção e compreender o conteúdo, ou seja, **em relacionar seus conhecimentos com o conteúdo**

**estudado, estabelecendo relações não arbitrárias e não literais.** A reutilização, por meio de um sistema de navegação rápido e objetivo, motiva a interatividade do acadêmico com o MatELetric, impactando positivamente na **predisposição em aprender.**

Além disso, Torrezann e Behar (2009, p. 45) consideram que “a contemplação de uma linguagem acessível irá possibilitar a interatividade entre o usuário e o MED<sup>67</sup>, de modo a incentivar a ação pelo exercício do raciocínio e da expressão pela linguagem”. A interatividade do acadêmico com o MatELetric impacta ao disponibilizar um recurso com uma linguagem acessível ao perfil de estudante e de fácil compreensão. Essa característica é reconhecida pelos acadêmicos: “os conteúdos são apresentados em uma linguagem fácil de entender” (AS04F35); “a linguagem usada foi de fácil entendimento” (AS09F13); “conteúdo foi apresentado com uma linguagem simples de entender” (AS13F09); e “pois ele [MatELetric] é com uma linguagem informal” (AS14F31).

Entre esses relatos, destaca-se o fragmento AS14F31, que caracteriza a linguagem como informal. A informalidade da linguagem tem o objetivo de aproximar os acadêmicos do conteúdo, por meio de um ambiente despojado e agradável, favorecendo assim o processo de ensino. Desse modo, busca-se estabelecer uma relação afetiva com o acadêmico, motivando-o a interagir com o MatELetric, promovendo, assim, a **predisposição para aprender.**

Em relação aos aspectos didáticos, o MatELetric disponibiliza os conteúdos de modo que se estude conceitos gerais antes do específico, contemplando o princípio da **diferenciação progressiva.** Essa organização, segundo a TAS, corresponde a uma “[...] sequência natural de aquisição de consciência cognitiva e de sofisticação, quando os seres humanos estão expostos, de forma espontânea, quer a uma área de conhecimentos completamente desconhecida, quer a um ramo desconhecido de um conjunto de conhecimentos familiar” (AUSUBEL, 2003, p. 166).

Considerando esses pressupostos teóricos, indiferentemente do conhecimento do acadêmico, ao estabelecer uma **organização sequencial,** abordando os conteúdos gerais antes dos específicos, facilita-se o processo de aprendizagem. Contudo, o acadêmico também deve ser capaz de realizar a reconciliação integradora, sendo que isso é “[...] parte do processo da aprendizagem significativa, que resulta na delimitação explícita de semelhanças e diferenças entre ideias relacionadas” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 526).

---

<sup>67</sup> A sigla MED significa Materiais Educacionais Digitais, sendo definidos “[...] como todo o material didático elaborado com objetivos relacionados à aprendizagem e que incorpora recursos digitais” (TORREZANN; BEHAR, 2009, p. 33).

A **reconciliação integradora** é contemplada no MatEletric, pois o acadêmico pode avançar, voltar e interagir com os recursos de forma independente, conforme consta nos fragmentos anteriores. O sistema de navegação – por meio do Mapa Web, do sumário e dos botões de avançar e de retroceder – permite o estudo de conceitos gerais antes dos específicos, mas também é possível realizar o processo inverso, do específico para geral. Tal possibilidade favorece a compreensão de conceitos e, conseqüentemente, a interação de conhecimentos, promovendo um descer e subir na estrutura cognitiva do acadêmico (NOVAK, 1981; MOREIRA, 2008a).

A organização didática e dos conteúdos do MatEletric promove o descer e subir na estrutura cognitiva do acadêmico por meio das três fases: na primeira fase, abordam-se conceitos gerais e específicos da Elétrica, contextualizando o ensino de números complexos; posteriormente, disponibilizam-se recursos para estudar conteúdos considerados básicos da área da Elétrica e da Matemática; e, por fim, apresentam-se problemas de análise de circuitos elétricos em CA que relacionam conhecimentos das duas fases anteriores.

A primeira fase, *Introdução de conceitos de circuitos elétricos em CA*, introduz conceitos básicos de circuitos elétricos, potencializando a construção de significados pelos acadêmicos. Na introdução do conteúdo, busca-se **estabelecer relações com outros conhecimentos**, ou seja, o **conhecimento prévio** do acadêmico, como por exemplo, de componentes elétricos e seu comportamento em circuitos elétricos de Corrente Contínua (CC), conforme consta nos seguintes relatos: “são abordadas questões teóricas sobre circuitos CC e CA, impedância, reatância indutiva e capacitiva e após são oferecidos testes e exercícios para a fixação” (AS06F21); e “o OA apresenta desde a introdução em circuitos CC e CA até a resolução de circuitos mistos, [...]” (PQ01F02).

Nessa organização lógica dos conteúdos, possibilita-se que os acadêmicos **estabeleçam relações, de forma não arbitrária e não literal (substantiva)**, dos seus conhecimentos de circuitos elétricos em CC com os conceitos relacionados aos circuitos elétricos em CA. Essa abordagem contempla o conceito da não arbitrariedade da TAS, que consiste na “[...] propriedade de uma tarefa de aprendizagem (por exemplo, plausibilidade, não aleatoriedade) que a torna relacionável com a estrutura cognitiva humana no sentido abstrato do termo, em alguma base ‘sensata’” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 525).

O MatEletric utiliza conhecimentos de circuitos elétricos em CC, como a base “sensata”, para que o acadêmico construa significados, ampliando-a em termos de quantidade e qualidade. A base “sensata” vai se transformando durante a interatividade com o MatEletric,

por meio da compreensão de conceitos ou ressignificação dos conhecimentos do acadêmico. Desse modo, o MatElettric é um material didático e digital que promove a compreensão de conceitos, ao mesmo tempo que revisa e retoma conhecimentos dos acadêmicos, conforme verifica-se nos seguintes relatos: “a organização [do conteúdo] ajuda a relembrar o que já foi aprendido e introduzir os novos conceitos” (AQ18F01-02); “com o auxílio dos vídeos introduzidos nele aprender alguns conteúdos que não tinha visto” (AQ12F07); e “exemplos: vídeo explicando a diferença de corrente contínua e corrente alternada. E também, o outro vídeo explicando como calcular a impedância em circuitos de corrente alternada” (AS14F12).

Por meio desses relatos, compreende-se que o MatElettric disponibiliza recursos possíveis para se **estabelecer relações dos conhecimentos dos acadêmicos com o conteúdo da disciplina**. As expressões “relembrar” ou “aprender alguns conteúdos que não tinha visto” indicam que o MatElettric propicia o estudo de **conhecimentos considerados base** para os conceitos relacionados aos de circuitos elétricos em CA, buscando constantemente a construção de uma base “sensata” para o acadêmico aprender significativamente os conteúdos. Segundo a TAS, nesse processo de aprendizagem, os conceitos compreendidos são agregados ou incorporados na estrutura cognitiva, transformando-a e disponibilizando “novos” conhecimentos, em um nível mais elevado de especificidade e complexidade, para a realização de novas ancoragens (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003; MOREIRA; MASINI, 2006; MOREIRA, 1997, 2008a).

A especificação do conteúdo pode ser observada no fragmento AS14F12, no qual o acadêmico cita o exemplo do uso de dois vídeos: um explicar a diferença da CC para a CA e outro sobre o conceito e o modo de calcular a impedância. Esses vídeos possibilitam a realização dos processos de **diferenciação progressiva e reconciliação integradora**, visto que os acadêmicos podem estudar e compreender as diferenças e semelhanças entre os conteúdos, construindo e ressignificando conhecimentos.

Os acadêmicos, ao reconhecerem as características e a aplicação dessas correntes elétricas, CC e CA, apresentam indicativos da realização dos processos de **diferenciação progressiva e reconciliação integradora**, conforme pode ser observado no seguinte relato, em que o acadêmico apresenta um exemplo mostrando a diferença em circuitos elétricos em CC e CA:

[...] exemplos bem simples e de fácil entendimento, conforme abaixo:  
Corrente Alternada: utilizada para espalhar a corrente elétrica criada na usina para toda a rede, até chegar em nossas residências.  
Corrente Contínua: utilizada em circuitos fechados (pilha, chave de on/off, LED e pilha) (AS03F37)

Esse relato indica a realização dos processos de **diferenciação progressiva e reconciliação integradora**, no qual o acadêmico diferencia a aplicação dos tipos de corrente, por meio de exemplos. Sendo assim, o MatElettric possibilitou que o acadêmico **estabelecesse uma relação não literal (substantiva) com os conteúdos estudados**, ampliando a compreensão e a significação sobre circuitos elétricos. A ampliação se deve pela modificação que ocorreu na compreensão sobre circuitos elétricos, devido à incorporação de conhecimentos da CA, visto que, antes de interagir com o MatElettric, o acadêmico, possivelmente, somente tinha conhecimentos sobre CC.

Além disso, os exemplos relacionados à utilização dos vídeos (fragmento AS14F12) indicam que os conteúdos estão **organizados de forma sequencial e gradativa**, conforme as relações, as especificidades e os conhecimentos dos acadêmicos. Essa perspectiva é contemplada pela TAS, a qual considera que a sequência adequada para a “[...] aquisição de consciência cognitiva e de sofisticação, quando os seres humanos estão expostos, de forma espontânea, quer a uma área de conhecimentos completamente desconhecida, quer a um ramo desconhecido de um conjunto de conhecimentos familiar” (AUSUBEL, 2003, p. 166).

Considerando os pressupostos da TAS e os relatos dos acadêmicos, compreende-se que a base de conhecimento de circuitos elétrico em CC, da estrutura cognitiva, constrói ramificações que **estabelecem relações com os conteúdos do MatElettric**, ou seja, com os conceitos sobre CA. Essas ramificações na estrutura cognitiva são fortalecidas por meio do estudo de conteúdos mais específicos, os quais são apresentados em uma sequência lógica e hierárquica, segundo a TAS. A gradação do conteúdo permite que cada “[...] aprendizagem sirva como uma base apropriada e uma função de ancoragem para a aprendizagem e a retenção de itens subsequentes na sequência ordenada” (AUSUBEL, 2003, p. 171).

Os acadêmicos e o professor reconhecem que o MatElettric apresenta o **conteúdo de forma gradativa**: “os conteúdos estão organizados de maneira gradativa de dificuldade” (AS08F11); “os exemplos iniciam de forma simples e gradativa chegando a níveis mais complexos” (AS05F09); “nas primeiras telas do MatElettric, temos um conteúdo mais simples e que, conforme o passar do tempo, vai aumentando gradativamente a dificuldade” (AS11F15); “os conceitos facilitam o aprendizado pela forma gradativa com que são apresentados” (AQ18F03); e “porque eles [os conteúdos] seguem uma sequência gradativa” (PQ01F24).

Entre esses relatos, destaca-se o AQ18F03, pois os acadêmicos compreendem que a forma como o conteúdo foi apresentado, **sequencial e gradativa**, facilitou o processo de aprendizagem, conforme prevê a TAS. Essa facilitação da aprendizagem está associada à

organização didática do MatEletric, pois diferencia os circuitos de CC para os de CA (conceitos gerais) para, posteriormente, abordar sobre a impedância, a reatância indutiva e a reatância capacitiva (conceitos específicos), sendo que esses conceitos estão associados ao conteúdo de números complexos.

Entretanto, ressalta-se que a aprendizagem sobre circuitos elétricos em CA também está associada à disponibilidade cognitiva dos acadêmicos, em relação aos conhecimentos prévios e a predisposição para aprender. A importância dos **conhecimentos prévios** é contemplada na próxima fase do MatEletric, *Questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos*. Em compensação, a predisposição para aprender é contemplada na fase da introdução do conteúdo de CA, por meio de ensino contextualizado de números complexos, conforme consta na Figura 24.

**Figura 24** – Tela do MatEletric que contextualiza o ensino de números complexos

**MatEletric**

Este espaço tem o objetivo de propiciar um ambiente de aprendizagem para que o estudante construa significados sobre o procedimento de análise de circuitos elétricos em corrente alternada.

**Sumário**

A impedância, representada na forma polar, é composta pelo módulo que representa a impedância real (razão entre os valores de pico) e o argumento que representa a diferença de fase entre a corrente e a tensão (positivo se a tensão for adiantada com relação à corrente).

No caso de um resistor, a tensão e a corrente estão em fase, logo a impedância complexa é um número real, igual à impedância real:

$$Z_R = R \quad \text{ou} \quad Z_R = R|0^\circ$$

No caso do capacitor (reatância capacitiva), a corrente é adiantada de  $90^\circ$  em relação à tensão, logo, a impedância complexa está no eixo imaginário negativo:

$$Z_C = -jX_C = -\frac{j}{2\pi fC} \quad \text{ou} \quad Z_C = X_C|-90^\circ$$

No caso do indutor (reatância indutiva), a corrente é atrasada de  $90^\circ$  em relação à tensão, logo, a impedância complexa está no eixo imaginário positivo:

$$Z_L = jX_L = 2\pi fLj \quad \text{ou} \quad Z_L = X_L|90^\circ$$

Tela inicial    Mapa web

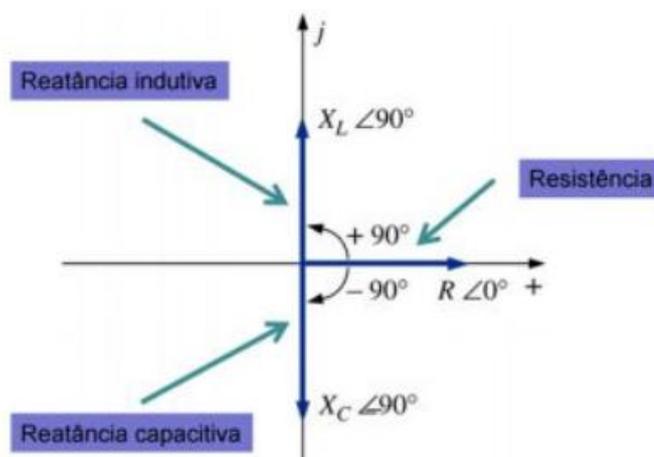
Fonte: Imagem retirada de AS05. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/232.html>.

Moysés (2000), Lück (2002), Camargo (2017) e Lara (2017) compreendem que o ensino contextualizado facilita a compreensão dos conteúdos, pois relaciona conceitos com situações reais, promovendo o envolvimento dos estudantes nos processos de ensino e de aprendizagem. Complementando essa perspectiva, Morin (2004b, p. 36) considera que “o conhecimento das informações ou dos dados isolados é insuficiente. É preciso situar as informações e os dados em seu contexto para que adquiram sentido”.

Desse modo, nesta tese, compreende-se que o ensino contextualizado potencializou o **estabelecimento de relações entre o conteúdo de números complexos e de circuitos elétricos**, contemplando assim a característica da **substantividade** da TAS. O conhecimento de números complexos pode ser incorporado na estrutura cognitiva do acadêmico, ampliando a significação que tem sobre números e circuitos elétricos. Além disso, com essa organização didática do MatElettric busca-se “[...] substituir um pensamento que isola e separa por um pensamento que distingue e une. É preciso substituir um pensamento disjuntivo e redutor por um pensamento complexo, no sentido originário do termo complexo: o que é tecido junto” (MORIN, 2004a, p. 89).

A Figura 25 exemplifica a relação do conhecimento da área da Elétrica com da Matemática. Dessa forma, o conteúdo de números complexos não fica solto na estrutura cognitiva do acadêmico, mas estabelece relação com conhecimentos do seu interesse e que fazem parte da sua formação profissional.

**Figura 25** – Exemplo que relaciona números complexos com componentes elétricos



Fonte: Imagem retirada de AS03.

De forma análoga, Moran (2002, p. 23) compreende que

aprendemos mais quando estabelecemos pontes entre a reflexão e a ação, entre a experiência e a conceituação, entre a teoria e a prática; quando ambas se alimentam mutuamente. Aprendemos mais facilmente quando percebemos o objetivo, a utilidade de algo, quando nos traz vantagens perceptíveis.

O acadêmico, ao reconhecer a utilidade, promove um sentimento da necessidade de aprender os conteúdos, tornando-os atraentes e importantes para sua formação profissional, impactando positivamente na sua **predisposição para aprender**. Complementando, Búrigo *et al.* (2012, p. 27) afirma que se procura “[...]contextualizar os conteúdos a serem ensinados, na

expectativa de torná-los atraentes, de modo que o aluno entenda o seu significado e, tendo participado da construção desse conhecimento, reconheça a sua importância”.

O ensino contextualizado foi um fator relevante para que os acadêmicos e o professor considerassem a organização didática interessante, conforme verifica-se nos seguintes relatos: “o *site* segue uma sequência lógica bem interessante” (AQ09F06); “achei interessante o modo em que os conteúdos são apresentados” (AS01F06); “a organização do aprendizado deste material é bem interessante” (AS02F08); “o resto, a maneira como começou e tudo, colocando a análise de circuito e depois a parte matemática foi show de bola, foi bem legal” (AE10F05); “além de apresentar o porquê da necessidade do uso de números complexos em análise de circuitos elétricos em CA” (PQ01F22); e “apresentando de forma clara o porquê da utilização desse recurso matemático na Engenharia” (PQ01F54).

As expressões “show de bola” e “interessante” revelam que o acadêmico mostrou-se interessado pelo conteúdo e predisposto a interagir com o MatELetric. O interesse e a predisposição para aprender estão associados ao ensino contextualizado dos números complexos, o que está em consonância com a perspectiva de Monzon (2012, p. 32). O autor considera que “[...] os principais questionamentos dos alunos perante esse ensino não recaia sobre conceitos ou operações e sim sobre a utilidade, aplicação em problemas ou contextualização do conteúdo”.

Complementando essa perspectiva, tem-se em Mello (2005), Panaoura, Elia, Gagatsis e Giatalis (2006), Nordlander e Nordlander (2012), Chaves (2014) e Oliveira (2018) que a dificuldade em compreender o conteúdo de números complexos está associada ao ensino descontextualizado e dissociado da realidade, o qual é justificado somente como um conhecimento matemático. Além disso, o ensino descontextualizado enfatiza a memorização de fórmulas matemáticas e algoritmos de resolução (SANTOS, 2004), suscitando a compreensão que esses conhecimentos se reduzem a fórmulas para serem aplicadas em determinadas situações (SOARES; SAUER, 2004; VARRIALE; TREVISAN, 2012).

Diante disso, compreende-se que o ensino contextualizado promoveu a **predisposição para aprender**, possibilitando a construção de significados sobre o conteúdo de números complexos pelos acadêmicos, ao estabelecer relações com conceitos da área da Elétrica. Os relatos do professor enfatizam a importância do ensino contextualizado para o processo de aprendizagem, sendo essa uma característica para considerar o professor competente, na compreensão de Galiazzi (2002, p. 294): “um professor é competente quando, com eficiência, ensina o conteúdo formal de sua disciplina, mas com compromisso político analisa o contexto social de seus alunos e ensina a partir desse contexto”.

Desse modo, o MatElettric, como um material didático para complementar a aula do professor, potencializa e qualifica os processos de ensino e de aprendizagem, por meio de uma abordagem destinada para um público específico, acadêmicos de Engenharia. Apesar dos inúmeros recursos disponíveis na *web*, o MatElettric torna-se uma alternativa interessante para esse público-alvo, considerando a dificuldade que o professor tem de encontrar recursos digitais que promovam o ensino de números complexos para acadêmicos de Engenharia, conforme foi abordado no início do metatexto e constatado nos mapeamentos teóricos (PUHL; MÜLLER, 2017; PUHL; MÜLLER; LARA, 2020). A partir dessa perspectiva, compreende-se que a organização didática promove a predisposição do acadêmico para interagir com o MatElettric, ou seja, para aprender os conteúdos.

Outro indício de que a predisposição para interagir com o MatElettric é ocasionada pela organização didática e pelo conteúdo apresentado, consiste na compreensão de que a parte gráfica do MatElettric é simples, com a utilização de cores de forma padronizada, conforme consta nos seguintes relatos: “um dos pontos positivos referentes à parte gráfica a qual eu resalto é a paleta de cores e a padronização visual do *site*” (AS09F06); “o recurso [MatElettric] possui um *layout* e gráficos básicos” (AS15F05); e “o *site* [MatElettric] apresenta um *design* e uma parte gráfica relativamente simples” (AS03F05).

Corroborando os relatos dos acadêmicos, Torrezann e Behar (2009, p. 45) referem que a parte gráfica de recursos digitais deve possibilitar: “[...] reconhecimento, clareza, construção simbólica e compatibilidade com o sistema, para então propiciar ao usuário a construção de uma comunicação e de conceitos por meio dessa interatividade”. A simplicidade da parte gráfica, apontada pelos acadêmicos, junto com a qualidade do conteúdo, compõe outro indicativo para considerar o MatElettric um material potencialmente significativo, pois proporciona um ambiente propício para a construção de significados.

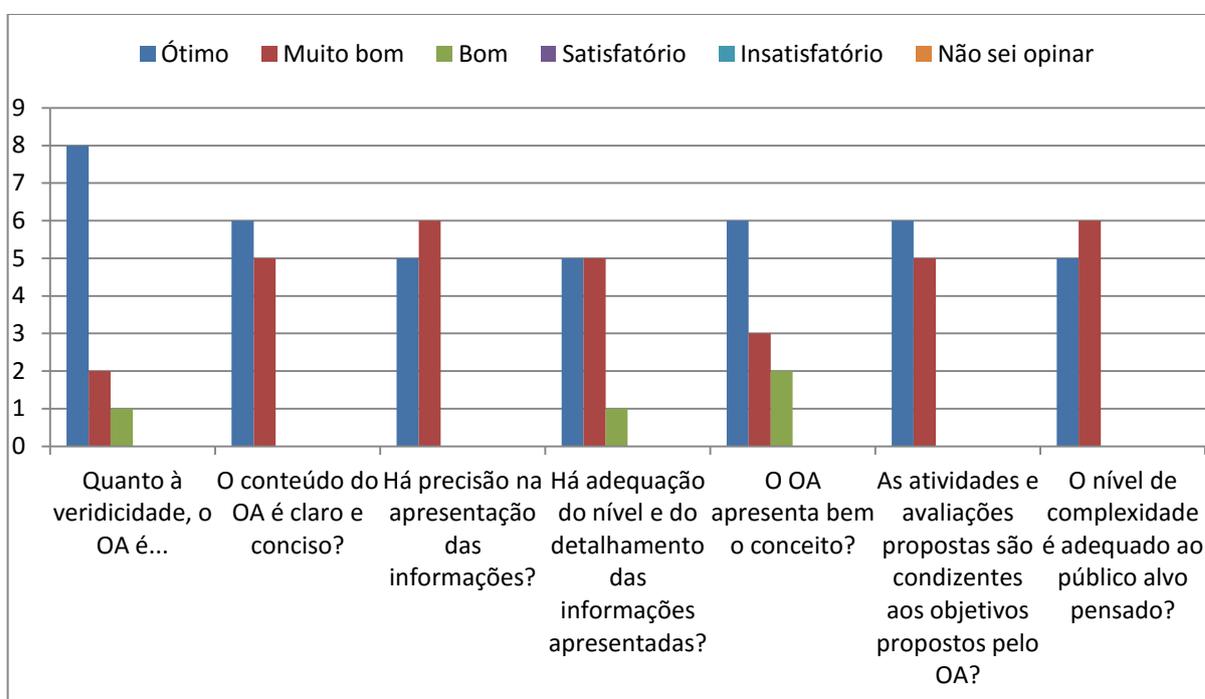
Entretanto, um acadêmico indica que a parte gráfica do MatElettric precisa de aperfeiçoamentos, mas considera adequada por ser um material didático disponível virtualmente de forma gratuita: “porém se trata de um aplicativo gratuito de ensino, sendo assim está dentro do esperado” (AS05F05). A parte gráfica é um componente que precisa ser aperfeiçoado, na perspectiva dos participantes da pesquisa, além de outras sugestões que são apresentadas e discutidas no metatexto da categoria *Sugestões de aperfeiçoamentos*.

A compreensão de que o MatElettric não apresenta uma parte gráfica atraente, reforça a ideia de que esse é um material didático com o foco no ensino dos conteúdos, conforme se observa no seguinte relato: “mas com o passar do tempo, tu vai andando nele e tu percebe o quão interessante que ele” (AE03F33); e “além disso, é um *site* muito objetivo, que auxilia

como se tivesse um professor ao seu lado” (AS13F40). Nesses relatos, observa-se que os acadêmicos não se preocupam com a parte gráfica, mas destacam a qualidade do conteúdo e a organização didática do MatEletric, sendo um indicativo de que sua preocupação está na compreensão de conceitos.

Em relação à qualidade do conteúdo do MatEletric, esse foi o critério com melhor avaliação pelos participantes da pesquisa, os acadêmicos e o professor, conforme consta na Figura 26. Esses dados servem para ressaltar a essência dessa categoria, destacando que o potencial do MatEletric está associado à qualidade do conteúdo e a sua organização didática.

**Figura 26** – Gráfico que sintetiza a avaliação da qualidade de conteúdo do MatEletric



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir dos dados construídos no instrumento de avaliação de OA.

Desse modo, na perspectiva dos participantes, o MatEletric apresenta um conteúdo de qualidade, tendo assim potencial para promover aprendizagens aos acadêmicos de Engenharia. O professor, ao utilizar o MatEletric nas suas aulas, pode exercer a função de orientador e de mediador nos processos de ensino e de aprendizagem, promovendo a autonomia dos acadêmicos para aprenderem os conteúdos conforme seus conhecimentos e seu ritmo de aprendizagem. No MatEletric, para auxiliar os acadêmicos, como comentado anteriormente, há um personagem que exerce a função de professor, denominado Radice.

O Radice é um personagem criado que tem o objetivo de tornar o ambiente mais agradável, além de guiar e promover a interação com os acadêmicos (Figura 27). Essas

características do Radice são reconhecidas pelos acadêmicos: “logo ao entrar no *site*, é apresentado o personagem Radice, que tem como função guiar o estudante e proporcionar uma melhor experiência e interação com o *site*” (AS17F02-04); “logo ao acessarmos o conteúdo, somos bem recebidos pelo simpático Radice, e a boa notícia é que ele nos acompanha por toda essa experiência” (AS16F03-04); e “toda a interação [Textos/Falas] do Radice são interessantes durante todo o espaço do *site*” (AS09F02).

**Figura 27** – Exemplo de interação promovida pelo Radice



Fonte: Imagem retirada de AS03, AS05, AS12, AS15 e AS16. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online>.

O Radice, ao guiar os acadêmicos, busca promover uma navegação mais intuitiva, permitindo que a atenção e a preocupação dos acadêmicos sejam de compreender o conteúdo. Apesar da parte gráfica do Radice ser considerada simples, os acadêmicos reconhecem as potencialidades desse recurso, ao exercer o papel de professor, auxiliando, envolvendo e acompanhando-os na interação no MatEletric: “Radice entrega curtas e claras indicações da unidade onde o usuário se encontra no momento” (AS15F09); “o personagem Radice é um elemento que contribui para reter a atenção do aluno” (AS13F02); e “o Radice é uma forma e interação objetiva simples e de fácil compreensão que nos auxilia a desenvolver os estudos” (AS05F01-02).

Conforme constam nos relatos, as explicações do Radice promoveram um ambiente agradável para aprendizagem, além de propiciar uma navegação intuitiva no MatEletric. A navegação intuitiva é uma característica que se busca num OAM, denominada de

acessibilidade<sup>68</sup>, pois “quanto mais facilmente o usuário descobrir a lógica aplicada à navegação do material, o seu funcionamento (o que ela oferece e de que forma) e a relação entre os seus *links* e hipertextos, maior liberdade e confiança ele terá nas suas ações” (TORREZANN; BEHAR, 2009, p. 46).

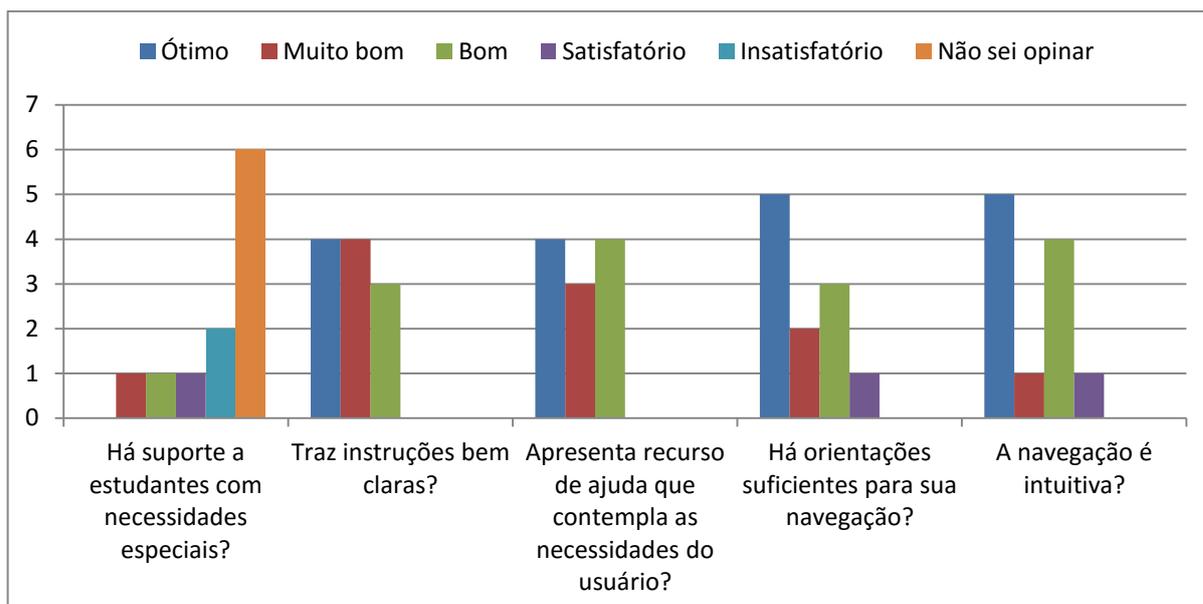
Os acadêmicos sentem-se livres e confiantes na interatividade com MatElettric promovendo um ambiente propício e agradável para o estudo de conteúdos. O Radice auxilia nesse processo e, possivelmente, atinge esse objetivo, pois os acadêmicos expressaram um sentimento de felicidade – nos fragmentos AS17F02-04, AS16F03-04, AS09F02 – ao reconhecerem que o personagem os acompanha e guia durante a interatividade com o MatElettric. Nesses relatos, observa-se que o Radice conseguiu estabelecer uma relação afetiva com os acadêmicos, contemplando o princípio da dimensão afetiva de Canto Filho e Lima (2014), promovendo, também uma navegação fácil, intuitiva e agradável, sendo esses critérios de acessibilidade dos OAM (BEHAR; MACEDO; SOUZA; BERNARDI, 2009).

Em relação à acessibilidade, os participantes, os acadêmicos e o professor, compreendem que o MatElettric atende satisfatoriamente a maioria das propriedades desse critério, conforme consta na Figura 28. Algumas propriedades já foram apresentadas e discutidas nesse metatexto, como, por exemplo, a promoção de uma navegação intuitiva. Entretanto, uma propriedade com potencial para ser melhorada, consiste em dar suporte para estudantes com necessidades especiais, sendo que a possibilidade da integração de recursos para esse fim será debatida na categoria *Sugestões de aperfeiçoamentos*.

**Figura 28** – Gráfico que sintetiza a avaliação da acessibilidade do MatElettric

---

<sup>68</sup> A acessibilidade é compreendida como o acesso do usuário “[...] independentemente de suas capacidades físico-motoras e perceptivas, culturais e sociais, usufruir os benefícios de uma vida em sociedade, ou seja, é a possibilidade de participar de todas as atividades, [...] com o mínimo de restrições possível” (OLIVEIRA JÚNIOR; FERREIRA, 2010).



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir dos dados construídos no instrumento de avaliação de OA.

O Radice é mais um recurso que faz parte da organização didática do MatElettric, sendo também destacado pelos acadêmicos para recomendar seu uso nas aulas de circuitos elétricos em CA, motivando-os a estudar esse conteúdo. Essa motivação e o interesse são um indicativo da predisposição do acadêmico para compreender os conteúdos estudados, sendo causada principalmente pela contextualização do ensino e pelas explicações introdutórias realizadas sobre circuitos elétricos em CA que tiveram o acompanhando do Radice.

Diante disso, compreende-se que as explicações introdutórias motivam a interatividade do acadêmico com o MatElettric, conforme consta neste relato “algumas curiosidades como a explicação de por que se utiliza a corrente alternada para longas distâncias e as demonstrações com pequenos circuitos ajudaram a aumentar o interesse no vídeo” (AS07F10). A contextualização e a introdução do conteúdo, por meio de vídeos ou textos (Figura 29), impactaram positivamente na **predisposição para aprender** do acadêmico, possibilitando a mobilização de conhecimentos para compreender o conteúdo.

**Figura 29** – Tela do MatElettric em que estão texto e vídeo explicando o conteúdo

**Porque a corrente alternada é importante?**

A energia produzida em uma usina de energia elétrica deve chegar até a casa do leitor para poder alimentar um computador. O valor total dessa física aplicada é, hoje em dia, tão elevado que é quase impossível estimá-lo. Na verdade, a civilização moderna seria impossível sem essa física aplicada.



Em quase todo o mundo, a energia elétrica é transferida, não como uma corrente constante (corrente contínua), mas como uma corrente que varia senoidalmente com o tempo (corrente alternada). O desafio para os cientistas e engenheiros é projetar sistemas de corrente alternada que transfiram energia de forma eficiente e aparelhos capazes de utilizar essa energia.

Texto retirado de  
HALLIDAY, David; RESNICK, Robert;  
WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 9.ed.  
Rio de Janeiro: LTC, 2012-. p. 286.



Fonte: Imagem retirada de AS03. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/116.html>.

De forma similar, Torrezann e Behar (2009) consideram que os recursos digitais potencializam os processos de ensino e de aprendizagem quando propõem um estudo contextualizado, de acordo com o perfil de estudante, e que promove a ação cognitiva, não sendo um mero recurso informativo. Em relação aos recursos visuais, ressaltam-se as suas potencialidades “[...] junto à contextualização do conteúdo na sociedade em vigor, com o objetivo de unir a teoria à prática e à realidade, porém de modo a instigar o aluno a construir essa relação e não ‘fornecendo-a’ gratuitamente” (TORREZANN; BEHAR, 2009, p. 39).

A ação de instigar está relacionada ao interesse pelo conteúdo e a intenção de aprender, fazendo com que o acadêmico mobilize-se mentalmente e aumente seu nível de atenção, pois “[...] é necessário um determinado grau mínimo de atenção para que ocorra a aprendizagem significativa, seguida de intenção explícita de aprendizagem e de recordação significativas” (AUSUBEL, 2003, p. 196). Conforme é observado nos relatos anteriores, a parte gráfica do MatEletric é simples e apresenta um sistema de navegação intuitivo, possibilitando que a atenção do acadêmico seja somente em compreender os conteúdos estudados, conforme constata-se nos seguintes relatos: “visto que eu logo percebi que o *site* prioriza o aprendizado do aluno através das suas explicações de fácil entendimento” (AS13F07); “o MatEletric não apresenta distrações” (AQ06F44); “[o vídeo é] ideal para não deixar o programa entediante” (AS01F12); e “o MatEletric tem objetivos didáticos” (AQ03F22).

Os relatos dos acadêmicos que consideram que o MatEletric não apresenta distrações e que tem objetivos didáticos estão em consonância com as ideias de Valente (1999), ao considerar que, no planejamento de recursos digitais, deve-se evitar o acesso ou a

interatividade com informações ou recursos inúteis, ou seja, que não promovem a compreensão do conteúdo. Desse modo, compreende-se que os acadêmicos tiveram acesso a um ambiente didático, sem distrações, que os envolveu nos processos de estudo dos conteúdos e de interatividade com o MatEletric.

Outro fator que impacta na motivação do acadêmico em aprender consiste na utilização de diferentes recursos para estudar um conteúdo, conforme consta no seguinte relato: “os recursos didáticos fornecidos nos conhecimentos-base foram fundamentais para reter a atenção do aluno ao longo de todo o programa” (AS13F21) e “os recursos disponibilizados reforçaram alguns pontos que ainda estavam com uma lacuna sobre circuitos elétricos” (AQ06F16). Entre os recursos utilizados no MatEletric para explicar conceitos-base e novos conceitos, há animações, vídeos, imagens e textos.

A utilização desses recursos possibilita que o acadêmico use, ao menos, dois sentidos – verbal e não verbal – para estudar um mesmo conteúdo. Desse modo, o MatEletric caracteriza-se como um OAM, visto que “um objeto é multimodal se permitir que o usuário explore dois ou mais sentidos para captar, através de informações complementares verbais e não verbais, o mesmo conteúdo do conhecimento (conceito)” (SINGO, 2014, p. 24). Apesar dos diferentes recursos, Boucinha, Grasel e Tarouco (2014, p. 171) compreendem que a versatilidade do OAM causa entusiasmo e fascínio nos estudantes, por proporcionar “[...] experiências tecnologicamente inovadoras, mas na grande maioria das vezes pedagogicamente insuficientes”.

Entretanto, conforme já relatado, os acadêmicos reconhecem que as potencialidades do MatEletric estão associadas à sua organização didática, ou seja, os conteúdos são apresentados com um didática coerente para o perfil de estudantes. Além disso, os acadêmicos reconhecem a importância de cada um dos recursos para compreender o conteúdo.

Os textos apresentam conceitos gerais, de forma sintetizada, permitindo que o acadêmico tenha uma noção básica do conteúdo a ser estudado. Desse modo, um acadêmico compreende que “as informações de texto auxiliaram para dar um norte” (AQ12F08). Apesar dos textos auxiliarem no processo de aprendizagem, não são suficientes para propiciar a compreensão do conteúdo, visto que os acadêmicos têm dificuldades em aprender somente lendo: “por diversas vezes, tive que recorrer ao vídeo para esclarecer uma dúvida que ficou na leitura” (AS11F17) e “o modo como estão dispostas as informações ajuda bastante no aprendizado, com explicações teóricas, mas também com vídeos” (AE18F02).

As animações, imagens e, principalmente, os vídeos são utilizados para apresentar conceitos mais específicos, detalhando o conteúdo. Corroborando essa perspectiva, Torrezann

e Behar (2009, p. 43) compreendem que os recursos visuais causam um menor esforço cognitivo para estudar um conteúdo, se comparados com os textos, “porém, não se objetiva com isso sugerir a diminuição da utilização de textos, e sim a consciente exploração de imagens em materiais educacionais a partir das suas possibilidades cognitivas”. Desse modo, os recursos visuais são utilizados na abordagem de conceitos mais específicos, detalhando o conteúdo estudado.

A importância desses recursos para detalhar o conteúdo é reconhecida pelos acadêmicos: “as imagens foram incluídas de forma muito eficiente, quando o assunto estudado exigia uma explicação mais detalhada” (AS13F15); “gostei muito da imagem/vídeo mostrando de que forma os elétrons se movem na corrente contínua e na corrente alternada, pois, com isso, o entendimento é reforçado” (AS14F14); “há sugestões de vídeos e conteúdos pensados em aprimorar, lembrar e reforçar assuntos mais básicos” (AS06F13); e “para mim, os vídeos explicativos foram de extrema importância” (AS10F08).

Moran (1995) já ressaltava as potencialidades da utilização dos vídeos nos processos de ensino, sendo um instrumento interessante para exemplificar e ilustrar uma situação ou para explicar um conteúdo. Os acadêmicos reconhecem essas duas potencialidades, sendo que o fragmento AS14F14 menciona a ilustração do comportamento dos elétrons, e o fragmento AS10F08 revela o vídeo como um recurso para revisar e aprender conteúdos.

Nesse processo de apresentar conceitos gerais em forma de texto e os específicos em forma de vídeos, contemplam-se, novamente, os princípios de **diferenciação progressiva e reconciliação integradora** da TAS. Os textos e os vídeos complementam e reforçam o conteúdo estudado, permitindo que o acadêmico compreenda conceitos específicos abordados nos vídeos, pois já teve acesso aos conceitos gerais em forma de texto. O processo inverso, do específico para o geral, também ocorre, pois os vídeos detalham o conteúdo e reforçam os conceitos gerais. Moreira (2008a, p. 35) compreende que esse processo promove aprendizagem porque “o sujeito vai, progressivamente, diferenciando sua estrutura cognitiva, mas, ao mesmo tempo, tem que ir reconciliando diferenças reais ou aparentes [...]”.

Desse modo, concorda-se com a perspectiva dos acadêmicos que consideram os vídeos essenciais para os processos de ensino e de aprendizagem no MatElettric. Além de auxiliar diretamente no processo de ensino, as imagens e os vídeos proporcionam um ambiente mais agradável e menos cansativo, impactando positivamente na motivação e no nível de atenção do acadêmico para estudar os conteúdos: “a utilização de vídeos e imagens proporcionam uma experiência mais leve com o *site*” (PQ01F15) e “os vídeos oferecidos ajudam a prender a atenção do aluno, deixando a monotonia de lado” (AS06F22). Esse fato

reforça a capacidade que o MatEletric tem de envolver o acadêmico no estudo de circuitos elétricos em CA, ou seja, disponibilizando um recurso que instigue a **predisposição para aprender** os conteúdos.

Portanto, nessa parte do MatEletric que introduz conceitos básicos de circuitos elétricos em CA, constataram-se nos relatos dos acadêmicos pressupostos da TAS, tais como conhecimentos prévios, não arbitrariedade, substantividade, diferenciação progressiva, reconciliação integradora, organização sequencial e predisposição para aprender. Em virtude de considerar e contemplar princípios da TAS, os acadêmicos reconhecem que a compreensão de conceitos considerados base auxiliam e facilitam o processo de aprendizagem: “o *site* em si detalha muitos conceitos básicos, facilitando a aprendizagem [da análise de circuitos elétricos em CA]” (AQ09F02).

Apesar de contextualizar e introduzir os conceitos de circuitos elétricos em CA, nessa parte do MatEletric, não foi possível identificar os conhecimentos e as lacunas de aprendizagem de cada acadêmico. O contexto utópico seria o acadêmico compreender os conceitos e as operações que envolvem números complexos e a análise de circuitos elétricos. Para contemplar os acadêmicos que não dominam conceitos básicos, na área de conhecimento da Elétrica e da Matemática, a TAS sugere a utilização de **organizadores prévios** para disponibilizar recursos para promover a aprendizagem significativa, o que consiste a segunda etapa do MatEletric: *Questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos*.

A segunda etapa está relacionada aos conhecimentos prévios dos acadêmicos e a possibilitar o estudo de conteúdos considerados base para promover a aprendizagem significativa sobre circuitos elétricos em CA. Segundo a TAS, essa fase é a mais importante, pois Ausubel, Novak e Hanesian (1980, p. viii) consideram que “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos”.

O conhecimento que os acadêmicos apresentam sobre números complexos não apresenta um padrão, conforme se constata nos seguintes relatos: “números complexos, tinha visto na escola, não me lembro se foi no Fundamental ou no Médio” (AE03F18); “operações com números complexos, eu vi muito tempo atrás, uns dez anos atrás. Eu fiz o técnico em eletricidade, então a gente viveu muito a parte de laboratório de eletricidade, tanto teóricos quanto práticos. Então eu já tinha uma espécie de lembrança disso” (AE15F16); “a questão de números complexos eu só tinha visto no Ensino Médio, eu tinha uma vaga lembrança, na real eu só lembrava que era uma parte real e uma parte imaginária” (AS09F17); e “o resto, as

operações, assim, eu não fazia a menor ideia, eu não lembrava mesmo. Eu nem sei se eu aprendi para falar a verdade” (AE10F21).

Esses relatos reforçam resultados de pesquisas que indicam que o conteúdo dificilmente é abordado no Ensino Médio (BATISTA, 2004; MELLO, 2005; MELLO; SANTOS, 2005; PANAOURA; ELIA; GAGATSI; GIATILIS, 2006; ELI, 2014; PEREIRA, 2016; COSTA, 2016) ou, ainda, quando é abordado, geralmente não é compreendido pelos estudantes (NOBRE, 2013; CHAVES, 2014; GUEDES JUNIOR, 2016; AVELAR, 2016). Contudo, a falta do conhecimento de números complexos, bem como de outros conteúdos considerados básicos, acarretam dificuldades de aprendizagem do conteúdo de circuitos elétricos em CA (MELLO, 2005; REIS, 2009; LIRA, 2014; JOHNSON, 2014; VILAS BOAS JUNIOR, 2014; CIPTOWIYONO, 2015; GERMANO, 2016; JESUS; TESTANI, 2016; SILVA, 2016; AGRICCO JUNIOR, 2017; LINHARES, 2017; BIANCHINI *et al.*, 2017; LIMA, 2017; PORTOLAN, 2017; OLIVEIRA, 2018; CARNEIRO, 2019).

Esse cenário indica que os acadêmicos apresentam diferentes níveis de conhecimento prévios e que também reconhecem a importância da compreensão de conteúdos considerados base para o processo de aprendizagem, conforme fica evidente no seguinte relato: “[...] pois, sem esse conhecimento [de conteúdos-base], se torna difícil o aprendizado de conteúdos mais complexos e, conseqüentemente, pode desmotivar o aluno” (AS13F22-23). Novak (1981) já ressaltava em seus estudos a diversidade de conhecimento e as lacunas de aprendizagem dos estudantes, sendo necessária a compreensão desses conceitos considerados base para uma aprendizagem significativa.

Levando-se e conta a diversidade em uma sala de aula, a velocidade do processo de ensino pode ser “[...] rápida demais para que alguns possam internalizar significativamente a informação, e lenta demais (conseqüentemente, tediosa ou desperdiçada) para aqueles com melhores arcabouços de conceitos relevantes. [...]” (NOVAK, 1981, p. 144). Na década de 1980, a exposição do conteúdo era a principal estratégia adotada pelos professores para suprir as lacunas de aprendizagem, dificultando a aprendizagem de conceitos considerados básicos e, ainda, tornava a aula tediosa para quem tinha esse conhecimento, impactando negativamente na predisposição dos estudantes para aprender. Além disso, o acadêmico sem conhecimentos prévios sobre o assunto tende a realizar uma aprendizagem mecânica, memorizando conteúdos, pois a estrutura cognitiva tem dificuldades em estabelecer relações entre os conhecimentos.

Contudo, a partir dos avanços e da inclusão das tecnologias na educação possibilitou-se um ensino mais individualizado, considerando o conhecimento e o ritmo de aprendizagem

dos estudantes (KENSKI, 2006; BEHAR, 2009; MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013). Os OAM são recursos tecnológicos com potencial para auxiliar os professores, como é o exemplo do MatEletric, permitindo aos acadêmicos avançar nas atividades conforme seu conhecimento e o seu interesse. Os professores podem utilizar OAM para promover a compreensão de conceitos considerados básicos, pois um fator que dificulta a aprendizagem está associado à estrutura cognitiva do estudante, pois, quando se encontra “[...] instável, ambígua, desorganizada ou organizada de modo caótico, tem tendência a inibir a aprendizagem significativa e a retenção” (AUSUBEL, 2003, p. 10). Esse é um fator considerado pelos participantes para sugerirem a utilização do MatEletric como um material didático para complementar a aula do professor no ensino de circuitos elétricos em CA.

Além disso, o acadêmico que não apresenta conhecimentos prévios sobre o assunto precisa realizar um esforço cognitivo em excesso para compreender os conceitos considerados básicos e associá-los ao conteúdo da disciplina. A carga cognitiva em excesso cansa o acadêmico, causando um impacto negativo na predisposição para aprender. Diante disso, Novak (1981, p. 62) compreende a potencialização de uma aprendizagem mecânica, pois se dificulta que o estudante realize um “[...] esforço consciente para relacionar o novo conhecimento à estrutura de conceitos ou elementos de conhecimento já existentes na estrutura cognitiva”.

Em busca de evitar a desmotivação do acadêmico e de propiciar uma aprendizagem significativa, Ausubel (2003) sugere a utilização de organizadores prévios para preencher lacunas na estrutura cognitiva e reconhecer conceitos estruturantes que interferem na compreensão de novos significados. Complementando, para Novak (1981, p. 60), os organizadores prévios funcionam “[...] como uma ponte cognitiva que permitiria pronta ligação entre os subsunçores relevantes e o novo material a ser aprendido”.

Os organizadores prévios são questionários elaborados em Formulário do Google, compostos por questões que abordam conceitos e operações para análise de circuitos elétricos em CA. A incorporação dos questionários (organizadores prévios) no MatEletric permite que os acadêmicos verifiquem seu nível compreensão dos conceitos considerados base para a aprendizagem de circuitos elétricos em CA, contemplando outra característica dos OAM, o princípio dos subsunçores (CANTO FILHO; LIMA, 2014).

Entretanto, os questionários do MatEletric são apresentados após a introdução do conteúdo da disciplina, contrariando uma indicação de Moreira e Masini (2006), de abordar os organizadores prévios antes do próprio conteúdo. Os organizadores prévios foram abordados na segunda fase do MatEletric, para que os acadêmicos interagissem com os recursos para

compreender a importância e a aplicabilidade dos **conhecimentos considerados básicos** para a aprendizagem de circuitos elétricos em CA.

Moreira e Masini (2006) indicam que os organizadores prévios potencializam a aprendizagem quando são apresentados antes do conteúdo, mas ressaltam que “[...] precisam ser formulados em termos familiares ao aluno, para que possam ser aprendidos, e devem contar com boa organização do material de aprendizagem para terem valor de ordem pedagógica” (MOREIRA; MASINI, 2006, p. 22). No contexto desta tese, já foram apresentados relatos que sugerem que a organização didática do MatEletric é um fator para qualificá-lo como um material potencialmente significativo para aulas cujo conteúdo é de circuitos elétricos em CA, apesar de não se seguir aqui a ordenação conforme Moreira e Masini (2006).

Além disso, o planejamento dos organizadores prévios com informações, em forma de dicas que buscam relacionar o conteúdo da questão com o conhecimento do acadêmico foi um fator destacado pelos acadêmicos. A Figura 30 mostra um exemplo de como as dicas foram inseridas nos organizadores prévios do MatEletric.

**Figura 30** – Exemplo de dica inserida no organizador prévio sobre números complexos

Dados os números complexos  $z = 6 + 5i$  e  $w = 2 + 3i$ . A subtração de  $z - w$  é igual a: \*

0 pontos

- $z - w = 4 + 2i$
- $z - w = -4 - 2i$
- $z - w = 4 + 8i$
- $z - w = -4 + 2i$
- Não sei

**Dica!**  
Para multiplicar números complexos, inicia-se pelo mesmo procedimento do produto de polinômios. Há, para os números complexos, todavia, uma etapa a mais a ser cumprida, a da equivalência com a unidade imaginária. Esta é realizada para simplificar o cálculo, resultando em um número complexo na forma  $a + bi$ , ou seja, que possui uma parte real e uma parte imaginária definidas.

Qual número representa a forma mais simplificada da multiplicação do número complexo  $5 + 3i$  pelo imaginário puro  $2i$ ? \*

0 pontos

Fonte: Imagem retirada de AS07

Cabe ressaltar que as dicas estavam disponíveis para os acadêmicos que reconhecessem ter dificuldades ou não lembrassem do conteúdo de números complexos, para os demais, eram fornecidas somente as questões com seus respectivos *feedbacks*. A organização didática dos organizadores prévios do MatElettric buscou aproximar os acadêmicos que têm mais dificuldade com o conteúdo, além de permitir um estudo mais objetivo para os que dominam o conteúdo, promovendo assim um ensino individualizado, sendo essa uma característica a ser abordada no próximo metatexto, referente à categoria *Ensino individualizado e autoavaliação do conhecimento*.

Entre os participantes da pesquisa, somente um considerou compreender os conceitos e as operações com números complexos, sendo assim, os demais acessaram os organizadores prévios com dicas. A importância das dicas para a aprendizagem foi ressaltada pelos acadêmicos: “as dicas inseridas nos questionários são uma boa ideia para ir recordando a matéria” (AS07F19) e “durante os questionários também a presença de dicas para auxiliar em caso de dúvidas, [...]” (AS12F18).

As dicas associam as operações com números complexos com conteúdos mais básicos de Matemática, como operações com polinômios e trigonometria, os quais acadêmicos de Engenharia estão acostumados a estudar e manipular desde os primeiros semestres do curso. Ao considerar o conhecimento prévio do acadêmico, contempla-se a TAS, pois o organizador prévio busca promover a interação entre conhecimentos, ou seja, o conteúdo estudado deve “[...] ser relacional com as ideias relevantes da estrutura cognitiva e levá-las em linha de conta” (AUSUBEL, 2003, p. 66).

Conforme foi relatado, os números complexos dificilmente são estudados na Educação Básica, diferente do que ocorre com o conteúdo de polinômios e de trigonometria, sendo que esses são estudados nas séries finais do Ensino Fundamental, sendo **conhecimentos considerados básicos** até para estudantes do Ensino Médio. A adição, a subtração e a multiplicação de números complexos são efetuadas com procedimentos análogos às respectivas operações com polinômios. Desse modo, as dicas buscam relacionar tais conteúdos, possibilitando que os acadêmicos utilizem seu conhecimento para construir novos significados. Além disso, a representação na forma trigonométrica e polar facilita a multiplicação e a divisão de números complexos, por isso utilizam-se conceitos de trigonometria para efetuar e compreender essas operações.

Além das dicas, os acadêmicos ressaltaram a importância dos *feedbacks* fornecidos após responderem às questões, considerado por um acadêmico como “disparado, o principal ponto positivo é a questão do *feedback*” (AE03F24). Os *feedbacks* fornecidos após responder

o questionário reforçam o acerto ou apresentam recursos para o acadêmico compreender o erro sobre o conteúdo contemplado na questão, conforme evidencia-se no seguinte relato “[...] em todas as situações [acertos ou erros], existe a revisão do conceito do conteúdo” (AS03F40).

A Figura 31 exemplifica os *feedbacks* fornecidos nos organizadores prévios. No *feedback*, o acerto reforça o conceito em questão e permite que o acadêmico confirme sua compreensão do conteúdo abordado, ativando esse conhecimento na estrutura cognitiva e contemplando o princípio da **consolidação do conhecimento**. No erro, explica-se o processo de resolução da questão, apresentando recursos para estudar o conteúdo e, dessa forma, busca-se evitar o uso de conhecimentos incompreendidos e instáveis na estrutura cognitiva no processo de aprendizagem, conforme sugere a TAS (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003).

**Figura 31** – Exemplo de *feedback* ao acertar ou errar no organizador prévio

### Feedback

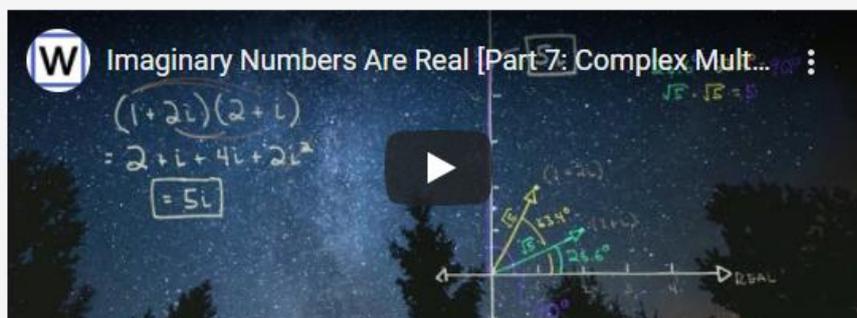
Correto! Os resistores associados em série permite com que a corrente seja a mesma em todo circuito elétrico, sendo assim a uma queda proporcional da tensão em cada resistor. A tensão equivalente é a soma das tensões de cada resistor.

### Feedback

Observe que  $|w| = \sqrt{10}$ ,  $|z| = \sqrt{5}$  e  $|z : w| = \sqrt{2}$ , ou seja, é o resultado da divisão de  $|w|$  por  $|z|$ :  $\sqrt{10} : \sqrt{5} = \sqrt{2}$ . Caso tenha ficado com dúvidas sobre a operação com radicais, sugere-se uma videoaula (<https://youtu.be/ed0RQgbTtu4>). Em relação ao argumento, observe que os argumentos  $w$  e  $z$  são, respectivamente,  $161,57^\circ$  e  $63,43^\circ$ , sendo que o quociente de  $w$  por  $z$  teve como argumento um valor aproximado de  $98,13^\circ$ , ou seja,  $161,57^\circ - 63,43^\circ = 98,14^\circ$ .

Sugestão de recursos digitais para aprender a divisão de números complexos na forma trigonométrica:

- Aplicativo do GeoGebra que explica a multiplicação e a divisão na forma trigonométrica (<https://numeroscomplexos.000webhostapp.com/162.html>);
- Videoaula que explica a multiplicação e a divisão na forma trigonométrica ([https://youtu.be/\\_hDsF1b7nn8](https://youtu.be/_hDsF1b7nn8));
- Plataforma Stoodi que explica a divisão na forma trigonométrica (<https://www.stoodi.com.br/materias/matematica/numeros-complexos/divisao-na-forma-trigonometrica/>);
- Página web que aborda as operações com números complexos ([http://www.ufrgs.br/espamat/disciplinas/numeros\\_complexos/](http://www.ufrgs.br/espamat/disciplinas/numeros_complexos/));
- PDF sobre conceitos e operações de números complexos (<https://www.dropbox.com/s/ec8vrc9p2rqw57d/Ebook.pdf?dl=0>);
- Página web que aborda a divisão na forma polar (<https://complexos.blog.br/1124/>);
- Aplicativo do GeoGebra exemplificando a divisão de números complexos (<https://www.geogebra.org/m/mT42FeQk>).



Fonte: Imagem retirada de AS03

Em relação aos erros, os acadêmicos reconhecem que os questionários informam “[...] quais são os pontos de maior dificuldade” (AS15F37). Além disso, destacam a importância dos *feedbacks* para o processo de aprendizagem, considerando que os “[...] *feedbacks* são necessários para entender possíveis erros, sem eles não há aprendizado” (AS14F23), que “o *feedback* possibilita interpretar o erro de forma coerente para o mesmo não se repetir” (AQ03F16) e que “a importância dos *feedbacks* nos questionários devido a explicação detalhada que é apresentada” (AS08F25).

Nesses relatos, consta que os *feedbacks* são utilizados para identificar e explicar os erros cometidos pelos acadêmicos. Desse modo, eles exerceram a função de organizadores

prévios, os quais auxiliaram o acadêmico a compreender “[...] conceitos errôneos antes que tenham a oportunidade de prejudicar a clareza da estrutura cognitiva e, portanto, inibir a aprendizagem de novo material” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 156). Desse modo, o acadêmico pode compreender conteúdos considerados base para, posteriormente, aprofundar os estudos em conceitos mais específicos ou relacioná-los com outras áreas de conhecimento.

Apesar de o questionário ser utilizado como organizador prévio, um acadêmico o compreendeu como um instrumento de avaliação, cuja função seria determinar uma pontuação ou nota pelo índice de acerto. Esse fato é observado neste relato: “a pontuação dos testes (questionários prévios) aparece como 0/0” (AS04F31). Entretanto, o MatElettric não tem o objetivo de avaliar atribuindo notas, mas o de indicar aos acadêmicos lacunas de aprendizagem e de ativar conhecimentos necessários para o estudo de circuitos elétricos em CA. Desse modo, os questionários em forma de **organizadores prévios** têm a função de proporcionar recursos para ampliar o conhecimento.

A decisão de não atribuir pontuação ao questionário também é justificada por considerar o erro um indicativo de desconhecimento ou de incompreensão, não com o significado de uma punição, por isso, sugerem-se recursos para os acadêmicos estudarem os conteúdos. Essa perspectiva está em consonância com as ideias de Becker (2001, p. 89), que segue a linha de Piaget e afirma que o erro deve ser considerado um “[...] instrumento analítico e não como objeto de punição”. Complementando, Echeverría e Pozo (1998, p. 65) afirmam que “[...] os erros não devem ser tratados como fracassos, mas como fonte de informação para o professor na sua tarefa de ‘treinador’ e para a autoavaliação do aluno”.

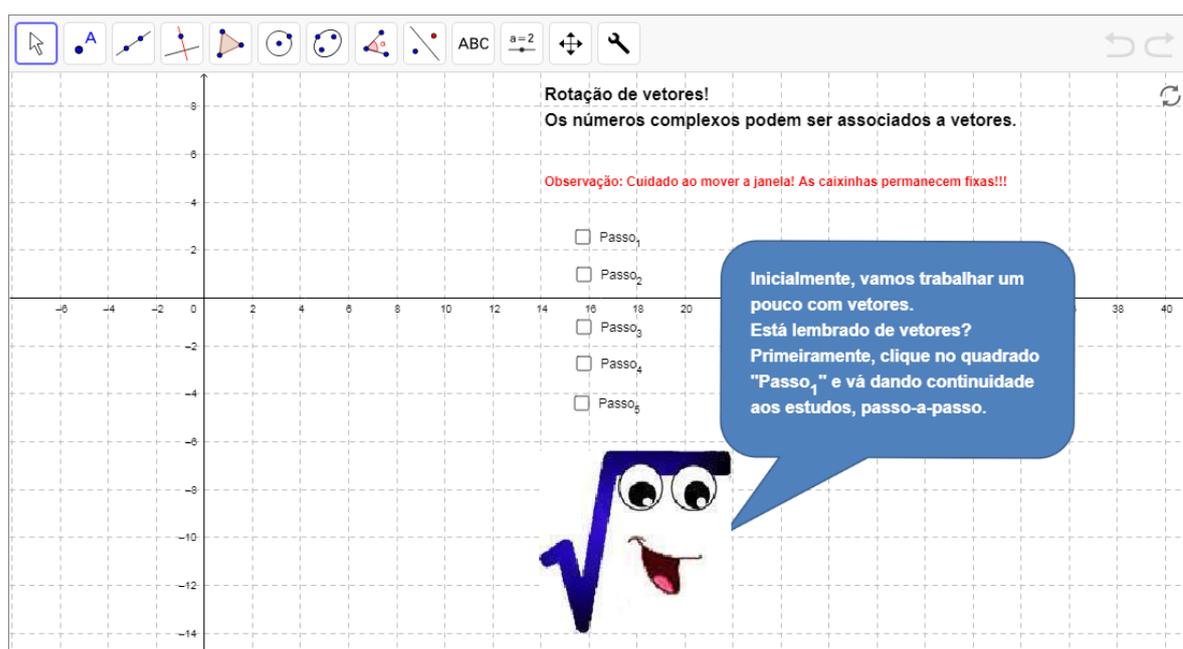
Por outro lado, contrariando a concepção de Echeverría e Pozo (1998), o MatElettric não se propõe a treinar os acadêmicos, proporcionando uma aprendizagem mecânica, mas busca promover a compreensão dos conceitos envolvidos no erro. Essa é uma das potencialidades dos OAM, que possibilitam “um novo tipo de aprendizagem apoiada pela tecnologia, no qual o professor abandona o papel de transmissor de informação para desempenhar o papel de mediador da aprendizagem” (BEHAR, 2009, p. 18).

Considerando esses pressupostos, o MatElettric não se limita a mostrar o erro, mas também disponibiliza recursos para o acadêmico estudar e compreender o conteúdo envolvido na questão. O professor participante da pesquisa reconheceu essa característica no MatElettric, ao relatar que os diferentes recursos apresentam uma “[...] forma diversificada o estudo sobre números complexos” (PQ01F11). A expressão “forma diversificada” justifica-se pelos diferentes recursos sugeridos para estudar números complexos, que proporcionam a

compreensão de que o MatElettric é “[...] atrativo devido à quantidade de recursos disponíveis para aprender sobre números complexos” (AQ03F11).

Entre os recursos, os acadêmicos destacaram principalmente os aplicativos de GeoGebra, no qual se associam os números complexos a vetores, e os vídeos explicativos sobre o conteúdo, como fica evidente nos seguintes relatos: “o recurso que eu particularmente achei mais legal e interativo é o recurso que explora a plataforma do GeoGebra, a explicação passo a passo com exemplos e com o personagem interagindo com o aluno é muito bom” (AQ09F13); “como terceiro item [a destacar no MatElettric], eu acho que seria a questão de aqueles experimentos [aplicativos do GeoGebra] mais interativos, é que vocês tiveram ali, eu não mexi muito nele, mas eu achei legal, nunca tinha visto, então, acho muito bom isso” (AE15F26); e “os vídeos são mais intuitivos para estudar conhecimentos-base” (AQ01F04).

**Figura 32** – Exemplo de aplicativo do GeoGebra para ensinar números complexos



Fonte: Imagem retirada de AS04

Nesses relatos, observa-se que os acadêmicos ressaltam recursos interativos e dinâmicos, que os envolvem no processo de ensino. Os aplicativos do GeoGebra, destacados pelos acadêmicos, compõem o produto educacional resultante de uma pesquisa de mestrado profissional (PUHL, 2016), o qual proporcionou indícios do desenvolvimento de aprendizagem significativa para estudantes de Ensino Médio de uma escola pública do interior do Rio Grande do Sul. Apesar de os aplicativos do GeoGebra terem sido testados na Educação Básica, na sua elaboração, foram considerados os pressupostos teóricos da TAS,

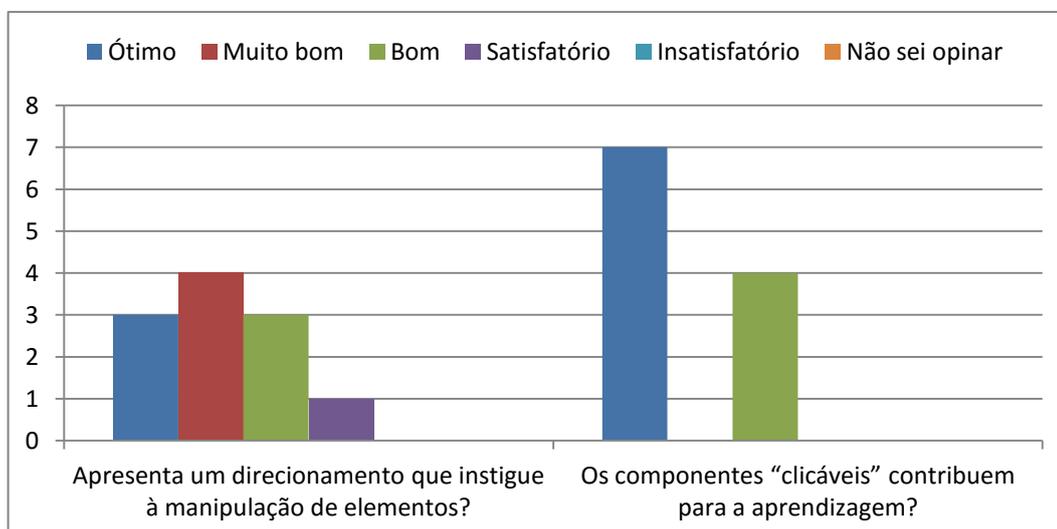
levando em conta conhecimentos prévios e instigando o envolvimento e a ação mental do estudante na compreensão dos conteúdos.

O GeoGebra, sendo um *software* de geometria dinâmica, possibilita a manipulação de entes matemáticos, realizando testes e transformando-os quantas vezes quiser, em novas experimentações, visando a reformar, confirmar ou refutar suas conjecturas (GRAVINA, 1996; HENRIQUE, 2017). Desse modo, as tecnologias, por meio de aplicativos do GeoGebra, disponibilizam recursos que promovem a interatividade, incorporando “[...] *sistemas dinâmicos de representação* na forma de objetos *concreto-abstratos*. São concretos porque existem na tela do computador e podem ser manipulados e são abstratos porque respondem às nossas elaborações e construções mentais” (GRAVINA; BASSO, 2012, p. 14).

Conforme consta nos relatos, os acadêmicos reconhecem que os aplicativos do GeoGebra promovem a interatividade com o MatEletric. A interatividade está associado às próprias características dos aplicativos do GeoGebra, como *software* de geometria dinâmica. Além disso, novamente, destaca-se o papel do Radice no MatEletric, ao guiar, orientar, informar e desafiar os acadêmicos para que testem suas conjecturas e construam significados dos conteúdos estudados.

Em relação à avaliação da interatividade do MatEletric, os participantes, os acadêmicos e o professor, consideram, de uma maneira geral, como *Muito bom* (Figura 33). Essa avaliação está associada à disponibilização de aplicativos do GeoGebra, que permitem a manipulação de entes matemáticos, mas também de diferentes recursos didáticos (textos informativos, questionamentos, vídeos, questionários e problemas), para promover a compreensão de conhecimentos considerados básicos e dos conteúdos da disciplina.

**Figura 33** – Gráfico que sintetiza a avaliação da interatividade do MatEletric



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir dos dados construídos no instrumento de avaliação de OA.

Além de considerar **conhecimentos prévios** do acadêmico nos organizadores prévios, observam-se, nos relatos, características que impactam na **predisposição para aprender**, que consistem em utilizar recursos interativos e intuitivos, possibilitando o envolvimento do acadêmico e permitindo que sua atenção seja direcionada para estudar os conteúdos. Com efeito, a predisposição não se refere somente à motivação do acadêmico para aprender, mas consiste também em “[...] um esforço deliberado para relacionar o novo conhecimento a conhecimentos prévios, mais inclusivos, mais diferenciados, existentes na estrutura cognitiva com certa estabilidade e clareza” (MOREIRA, 2008a, p. 20).

O acadêmico, dispondo de recursos intuitivos, direciona sua atenção para compreender os conteúdos, ao invés de manipular e acessar os recursos. Conforme a TAS, “[...] a atenção é, provavelmente, uma condição cognitiva geral essencial para a ocorrência da maioria dos casos de aprendizagem significativa” (AUSUBEL, 2003, p. 202-203). A atenção do acadêmico, voltada para a compreensão do conteúdo, possibilita a construção de significados, pois permite o **estabelecimento de relações não arbitrarias** entre o conteúdo do organizador prévio e o conhecimento do acadêmico.

As dicas e os *feedbacks* disponíveis nos questionários possibilitaram que os acadêmicos estabelecessem **relações não arbitrarias e não literais** entre uma nova informação e o seu conhecimento (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 1997). O MatElettric, em todas as suas fases, busca propiciar a interação de conhecimentos, potencializando mudanças na estrutura cognitiva do acadêmico, ampliando-a (quantitativamente) e enriquecendo-a (qualitativamente), ou seja, confirmando-se como um material potencialmente significativo para a aprendizagem de números complexos.

A seguir, apresentam-se relatos que confirmam a perspectiva apresentada: “o MatElettric, para mim, foi uma ferramenta que possibilitou, de forma rápida, recapitular conceitos que já não estavam mais claros” (AQ13F05), “com o MatElettric, consegui lembrar os conceitos sobre números complexos” (AQ06F10) e “eu conhecia um pouco [números complexos], mas o que foi apresentado no objeto ajudou bastante” (AE18F06). Esses relatos fornecem indícios de que o MatElettric promoveu aprendizagens relacionadas ao conteúdo de números complexos. Tais aprendizagens podem estar associadas à organização didática do MatElettric, considerando os pressupostos teóricos da pesquisa, bem como aos estudos de mapeamentos teóricos realizados para conhecer os recursos tecnológicos,

utilizados no ensino de números complexos para acadêmicos de Engenharia (PUHL; MÜLLER, 2017; PUHL; MÜLLER; LARA, 2020; PUHL; LIMA; MÜLLER, 2021).

Nos mapeamentos teóricos, constatou-se a existência de poucas pesquisas que envolvem o ensino de números complexos no Ensino Superior utilizando tecnologias, sendo a maioria voltada ao Ensino Médio e ao Ensino Médio Técnico. Não se constatou em qualquer pesquisa a utilização de um OAM com acadêmicos de Engenharia promovendo o ensino de números complexos associados aos conceitos de circuitos elétricos em CA.

Apesar da inexistência de OAM para acadêmicos de Engenharia, os mapeamentos teóricos forneceram informações sobre recursos digitais e estratégias didáticas, por meio de abordagem histórica ou geométrica, para promover a aprendizagem de números complexos. Essas informações foram utilizadas na organização didática do MatEletric, seja associando os números complexos com conceitos de circuitos elétricos em CA ou planejando os organizadores prévios, os quais buscaram relacionar os conteúdos com conhecimentos dos acadêmicos. Essa organização didática promoveu uma percepção de que o conteúdo não é difícil, mesmo para os acadêmicos que não se lembravam ou que não estudaram sobre números complexos, o que pode ser notado em afirmações como: “apesar de o conteúdo não ser extremamente difícil” (AQ13F14) e “acredito ser um tema não muito difícil” (AQ09F01).

Complementando a perspectiva dos acadêmicos, o professor participante da pesquisa considera que o MatEletric proporcionou ótimos resultados em termos de aprendizagem de números complexos, apresentando a seguinte justificativa: “eu classifiquei como ótima, porque ninguém me questionou sobre cálculos com números complexos” (PE01F01). O professor planeja utilizar o MatEletric nos próximos semestres, sendo que já utilizou outros recursos digitais na forma de organizadores prévios para ensinar números complexos, como a plataforma Khan Academy: “semestre passado, quando utilizei o Khan Academy tive vários alunos que me questionaram como fazer o cálculo” (PE01F02).

Esses relatos indicam, na perspectiva do professor, que o MatEletric é um material didático que apresentou melhores resultados se comparado com a plataforma Khan Academy. O ensino de números complexos na plataforma Khan Academy aborda somente o conteúdo matemático, não contextualizando e nem estabelecendo relação com a área da Elétrica. Esse fato pode ter desmotivado os acadêmicos de Engenharia a interagirem com os recursos da plataforma, visto que ela não detalha e nem explica a sua utilização nos circuitos elétricos, como é realizado no MatEletric. Em virtude disso, o professor considera a possibilidade de utilizar o MatEletric em suas aulas, ao invés da plataforma Khan Academy, pois o conteúdo é

apresentado de forma contextualizada e coerente para seu público-alvo: acadêmicos de Engenharia.

Outros fatores que contribuíram para os resultados satisfatórios do MatEletric como organizador prévio são decorrentes de estudos realizados para compreender os erros cometidos por acadêmicos de Engenharia ao realizar operações com números complexos (PUHL; MÜLLER; LIMA, 2019b, 2020c). Os participantes dessas pesquisas foram acadêmicos de Engenharia que estavam cursando uma disciplina que requer conhecimentos de números complexos para analisar circuitos elétricos em CA.

A pesquisa de Puhl, Müller e Lima (2020) foi realizada com 107 acadêmicos de Engenharia de uma Instituição de Ensino Superior da região metropolitana de Porto Alegre. Constatou-se que poucos compreendem conceitos e operações básicas com números complexos, sendo que os melhores índices de acertos ocorrem na representação do número complexo no plano complexo (57%) e nas operações de adição e subtração (51,4%). Essa pesquisa teve dois grupos de participantes: uma turma de acadêmicos que não havia estudado e outra que havia estudado números complexos no Ensino Superior. O grupo de acadêmicos que havia estudado números complexos teve um aproveitamento melhor, aumentando o índice de acertos em todas as operações, visto que os que não estudaram tiveram um aproveitamento de 34,1% na representação do número complexo no plano complexo e nas operações de adição e subtração. Esses dados reforçam a convicção de que a maioria dos acadêmicos conhece pouco ou desconhece os números complexos.

Em consonância com esse contexto, a pesquisa de Puhl, Müller e Lima (2019) foi realizada com 51 acadêmicos de Engenharia de uma Instituição de Ensino Superior da região da Serra Gaúcha que não estudaram números complexos no Ensino Superior. Nessa pesquisa, os acadêmicos apresentaram um índice menor de acertos, sendo que os mais representativos são 41,2%, nas operações de adição e subtração, e somente 13,7% na representação do número complexo no plano complexo. Cabe ressaltar que o questionário aplicado aos acadêmicos, tanto da região metropolitana de Porto Alegre quanto da Serra Gaúcha, contava com as mesmas questões, e os erros cometidos foram similares. Em virtude do baixo índice de acertos dos acadêmicos da Serra Gaúcha, optou-se por aplicar o MatEletric em uma turma de Engenharia dessa Instituição de Ensino Superior.

A identificação e análise dos erros cometidos pelos acadêmicos serviram como conhecimento na elaboração das dicas e dos *feedbacks* nos organizadores prévios. O estudo sobre os erros dos acadêmicos possibilitou antecipar possíveis incompreensões, sugerindo dicas ou ainda recursos didáticos para compreender o conteúdo envolvido na questão. O

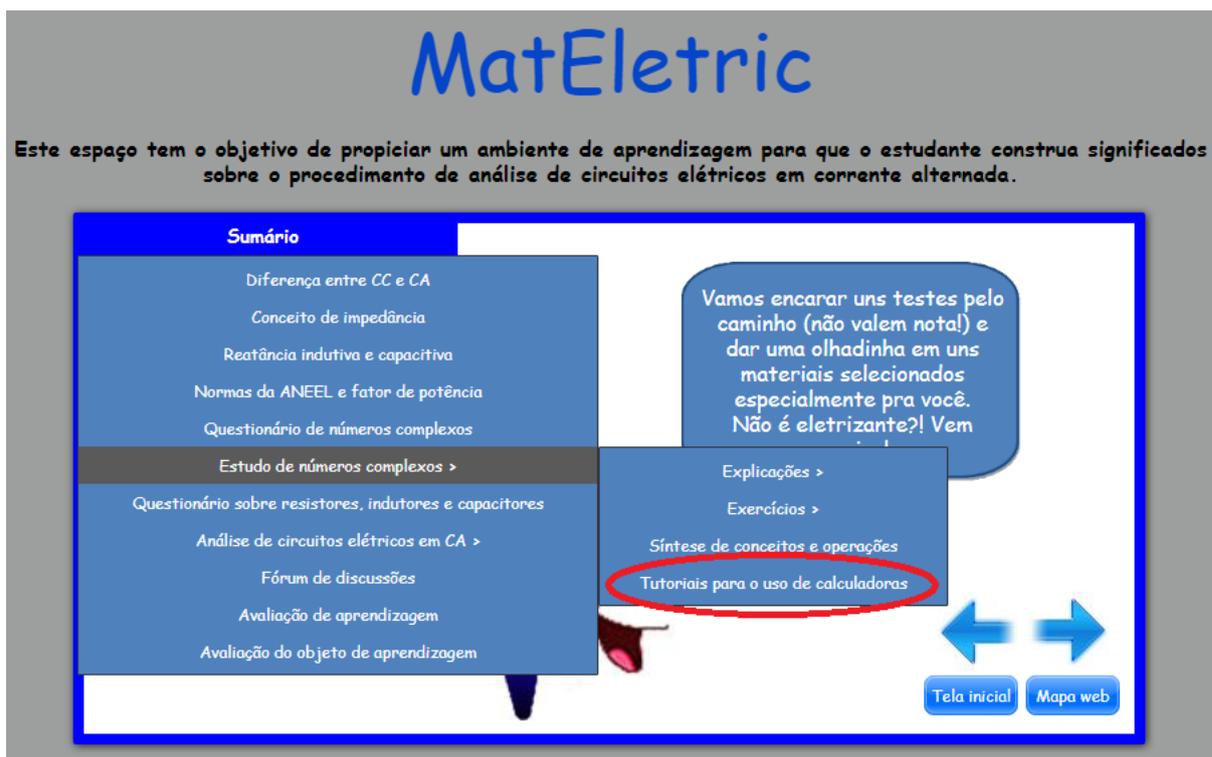
reconhecimento dos acadêmicos da importância das dicas e dos *feedbacks* para o processo de aprendizagem pode estar associado a esses estudos dos erros cometidos por acadêmicos (PUHL; MÜLLER; LIMA, 2019b, 2020c).

Apesar do estudo e da realização dessas pesquisas, as dicas e os *feedbacks* não foram suficientes para que todos os acadêmicos compreendessem as operações com números complexos. Contudo, o professor participante da pesquisa constatou uma evolução nos processos de ensino e de aprendizagem de números complexos, em relação a semestres anteriores, posto que, quando utilizou a plataforma Khan Academy, os acadêmicos faziam várias perguntas e, com o uso MatEletric, houve poucas perguntas em relação ao conteúdo.

A percepção relatada pelo professor é condizente com as observações realizadas nas aulas virtuais, em que as dúvidas apresentadas estavam relacionadas à utilização da calculadora para fazer as conversões e à divisão entre números complexos. Além dessas dúvidas observadas em aula, alguns acadêmicos expressaram suas dificuldades pelo questionário: “com algumas falhas no entendimento dos cálculos [de números complexos]” (AQ18F11) e “senti um pouco de dúvida sobre como transformar os números complexos” (AQ15F08).

Em relação ao uso da calculadora, o professor explicou o procedimento para realizar as conversões, porém isso envolve diferentes etapas, motivo pelo qual alguns acadêmicos tiveram dificuldades. O MatEletric tem um ambiente incorporado denominado *Calculadora por que não?*, no qual constam tutoriais, em forma de vídeos, mostrando como efetuar operações e conversões com números complexos. Apesar de haver um *link* que remete ao ambiente *Calculadora por que não?*, somente um acadêmico ressaltou esse ambiente: “com o MatEletric consegui realizar o cálculo diretamente da calculadora, o que ajudou muito” (AQ06F11). Assim sendo, optou-se por destacar esse ambiente no MatEletric, para facilitar e agilizar o processo de análise de circuitos elétricos em CA, incorporando-se um *link* que remete ao ambiente *Calculadora por que não?* no sumário, o que facilita o acesso a esse recurso, conforme consta na Figura 34. Desse modo, além dos conteúdos, o MatEletric apresenta informações para que os acadêmicos aprendam a realizar operações com números complexos na calculadora, permitindo que o professor aproveite a aula para sanar eventuais dúvidas e aprofundar o estudo dos conteúdos da área da Elétrica.

**Figura 34** – Tela que mostra a modificação do sumário



Fonte: Captura de tela do MatEletric. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/226.html>

Em relação às dificuldades nas operações com números complexos, um fato que chamou a atenção está expresso no seguinte relato:

eu segui todo ele, [MatEletric] tá? Eu tive alguma dificuldade em entender algumas coisas. Eu até acho que eu nem coloquei nos *slides*, porque eu fui só realmente entender depois que eu já tinha postado o trabalho. Foi a questão daquelas operações com os números complexos entre tipo [tipos de representações]... na divisão, eu tenho que utilizar o modelo trigonométrico e quando é a soma eu tenho que utilizar as coordenadas retangulares, isso não ficou claro para mim. (AE10F02)

As dificuldades expressas nos relatos e nas observações das aulas consistem em relacionar a forma de representação de números complexos (algébrica ou trigonométrica) com as operações. Essas operações envolvem conceitos mais específicos e difíceis de serem compreendidos, os quais relacionam as operações de multiplicação e de divisão com a representação polar de números complexos. Apesar de o MatEletric abordar esses conteúdos, conforme consta na Figura 35, os relatos indicam limitações desse recurso para promover a aprendizagem dessas operações. Essa é uma das limitações do MatEletric, sendo que outras são expostas na categoria *Sugestões de aperfeiçoamentos*.

**Figura 35** – Exemplo de tela mostrando o conteúdo que um acadêmico não compreendeu

**MatEletric**

Este espaço tem o objetivo de propiciar um ambiente de aprendizagem para que o estudante construa significados sobre o procedimento de análise de circuitos elétricos em corrente alternada.

**Sumário**

Para outros exercícios sobre números complexos, acesse o ambiente Exercícios de aprendizagem, que aborda o conteúdo em sua forma algébrica e trigonométrica. Além dessas questões, este link traz uma síntese sobre números complexos.

Na forma algébrica, a adição e a subtração são resolvidas sem complicações. Já a multiplicação e divisão devem ser trabalhadas na forma trigonométrica ou polar.

←
→  
Tela inicial
Mapa web

Fonte: Captura de tela do MatEletric. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/226.html>

Apesar do relato, no fragmento AE10F02, o próprio acadêmico, revendo o MatEletric visualizou o conteúdo, destacando que “está bem claro, tem a abinha com as operações, a adição e subtração e depois embaixo uma multiplicação e divisão falando da forma trigonométrica e da forma retangular” (AE10F45). O acadêmico utilizou o MatEletric em diferentes momentos, mas, como o recurso não salva o progresso, é possível que ele não tenha visualizado a tela inicialmente. Esse fato pode ser indício de falta de atenção do acadêmico mas, também, outra limitação do MatEletric, que poderia informar os ambientes já acessados, em cada caso.

Apesar disso, considera-se que o MatEletric tem recursos e potencial para sanar dúvidas sobre conceitos considerados base, mas momentos de desatenção e de incompreensão podem ocorrer por parte dos acadêmicos. Porém, mesmo que o MatEletric seja um recurso para complementar a aula, o professor sempre tem uma função fundamental nos processos de ensino e de aprendizagem, seja sanando dúvidas, explicando conteúdos ou até mesmo sugerindo e apresentando o material didático.

Essa perspectiva é compartilhada pelos acadêmicos, como mostram os seguintes relatos: “porém o lado negativo é que se não tivéssemos o incentivo do professor em analisar o recurso não saberíamos o quão confiável seriam os vídeos” (AS05F15), “só tinha alguns detalhes que eu não entendi muito bem, daí o professor explicou” (AE10F32), “porém sempre surgirão dúvidas enquanto se aprende estas precisam ser solucionadas com o respectivo

professor” (AS07F25) e “porém, sempre com o acompanhamento do professor, o qual, na minha opinião, é indispensável” (AS17F21).

Nesses relatos, novamente, destaca-se a possibilidade de otimizar o tempo da sala de aula, pois o MatElettric disponibiliza informações sobre o uso de calculadora e promove o estudo de **conhecimentos considerados básicos** além de novos conteúdos. Desse modo, o professor não precisa explicar os conteúdos considerados básicos para a turma, mas pode disponibilizar parte da aula para sanar as dificuldades ou as incompreensões. Nessa perspectiva, o professor individualiza o processo de ensino, considerando o **conhecimento de cada acadêmico**, possibilitando também que todos avancem nos estudos de forma individual e independente. Isso pode ser observado nos seguintes relatos: “depois que o professor explicou essa parte das contas, eu já nem prestei atenção muito na aula, eu fui fazendo exercício direto, tá” (AE10F07) e “eu segui adiante [após esclarecer as dúvidas na aula], com uma facilidade bem maior do que se eu tivesse visto pela primeira vez” (AE10F33).

Apesar da individualização do ensino ser uma característica da próxima categoria, *Ensino individualizado e autoavaliação do conhecimento*, nesses relatos, compreende-se que o MatElettric é citado implicitamente como um material didático para complementar a aula e que facilita a compressão dos conteúdos abordados pelo professor. O professor tem o objetivo de promover a aprendizagem de conceitos necessários para a análise de circuitos elétricos em CA, sendo que esse conteúdo é apresentado na última fase do MatElettric, *Problemas para analisar circuitos elétricos em CA*.

Nessa fase, disponibilizam-se problemas para os acadêmicos analisarem circuitos elétricos em CA, buscando promover o **estabelecimento de relações entre o conteúdo da área da Elétrica e o da Matemática**, por meio da **diferenciação progressiva e da reconciliação integradora**. Essa perspectiva é observada no seguinte relato: “achei sim que ficou certinho, mostrando primeiro a parte inicial, a parte elétrica, e depois a parte matemática e depois juntou tudo nos circuitos” (AE10F18). As três fases do MatElettric têm objetivos distintos, mas que se complementam em termos de recursos para o ensino de circuitos elétricos em CA.

Nesse relato, ressalta-se, novamente, a organização didática do MatElettric, sendo que essa fase utiliza e relaciona os conteúdos das fases anterior, por meio da resolução dos problemas de análise de circuitos elétricos em CA. Essa perspectiva está em consonância com as ideias de Allevato e Onuchic (2014, p. 35), que consideram a RP como “[...] a força propulsora para a construção de novos conhecimentos e, reciprocamente, novos

conhecimentos proporcionam a proposição e resolução de intrigantes e importantes problemas”.

Complementando, Ausubel, Novak e Hanesian (1980, p. 51) afirmam que o estudante resolve um problema não com “[...] o objetivo de compreender e memorizar seu conteúdo como um fim em si mesmo, mas com o objetivo de transformá-lo (em conjunto ou com a ajuda da bagagem de conhecimento) em modos alternativos de raciocínio que são potencialmente significativos para ele”. No fragmento AE10F18, o acadêmico ressalta a organização didática do MatEletric, mostrando que a relação dos conteúdos foi importante no processo de ensino e para a resolução dos problemas, sendo assim, possibilitou que o conteúdo fosse compreendido, e não memorizado arbitrariamente e literalmente.

Diante disso, a terceira fase do MatEletric, *Problemas para analisar circuitos elétricos em CA*, busca unificar os conteúdos abordados anteriormente, considerando-os **conhecimentos prévios** para a construção de novos significados, por meio de um ensino contextualizado e da RP. Diante disso, compreende-se que se contempla o segundo argumento, dos seis que relacionam pressupostos teóricos da RP e da TAS para qualificar os processos de ensino e de aprendizagem: o processo de resolução do problema amplia o nível de abstração do estudante, sendo necessário planejar diferentes estratégias de resolução para diferentes problemas, reconstruindo conhecimentos e construindo novos significados (**diferenciação progressiva e a reconciliação integradora**).

Em relação aos problemas, os acadêmicos os consideraram: “[...] problemas inicialmente simples, que ajudam quem está dando os primeiros passos no conteúdo” (AQ18F13-14); “os problemas trazem mais interação ao estudante, pois o fazem resolver situações que envolvem cada trecho do material que está sendo estudado” (AS18F19); “os problemas são interessantes” (AQ09F19); e “os problemas propostos são interessantes e abordam o conteúdo proposto” (AQ01F06). A disponibilização de problemas simples está em consonância com a ideia de utilizar o MatEletric para introduzir o conteúdo de circuitos elétricos de CA, sendo que, ao todo, são oferecidos nove problemas: seis para os acadêmicos estudarem e outros três para verificarem suas aprendizagens.

Os circuitos propostos apresentam similaridades. Em cada circuito, há um componente novo, diferenciando-o do anterior ou aumentando o nível de dificuldade para resolvê-lo. Os problemas seguem um nível de **gradação de dificuldade**, cujo objetivo é estabelecer relações e interações, de modo que os acadêmicos construam significados, ou seja, aprenda significativamente.

A gradação do conteúdo e dos problemas no MatEletric está em acordo com a TAS, pois para Ausubel (2003, p. 171) cada aprendizagem desenvolvida serve “[...] como uma base apropriada e uma função de ancoragem para a aprendizagem e a retenção de itens subsequentes na sequência ordenada”. No contexto desta tese, por exemplo, no primeiro problema, estuda-se o comportamento da associação em série de um resistor e de um indutor no circuito elétrico, e o segundo problema diferencia-se por envolver um resistor e um capacitor.

Esses dois problemas apresentam similaridades, pois ambos estão associados em série, porém os componentes são diferentes, ocasionando procedimentos diferentes para calcular os valores das reatâncias indutivas e capacitivas. Desse modo, observa-se a **gradação do conteúdo**, à medida que os conhecimentos dos problemas iniciais são utilizados para construir significados em problemas subsequentes, seja analisando circuitos propostos pelo MatEletric ou pelo professor durante a aula.

A gradação dos problemas, a sequência ordenada, é constada nos relatos de acadêmicos e do professor: “apresentando primeiramente circuitos série, depois paralelo e por último o circuito misto” (PQ01F25); “inclusive antes teve circuitos mais fáceis e depois mais difícil, perfeito. Essa parte, achei que ficou legal, começou devagar, por exemplo, e terminou no nível que era para chegar” (AE10F19); e “é notório o aumento de dificuldade ao passar nos exercícios” (AQ09F20). O aumento do nível de dificuldade dos problemas é uma característica que, além de facilitar o processo de aprendizagem, não desmotiva os acadêmicos, que têm condições de resolvê-los. Dessa forma, contempla-se o terceiro argumento, que relaciona pressupostos teóricos da RP e da TAS: a solução de um problema proporciona o sentimento de que os estudantes são capazes de aprender a matemática, aumentando a sua confiança e a autoestima (**predisposição para aprender**).

Os problemas teriam potencial para desmotivar os acadêmicos se a mudança de dificuldade não fosse percebida, pois seriam considerados repetitivos e entediantes ou impossíveis de serem resolvidos, dificultando o processo de aprendizagem. Essa perspectiva é compartilhada por Piaget, segundo Lefrançois (2016, p. 250), quando este relata que “o material oferecido aos alunos não pode ser tão difícil a ponto de não poder ser compreendido (assimilado) nem tão fácil que não resulte em aprendizagem nova (sem acomodação)”.

De forma análoga, Onrubia (1999, p. 125) considera que o processo de ensinar

[...] deve apontar, fundamentalmente, não para aquilo que o aluno já conhece ou faz nem para os comportamentos que já domina, mas para o que não conhece, não realiza ou não domina suficientemente; ou seja, deve ser constantemente exigente

com os alunos e colocá-los diante de situações que os obriguem a envolver-se em um esforço de compreensão e de atuação.

A compreensão de Onrubia (1999) não implica desconsiderar o conhecimento prévio, mas consiste em utilizá-lo em estratégias didáticas para promover a compreensão de novos. Entretanto, os problemas não podem abordar conteúdos totalmente novos, que não tenham relação com o conhecimento estudante, pois isso promoverá a compreensão de conceitos isolados ou uma transformação máxima da estrutura cognitiva, potencializando uma aprendizagem mecânica (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980). Diante disso, os problemas devem possibilitar a compreensão desses conceitos, por um esforço deliberado dos estudantes de relacionar, de forma não arbitrária e não literal, seus conhecimentos com os conteúdos estudados (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2008a).

Complementando essa perspectiva, Mauri (1999, p. 108) relata que o conteúdo deve ser apresentado “[...] em termos funcionais para os alunos, em situações e contextos de solução de problemas próximos à vida cotidiana. Tudo isso faz com que os alunos percebam a utilidade da nova informação e torna mais fácil relacioná-la com o que já conhecem”. Essa compreensão está em consonância com a proposta do MatElettric, o qual utiliza **conhecimentos dos acadêmicos** para promover a aprendizagem de novos conteúdos, por meio de um ensino contextualizado e da resolução de problemas associados à sua formação acadêmica e profissional.

Considerando o contexto desta tese, a gradação dos problemas, citada pelos participantes, tende a diminuir as dificuldades dos acadêmicos nos processos de ensino e de aprendizagem, pois o MatElettric considera e disponibiliza recursos para a aprendizagem ou a ativação de **conhecimentos prévios**, que consiste da segunda fase *Questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos*. Corroborando com essa perspectiva, Echeverría e Pozo (1998, p. 32) afirmam que “[...] a eficiência na solução de problemas depende muito da disponibilidade e da ativação de conhecimentos conceituais adequados”. Desse modo, a organização de problemas não deve somente considerar os conhecimentos dos acadêmicos, mas a organização sequencial e gradativa, conforme propõem Ausubel, Novak e Hanesian (1980, p. 510): “[...] situações nas quais a capacidade de aprender um novo material pressupõe a disponibilidade do material antigo”.

Essa perspectiva é observada nos relatos dos participantes. O MatElettric possibilitou que os acadêmicos, a cada novo problema, utilizassem conceitos do anterior, proporcionando a ampliação do seu conhecimento, em termos de especificidade e de complexidade. Em

virtude disso, considera-se que os problemas serviram como uma ponte cognitiva entre o que o acadêmico sabe e o que precisa saber, conforme é proposto por Pozo e Angón (1998). O MatEletric serviu como ponte cognitiva, abordando circuitos mais simples, fornecendo uma base de conhecimento para os acadêmicos aprimorarem durante a aula. Durante as aulas, observou-se que os acadêmicos não apresentaram dificuldades em analisar circuitos mais simples, análogos aos do MatEletric, sendo solicitado que o professor auxiliasse ou resolvesse circuitos mais complexos, que envolvessem mais componentes elétricos ou que a associação fosse mista.

A Figura 36 mostra um circuito resolvido em aula, no qual o professor mediava o processo, fazendo perguntas e apresentando dicas, auxiliando os acadêmicos no processo de análise. Nesse processo, o professor buscava não disponibilizar informações prontas aos acadêmicos, mas envolvê-los na resolução dos problemas, propiciando a construção de significados. Desse modo, compreende-se que o MatEletric cumpre seu objetivo didático, ao fornecer um base de conhecimento ao acadêmico para que o professor aborde conteúdos mais específicos e mais difíceis na aula. Assim, mostram-se indicativos de que se contemplou o sexto argumento, que relaciona pressupostos teóricos da RP e da TAS: a formalização dos conceitos pelo professor, após a resolução do problema, faz mais sentido, pois o estudante pode analisar e verificar os significados construídos durante a resolução do problema (**consolidação**).

**Figura 36** – Exemplo de circuitos elétrico analisado pelos acadêmicos em aula

The screenshot displays a virtual classroom interface. At the top, it shows 'GRAVANDO' (Recording) and the presenter's name, 'Andréa Cantarelli Morales está apresentando'. The main content area shows a circuit diagram titled 'Circuito Misto' with various resistors and a voltage source. Handwritten calculations for impedances  $Z_1$  and  $Z_2$  are visible, along with the final current value  $2,92 - j106,52 \text{ mA}$ . The interface also includes a list of participants at the bottom and a chat window on the right side.

Fonte: Captura de tela da aula virtual do dia,

Além de servir como ponte cognitiva, a **organização sequencial e gradativa** dos problemas promoveu a **predisposição para aprender**, em termos de desafiar e motivar a interatividade dos acadêmicos com o MatEletric, envolvendo-os ativamente no processo de ensino. Essa perspectiva é compartilhada por Moysés (2000, p. 123), que afirma: “[...] uma vez contextualizada a questão, sua resolução fica mais fácil, um forte apelo motivacional, mas foram, sobretudo, plenas de significado”. O apelo motivacional de Moysés (2000) está associado à **predisposição para aprender** da TAS, pressuposto no qual se compreende que os problemas contextualizados motivaram e promoveram esforços cognitivos dos acadêmicos para compreenderem o conteúdo. Desse modo, mostram-se indicativos de que se contemplou o primeiro argumento, que relaciona pressupostos teóricos da RP e da TAS: o problema desafia e promove a ação cognitiva dos estudantes sobre os conceitos matemáticos – o processo de construção de significados – e sobre as estratégias para solucionar o problema (**predisposição para aprender**).

Os participantes da pesquisa reconhecem que os problemas tornam o ensino menos cansativo e motivaram a interatividade no MatEletric: “os problemas instigaram a resolvê-los e a interagir com o MatEletric” (AQ10F10); “os problemas propostos motivaram a interação no MatEletric, pois os exercícios podiam ser resolvidos e conferidos” (AQ06F12); e “sem dúvida essas foram estratégias [problemas de circuitos elétricos] que tornam o *site* não maçante” (AS14F22). Os relatos dos acadêmicos estão de acordo com Baur (2009), ao considerar que os problemas criaram um ambiente desafiador, despertando o interesse e a curiosidade em resolvê-los. Diante disso, compreende-se que, ao disponibilizar um problema que associe a realidade pessoal ou profissional, promove-se o envolvimento do estudante nos processos de ensino e de aprendizagem, ou seja, um ambiente propício para a construção de significados.

Contudo, o MatEletric não se limita a disponibilizar problemas considerados interessantes pelos acadêmicos, mas organiza didaticamente o processo de resolução, buscando envolver esses alunos, promover a sua ação mental. A organização didática dessa fase do MatEletric segue a seguinte sequência: disponibilização do problema; gabarito; dicas, em forma de perguntas, para o acadêmico rever seu erro; e resolução detalhada (Figura 37).

**Figura 37** – Exemplo de dicas dadas pelo Radice antes da resolução detalhada

# MatEletric

Este espaço tem o objetivo de propiciar um ambiente de aprendizagem para que o estudante construa significados sobre o procedimento de análise de circuitos elétricos em corrente alternada.

**Sumário**

**Dicas**

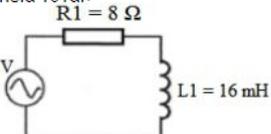
Utilizou a relação da reatância indutiva? Cuidou a unidade de medida do indutor?

A impedância indutiva é representada no eixo positivo ou negativo?

A impedância total é determinada somente pelo indutor? Como fica representada a impedância total graficamente?

Lembra-se das razões trigonométricas para determinar a fase da impedância total?

$E = 100\text{ V}$   
 $60\text{ Hz}$



$R1 = 8\ \Omega$   
 $L1 = 16\text{ mH}$

Impedância:  $Z_T = 8 + 6,03j$  ou  $Z_T = 10,02 | 37^\circ$  [ $\Omega$ ]

Antes de apresentar a resolução, quero lhe dar dicas em forma de perguntas.

Se não conseguiu, [clique aqui](#).



Tela inicial
Mapa web

Fonte: Captura de tela do MatEletric. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/253.html>

Na TAS, a resolução de problemas não envolve os estudantes e promove a aprendizagem significativa por inerência própria, mas pelo planejamento e pelas intervenções do professor, ou, no contexto desta tese, pela organização didática do MatEletric e pelas intervenções do Radice. Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1980, p. 437), a RP pode ser

[...] tão tediosa, tão formalista, tão mecânica, tão passiva e tão rotineira como a pior forma de exposição verbal. Os tipos de resultados de aprendizagem que emergem são, em grande parte, uma função da estrutura, da organização e do espírito das experiências de solução de problemas que são oferecidas.

Essa perspectiva foi constatada nos relatos dos acadêmicos, que ressaltam a importância da organização didática assumida para resolver os problemas propostos. A seguir, apresentam-se alguns relatos que enfatizam essa compreensão: “nos exercícios [problemas] é fundamental os *feedbacks* fornecidos pelo *site* para que o aluno saiba onde está seu erro” (AS13F29); “talvez o mais importante sejam os problemas, porque, caso necessário, tem uma explicação passo a passo da resolução” (AE18F03); “a disponibilidade das resoluções dos problemas é de grande importância” (AS15F24); e “[...] [a dica na resolução dos problemas] que facilita muito na resolução” (AS12F19).

As dicas, os *feedbacks* e as resoluções detalhadas são expressões que ressaltam as diversas opções que o MatEletric disponibilizou para auxiliar os acadêmicos na resolução dos problemas, mas principalmente para compreenderem os conceitos envolvidos. Entre as

opções, destacam-se as dicas e os *feedbacks* porque são estratégias utilizadas para envolver e propiciar a ação mental do acadêmico. Desse modo, compreende-se que o MatElettric orienta os processos de ensino e de aprendizagem por meio de perguntas, dicas e intervenções que auxiliam o acadêmico a construir seus significados do conteúdo.

Soares e Sauer (2004, p. 264) compreendem que “a orientação do professor precisa ser contínua e centrada em perguntas, dicas e intervenções que auxiliem o aluno e concluir suas tarefas, aprender com elas, elaborar suas ideias e percepções próprias.”. No MatElettric, o Radice exerce a função do professor, guiando e orientando os acadêmicos, não os deixando sozinhos no processo de ensino, conforme consta no seguinte relato: “[O MatElettric] fornece uma sensação de acompanhamento, algo difícil de conseguir nestes tempos de pandemia” (AS15F31).

A sensação de acompanhamento reflete a função do Radice, ao orientar e auxiliar na resolução dos problemas, fazendo com que os acadêmicos realizem um esforço cognitivo para relacionar conhecimentos e compreender os conteúdos estudados. Desse modo, o MatElettric segue as orientações de Cury (2004, p. 135): “sabemos, por experiência própria e também por constatações feitas por colegas, que a tentativa de eliminar os erros cometidos pelos alunos com base na simples apresentação da resposta correta é insustentável, pois não é uma ação que parta dos alunos [...]”.

Apesar da resolução detalhada não questionar o acadêmico sobre o conteúdo, proporciona um retorno mais minucioso, principalmente para aqueles que têm mais dificuldades. Outro aspecto a destacar consiste na compreensão dos acadêmicos de que “os problemas resolvidos também são ótimos, pois foi com eles que surgiram as dúvidas” (AS10F10). No processo de resolução de problemas, é comum surgirem dúvidas e ocorrerem erros devido a “[...] falta de atenção na leitura, identificação da situação proposta no enunciado ou de aspectos relevantes e informações que permitem recorrer a modelos que possam solucionar o problema. Cabe ao professor ajudar o estudante a identificar suas dificuldades” (COSTA, 2008, p. 204).

Considerando essa perspectiva, a resolução detalhada dos problemas consiste em uma possibilidade para os acadêmicos identificarem equívocos e erros de compreensão, sendo auxiliados pelo Radice, o qual exerce a função de professor, apresentando dicas e identificando as dificuldades. As dúvidas dos acadêmicos podem ser oriundas da área da Elétrica ou da Matemática; indiferentemente da área, o MatElettric fornece conteúdo, recursos e informações que possibilitam o estudo dos conceitos incompreendidos que estão envolvidos nos problemas.

Caso, a resolução detalhada não seja o suficiente para o acadêmico compreender o conteúdo, ele pode utilizar a ferramenta do fórum de discussões, ou ainda solicitar ajuda do professor, visto que o MatEletric é um recurso que complementa a aula. Assim, há outras situações de utilização do MatEletric em sala de aula, quando os acadêmicos não compreendem a explicação do professor sobre a análise de um circuito elétrico em CA, sendo possível estudar esse conteúdo por meio de um problema similar no MatEletric; ou ainda, utilizar a resolução detalhada como um recurso para autoavaliar a compreensão dos conhecimentos envolvidos no problema.

Com essa perspectiva, contempla-se o quarto argumento, que relaciona pressupostos teóricos da RP e da TAS: o processo de resolução de um problema fornece informações contínuas, aos estudantes e ao professor, que podem ser utilizadas para replanejar a estratégia de resolução ou para verificar o nível de compreensão dos conhecimentos envolvidos no problema (**organização sequencial e consolidação**).

Essas compreensões não foram reconhecidas pelos participantes da pesquisa, mas correspondem a propriedades intrínsecas de OAM: a utilização e reutilização simultâneas em diferentes contextos e respeitando o ritmo de aprendizagem de cada estudante (WILEY, 2000; CARNEIRO; SILVEIRA, 2014; AGUIAR; FLÔRES, 2014). Desse modo, independentemente do modo que os acadêmicos usarem para buscar ajuda para sanar suas dificuldades e compreender o conteúdo, o MatEletric proporciona informações para auxiliar no processo de aprendizagem, ao detalhar o conteúdo e a resolução dos problemas.

Os acadêmicos, ao socializarem conhecimentos e dúvidas, por meio do fórum ou durante a aula com professor, mostram interesse em compreender o conteúdo. Nesse contexto, Soares e Sauer (2004, p. 253) consideram que a socialização de ideias e conhecimentos por acadêmicos de Engenharia proporciona o desenvolvimento de “[...] habilidades, tais como analisar, argumentar com clareza e com base nas teorias estudadas, defendendo seus pontos de vista, expondo e desenvolvendo ideias, lidando com informações e com tecnologia”. Desse modo, além de promover a compreensão de conhecimento, o MatEletric favorece o desenvolvimento de habilidades e competências que são necessárias em um cidadão da atual sociedade ou para o mercado de trabalho (SOARES; SAUER, 2004; VASCONCELLOS, 2008; PAULA; HARRES, 2016).

Considerando esses pressupostos, a organização didática da resolução dos problemas tem o objetivo de envolver os acadêmicos no processo de resolução, não se limitando a disponibilizar o gabarito e a resolução detalhada. As dicas buscam promover a ação mental do acadêmico, fazendo repensar sobre os conteúdos envolvidos ou a estratégia de resolução

adotada. Essa perspectiva é identificada em um relato: “e durante todos os exemplos e exercícios [problemas] ele [MatEletric] solicita operações mentais apropriadas dos estudantes, nem exigindo muito ou pouco” (AQ09F76-77).

O acadêmico reconhece que os problemas estão adequados ao seu conhecimento. Possivelmente, isso se deve ao processo de resolução e à **organização sequencial e gradativa** dos conteúdos, permitindo a realização de esforços mentais para compreender os conceitos estudados. Em acordo com esse pensamento, Solé (1999, p. 51-52) relata que o estudante “[...] precisa sentir-se razoavelmente capaz, com recursos, para realizar esse esforço; outra coisa diferente é que os recursos mencionados aludem à atuação ou à atuação compartilhada, que se traduzam em ajudas quantitativa e qualitativamente distintas”. Considerando o contexto desta tese, as ajudas são disponibilizadas pelo MatEletric ou por meio da interação com o professor durante as aulas.

Além de Solé (1999), Polya (1985) considera que os problemas devem promover um esforço cognitivo, abordando um conteúdo interessante e atraente para o estudante. No contexto desta tese, contempla-se essa perspectiva, sendo que os problemas estão relacionados à formação profissional do acadêmico. Além disso, o esforço cognitivo solicitado não é exagerado e nem causa cansaço, visto que os acadêmicos se sentiram capazes de resolver os problemas, devido às informações e conteúdos disponibilizados e, também, pelo processo de resolução dos problemas, por meio de dicas e da resolução detalhada. Essa organização didática do MatEletric promoveu o esforço cognitivo e a ação mental de acadêmicos, auxiliando na compreensão dos conceitos.

Apesar de um acadêmico solicitar a inclusão de um passo a passo para analisar cada circuito – “a inclusão de alguns exemplos de cálculos passo a passo facilitaria o aprendizado e a resolução dos problemas seguintes” (AS06F31) –, tem-se a convicção de que a didática utilizada potencializa a aprendizagem significativa. Os problemas sendo resolvidos num passo a passo limita a ação do acadêmico, fornecendo um único caminho, no qual se aprende um roteiro de análise para cada tipo de circuito (série ou paralelo).

O acadêmico tendo acesso somente a roteiros para analisar circuitos torna-se passivo no processo de aprendizagem, não assumindo o interesse e o desafio em resolver o problema. Considerando isso, possivelmente, o problema passará a ser um mero exercício, pois será uma atividade informativa e repetitiva, “[...] na qual o aluno não precise tomar nenhuma decisão sobre os procedimentos que deve usar para chegar à solução” (ECHEVERRÍA, 1998, p. 48). Nesse processo, potencializa-se a memorização de algoritmos, proporcionando uma aprendizagem mecânica, a qual pode se tornar significativa, caso o acadêmico esteja

predisposto a estabelecer relações não arbitrárias e não literais entre os conhecimentos envolvidos.

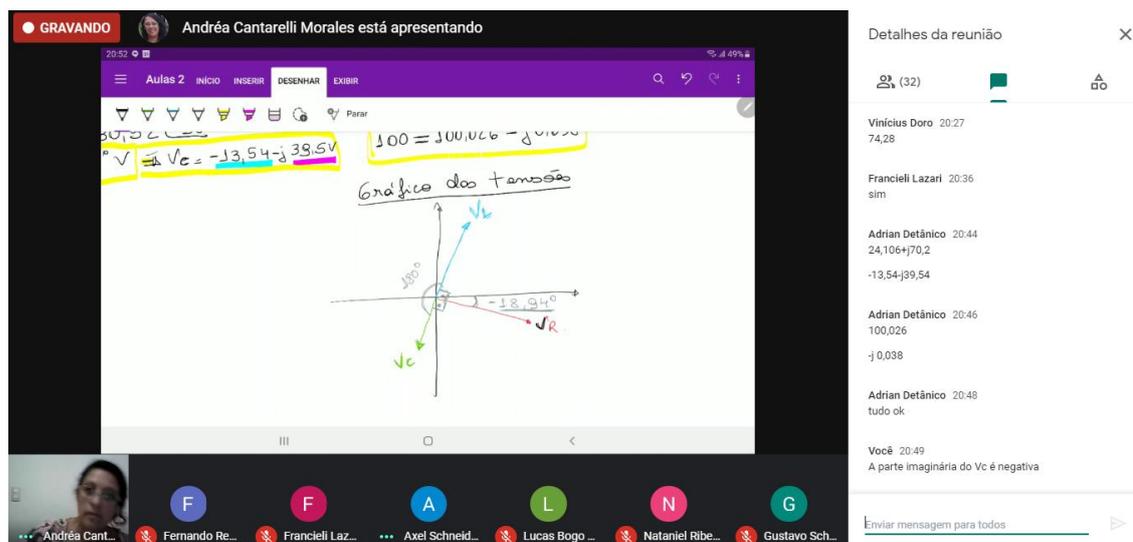
As resoluções detalhadas dos problemas, após as dicas, baseiam-se em uma concepção didática diferente da proposta no fragmento AS06F31, motivando a interatividade com o MatELetric e fornecendo informações para que os acadêmicos não deixem de estudar e compreender os conteúdos. Sendo assim, ainda se busca promover a ação mental e a compreensão dos conteúdos, permitindo que os acadêmicos consigam resolver os problemas subsequentes, do MatELetric ou da aula, com mais facilidade e de forma mais autônoma. A perspectiva de que o processo de resolução de problemas instiga o envolvimento e a participação das aulas foi constatada no seguinte relato: “motiva o aluno a querer aprender” (AQ13F27).

Complementando essa perspectiva, durante as aulas virtuais observadas, os acadêmicos geralmente eram pouco participativos das aulas e não ligavam suas câmeras. Entretanto, na aula cujo conteúdo estava voltado à análise de circuitos elétricos em CA, após a interatividade com o MatELetric, constatou-se uma participação maior dos acadêmicos. Nessa aula, o professor disponibilizou um circuito para análise, e os acadêmicos faziam as operações e apresentavam os resultados, que, geralmente, estavam corretos. Além disso, os acadêmicos faziam questionamentos sobre o procedimento de análise do circuito, buscando compreender os conceitos envolvidos.

A maior participação dos acadêmicos é um indicativo da **predisposição para aprender**, seja pela disposição cognitiva para compreender o conteúdo ou pelo interesse e o nível de atenção empregado no estudo com o MatELetric e na aula virtual. Além disso, o maior envolvimento e participação dos acadêmicos na fase resolução problemas é um indicativo de que se contemplou o quinto argumento, que relaciona pressupostos teóricos da RP e da TAS: essa estratégia didática promove o protagonismo do estudante, evitando um ensino meramente transmissivo, e apresenta indícios da compreensão dos conhecimentos (**a aprendizagem é mais significativa do que mecânica**).

A Figura 38 destaca o envolvimento dos acadêmicos pelo bate-papo do Google Meet, apresentando os valores calculados referentes aos componentes elétricos dos circuitos elétricos, sendo que alguns acadêmicos também apresentavam os valores oralmente. Esse fato reforça a percepção de que o MatELetric auxiliou na compreensão do conteúdo de números complexos, pois houve poucos questionamentos dos acadêmicos, sendo esse um conhecimento necessário para analisar os circuitos elétricos em CA.

**Figura 38** – Acadêmicos apresentando respostas ao exercício proposto pelo professor



Fonte: Captura de tela da aula virtual do dia.

Os questionamentos que surgiram na aula eram referentes ao processo de análise de circuitos elétricos em CA e à aplicabilidade desse conhecimento na vida real. Uma dúvida apresentada pelos acadêmicos consistia em saber por que se aplica esse conhecimento a uma rede elétrica. Em virtude da dúvida, o professor explicou que a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) define que o fator de potência, para clientes de alta tensão, não deve ser inferior a 0,92, isso implica que o ângulo de fase da potência aparente não pode ser superior a  $23,07^\circ$ , ou seja, a diferença da potência ativa pela reativa não pode gerar um ângulo de fase superior a  $23,07^\circ$ .

Quanto maior o ângulo de fase da potência aparente, menor será o fator de potência, proporcionando um sistema elétrico que produz energia “suja” e com distorções harmônicas na rede de energia, causando, respectivamente, queda na tensão e um maior consumo de energia elétrica. Caso o sistema elétrico não esteja em consonância com a norma da ANEEL, isso pode acarretar uma multa para os clientes de alta tensão. Essa explicação, dada pelo professor, foi incorporada ao MatElettric (Figura 39), pois foi uma dúvida apresentada pelos acadêmicos e que tem potencial para impactar no princípio da predisposição para apreender da TAS, já que está associada a um conteúdo de circuitos elétricos em CA (fator de potência) com uma situação real (normas da ANEEL para cliente de alta tensão).

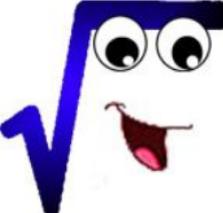
**Figura 39** – Tela acrescentado após a aplicação do MatElettric aos acadêmicos

# MatEletric

Este espaço tem o objetivo de propiciar um ambiente de aprendizagem para que o estudante construa significados sobre o procedimento de análise de circuitos elétricos em corrente alternada.

Sumário

Você pode estar se perguntando, porque analisar cada componente elétrico? Qual a utilidade disso em uma empresa? Ao lado explico isso para você!



Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) define que o Fator de Potência (FP), para clientes de alta tensão, não deve ser inferior a 0,92. Para saber mais sobre FP, [clique aqui](#).



Vídeo do Canal do YouTube Me Salva!  
Disponível em: [https://youtu.be/MaibAF\\_tADE](https://youtu.be/MaibAF_tADE)

Observação: considerando as normas da ANEEL, o FP inferior a 0,92 implica em uma potência aparente com ângulo de fase superior a 23,07°.

←
→

Tela inicial
Mapa web

Fonte: Captura de tela do MatEletric. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/300.html>

A abordagem dos problemas associando o conteúdo a situações reais, ou que se referem à área de formação ou profissional do acadêmico, potencializa a construção de significados. Anastasiou e Alves (2006, p. 86) consideram que os problemas potencializam o “[...] processo de construção do conhecimento quando estimula[m] ou amplia[m] a significação dos elementos apreendidos em relação à realidade ou área profissional”. A organização didática do MatEletric junto com os problemas contemplam um ensino contextualizado, porém, a explicação do professor, relacionada com o conteúdo com a rede elétrica de uma empresa e com as normas da ANEEL, reforça essa relação entre conteúdo e sua aplicabilidade na vida profissional do acadêmico.

Portanto, os problemas que envolvem circuitos elétricos proporcionaram o estabelecimento de **relações entre os conteúdos das fases anteriores**, permitindo que os acadêmicos construíssem significados, utilizando seus conhecimentos e envolvendo-se ativamente no processo de resolução do problema. Na análise referente aos resultados dessa fase, *Problemas para analisar circuitos elétricos em CA*, observa-se que a organização didática dos problemas motivaram os acadêmicos a resolvê-los, fornecendo uma base de conhecimento para ser aperfeiçoada pelo professor durante a aula.

A base de conhecimento foi construída devido à organização didática do MatEletric, considerando os pressupostos teóricos da TAS e da RP, a qual propiciou que os acadêmicos

considerassem o conteúdo de fácil entendimento, chegando a surpreender positivamente os acadêmicos: “com relação à plataforma confesso que eu me surpreendi bastante, com objeto de aprendizagem” (AE03F01). O sentimento de surpresa deve-se pela capacidade do MatElettric de otimizar o tempo de aula do professor, de acompanhar e propiciar recursos para o estudo e a compreensão de conhecimentos considerados básicos e de envolver os acadêmicos nos processos de ensino e de aprendizagem. Isso pode ser verificado nos seguintes relatos: “porque quando chegou na hora de ter aula eu praticamente sabia vários [conceitos], praticamente dominava o assunto já” (AE10F31), e “[...] isso motiva o usuário que quer pelo menos aprender o básico, sem que seja um processo moroso e/ou burocrático” (AS08F17-19).

Nesses relatos, compreende-se que o MatElettric não é uma simples atividade obrigatória na disciplina, mas um material didático com potencial para envolver os acadêmicos nos processos de ensino e de aprendizagem, por meio de um ambiente interativo, de navegação intuitiva e de fácil compreensão. O acadêmicos relatam que a organização didática do MatElettric poderia ser adaptada ou aplicada para outras disciplinas: “aulas de Cálculo e Física também poderiam ser facilmente adequadas ao MatElettric” (AS11F19).

Essa perspectiva reforça a compreensão de que os acadêmicos apresentam lacunas de aprendizagem de conteúdos considerados base e buscam recursos digitais para auxiliá-los, principalmente nas disciplinas de Cálculo e de Física. A incompreensão de conceitos básicos de Matemática não ocorre somente para os números complexos, sendo um problema recorrente nas disciplinas de Engenharia e um dos principais fatores para as altas taxas de evasão (VELOSO; ALMEIDA, 2002; BOERO, 2006; CURY, 2002, 2007; FERLIN; TOZZI, 2007; LIMA; SAUER; SOARES, 2007; ALMEIDA; GODOY, 2016; ALMEIDA, 2016; LINHARES, 2017).

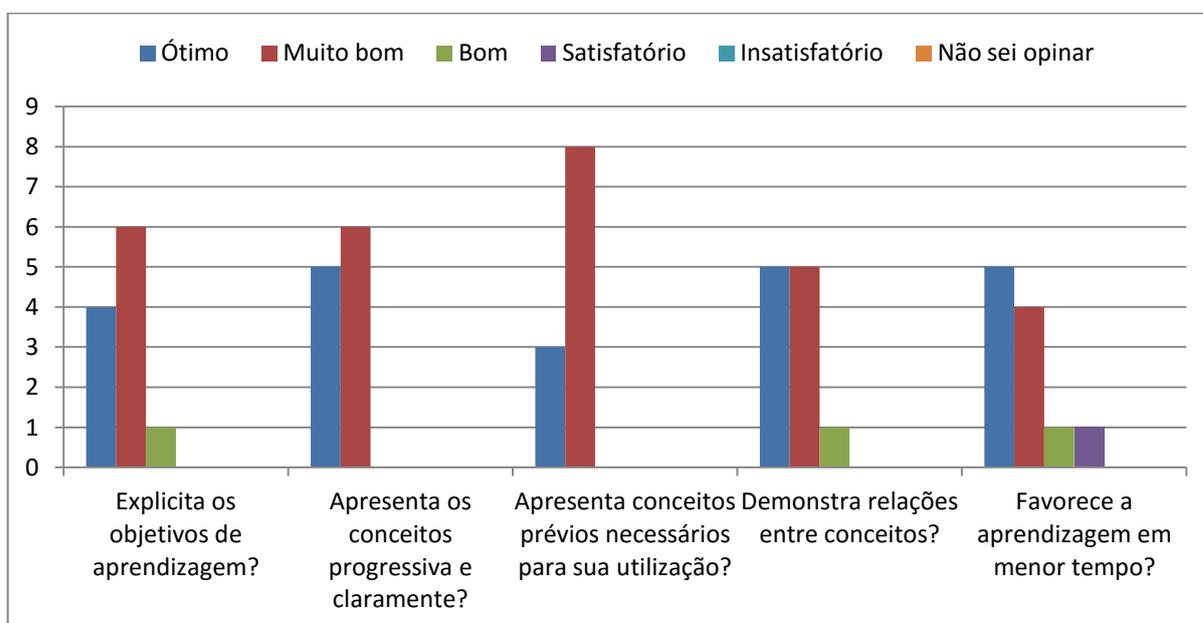
Contudo, a organização didática chamou a atenção do acadêmico, que sugeriu que ela fosse considerada no planejamento de OAM para sanar lacunas de aprendizagem, promovendo o ensino de outros conteúdos considerados básicos para o curso de Engenharia. Reforçando essa perspectiva, um acadêmico relatou que “por diversas vezes no curso, enfrentei dificuldades em ter um conteúdo de fácil entendimento” (AS11F20). Em virtude das lacunas de aprendizagem e das potencialidades do MatElettric, ressalta-se novamente a recomendação da organização didática para o ensino de outros conteúdos:

seria interessante replicar ele para outras disciplinas, eu acho que vai ficar bem legal mesmo. Eu tinha pensado em outras disciplinas mesmo, não disciplinas que envolvam os números complexos, mas outras, por exemplo, numa Física ou no

Cálculo, enfim replicar para outras disciplinas acho que é bem interessante (AE03F23).

Os acadêmicos geralmente buscam compreender esses conceitos utilizando a *web*, sendo que há diversos recursos disponíveis, destinados a diferentes níveis de ensino e que foram elaborados sem um embasamento teórico como a TAS. Desse modo, os acadêmicos, ao indicar o MatElettric, compreendem que o recurso promoveu um ensino efetivo, com objetivos e didática definidos e claros para os usuários. Além disso, os participantes da pesquisa, os acadêmicos e o professor, consideram que o MatElettric apresenta uma ótima efetividade, sendo um dos critérios mais bem avaliados e que ressaltam a sua capacidade didática, conforme consta na Figura 40.

**Figura 40** – Gráfico que sintetiza a avaliação da efetividade do MatElettric



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir dos dados construídos no instrumento de avaliação de OA.

O pesquisador surpreendeu-se positivamente com esse fato, considerado como indicativo relevante para defender a tese de que os objetos de aprendizagem podem colaborar significativamente no processo de ensino de conteúdos, se o material didático desenvolvido seguir as orientações de pressupostos da TAS de forma integrada à estratégia da RP. A organização didática e dos conteúdos possivelmente não foram os únicos fatores que motivaram a recomendação do MatElettric como um material didático e digital para as aulas. O MatElettric potencializa um ensino individualizado e personalizado, sendo que essas

características são apresentadas a seguir, no metatexto referente à categoria *Ensino individualizado e autoavaliação do conhecimento*.

### 6.1.1 Compreensões sintéticas da categoria

Para finalizar esse metatexto, retomam-se os pressupostos teóricos contemplados, na perspectiva dos participantes, em relação a cada recurso que compõe a organização didática e de conteúdo do MatElettric. O Quadro 9 apresenta as compreensões que emergiram na análise dos dados construídos pelos participantes da pesquisa, os quais recomendaram a utilização do MatElettric como material didático e digital, em aulas presenciais e virtuais, para o ensino de circuitos elétricos em CA.

**Quadro 9** – Pressupostos teóricos constatados nos relatos dos participantes da pesquisa

<b>Fase do MatElettric</b>	<b>Compreensão do pesquisador</b>	<b>Pressuposto teórico</b>
Introdução sobre circuitos elétricos em CA	O MatElettric apresenta os conteúdos de forma contextualizada, mostrando a importância desse conhecimento na sua formação profissional e a sua aplicação na vida real. O MatElettric utiliza diferentes recursos para o ensinar os conteúdos. O Radice exerce a função de um professor, guiando e buscando interagir com o acadêmico para tornar o MatElettric um ambiente agradável para estudar o conteúdo.	Predisposição para aprender
	O MatElettric proporciona uma base de conhecimento para o acadêmico compreender conceitos mais específicos e a análise de circuitos elétricos em CA.	Conhecimento prévio
	O MatElettric disponibiliza os conteúdos numa sequência lógica, abordando os conceitos de forma gradativa	Organização sequencial
	O MatElettric utiliza texto para introduzir o conteúdo, mas também usa imagem, simulação e vídeo para abordar conceitos específicos.	Diferenciação progressiva e reconciliação integradora
	O MatElettric relaciona os conhecimentos de circuitos elétricos em CC com o conteúdo de CA. Os números complexos são ensinados de	Interação de conhecimentos

	forma contextualizada, mostrando a sua aplicação na área da Elétrica.	
Questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos	Os <i>feedbacks</i> dos questionários fornecem recursos para estudar conteúdos considerados base, evitando uma carga cognitiva em excesso do acadêmico para compreender os circuitos elétricos em CA.	Predisposição para aprender
	Os <i>feedbacks</i> dos questionários são oferecidos no acerto e no erro, sendo que no erro se explicam e disponibilizam outros recursos para estudar o conteúdo.	Conhecimento prévio
	As dicas dos questionários buscam relacionar as operações de números complexos com conhecimentos matemáticos dos acadêmicos.	Organizadores prévios
	O MatELetric disponibiliza questionários para o acadêmico verificar a sua compreensão sobre conteúdos considerados base.	Interação de conhecimentos
	Os <i>feedbacks</i> dos questionários são oferecidos no acerto e no erro, sendo que no acerto reforça-se a compreensão do acadêmico sobre o conteúdo.	Consolidação do conhecimento
Problemas para analisar circuitos elétricos em CA	O MatELetric disponibiliza problemas que envolvem a análise de circuitos elétricos em CA, desafiando e envolvendo o acadêmico nos processos de ensino e de aprendizagem. A parta gráfica simples, com cores padronizadas, e fácil navegação pelas fases do MatELetric permitem que a atenção do acadêmico esteja voltada para compreender os conteúdos estudados.	Predisposição para aprender
	Os problemas sobre análise de circuitos elétricos em CA fornecem um conhecimento considerado básico, permitindo que o professor aborde situações mais complexas na aula.	Conhecimento prévio
	Os problemas são apresentados de forma gradativa em termos de dificuldade.	Organização sequencial
	A sequência de problemas diferencia conceitos e procedimentos, como os componentes elétricos e o tipo de associação no circuito, o que proporciona a compreensão de similares e de diferentes na análise de circuitos elétricos em CA.	Diferenciação progressiva e reconciliação integradora

	A organização didática da resolução dos problemas, apresentando dicas antes da resolução detalhada, busca promover a ação mental do acadêmico.	Interação de conhecimentos
	A resolução detalhada do problema proporciona a verificação da resposta e permite que o acadêmico reforce a compreensão dos conteúdos envolvidos.	Consolidação do conhecimento

Fonte: Elaborado pelo autor.

A essência dessa categoria reflete a compreensão dos participantes sobre a organização didática do MatElettric, que é composta por três fases complementares: 1) introdução de conceitos de circuitos elétricos em CA; 2) questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos; e 3) problemas para analisar circuitos elétricos em CA. Essa organização didática, considerando os pressupostos teóricos da TAS e da RP, está em consonância com a estratégia didática da sala de aula invertida, sendo assim, o MatElettric consiste em um material didático e digital para introduzir e promover o estudo de circuitos elétricos em CA e que potencializa a construção de significados pelos acadêmicos.

Na primeira fase, *Introdução de conceitos de circuitos elétricos em CA*, atingiu-se o objetivo de envolver os acadêmicos nos processos de ensino e de aprendizagem, por meio da contextualização do conteúdo, que é compreendida como um fator motivacional e didático no MatElettric.

O fator motivacional está associado à capacidade do MatElettric em mostrar a relevância e a importância dos conteúdos estudados na formação profissional do acadêmico, propiciando uma **predisposição para aprender**. Nessa fase, os acadêmicos expressam o interesse pelo conteúdo, mostrando-se predispostos a realizar um **esforço cognitivo** para **estabelecer relações, não arbitrárias e não literais**, do conhecimento presente na estrutura cognitiva com os conceitos e operações estudadas no MatElettric.

Em relação ao fator didático, o MatElettric busca promover **a ação cognitiva**, a modificação da estrutura cognitiva, ampliando e incorporando compreensões por meio da interação de conhecimentos, como, por exemplo: os conhecimentos de circuitos elétricos em CC, de operações com polinômios e de trigonometria com, respectivamente, os conteúdos de CA, as operações e as diferentes representações de números complexos. A mudança na estrutura cognitiva é potencializada pela **organização sequencial e gradativa dos conteúdos**, sendo que os conceitos gerais são apresentados em forma de texto para, posteriormente, serem

detalhados e abordar conceitos mais específicos em forma de vídeos, facilitando assim o processo de aprendizagem.

Entretanto, os recursos e os conteúdos do MatEletric podem ser acessados de forma independente e livre, permitindo que se estude também os conceitos específicos antes dos gerais, ou seja, os acadêmicos podem acessar os conteúdos conforme o seu interesse, o seu conhecimento, a sua necessidade e o seu ritmo de aprendizagem. Desse modo, o MatEletric potencializa o desenvolvimento dos processos de **diferenciação progressiva e reconciliação integradora**, nos quais os acadêmicos vão diferenciando e, de forma simultânea, unificando conhecimentos semelhantes ou complementares. Esse processo promove um **descer e subir na estrutura cognitiva**, pois os acadêmicos vão construindo e reconstruindo significados, seja ao compreender conceitos gerais para os específicos ou dos específicos para os gerais.

A construção de significados está associada ao processo de **interação dos conhecimentos prévios com o conteúdo estudado**, estabelecendo relações não arbitrárias e não literais. Desse modo, o significado construído não fica solto, de forma instável, na estrutura cognitiva, mas a amplia em termos de quantidade e qualidade. Para isso, o MatEletric disponibiliza **organizadores prévios**, os quais fornecem informações e recursos para estudar e compreender os conhecimentos considerados base, sendo esse o objetivo a ser contemplado na segunda fase, *Questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos*.

Os organizadores prévios foram considerados importantes para o processo de aprendizagem de circuitos elétricos em CA, pois forneceram uma **base de conhecimento** para estudar o conteúdo da disciplina. A base de conhecimento foi construída por meio das dicas inseridas nos organizadores prévios, as quais relacionam o conteúdo estudado com um possível conhecimento do acadêmico, buscando assim promover a **diferenciação progressiva e a reconciliação integradora**.

Além das dicas, os *feedbacks* foram outra característica ressaltada pelos acadêmicos, sendo um dos principais fatores para considerar o MatEletric um material didático e digital para complementar a aula do professor. Os *feedbacks* tinham a dupla função: ao errar, identificá-lo e disponibilizar recursos para que os acadêmicos compreendam o que originou o erro; ao acertar, confirmar a compreensão do conteúdo da questão. Desse modo, os **organizadores prévios** preenchem lacunas de aprendizagem dos acadêmicos, mas também, ativam os conhecimentos necessários para o estudo do conteúdo.

Como última fase, para unificar os conhecimentos e os conteúdos envolvidos anteriormente, disponibilizam-se uma sequência de problemas. Esses problemas têm o objetivo, novamente, de desafiar e de envolver os acadêmicos no processo de aprendizagem,

propiciando um ambiente que instigue a **predisposição para aprender**. Os problemas seguem uma **organização sequencial e gradativa**, sendo que os conceitos envolvidos no primeiro problema são necessários para resolver o segundo e assim sucessivamente. Desse modo, a cada novo problema, integra-se um novo conceito, diferenciando do anterior, impactando em conhecimentos e procedimentos diferentes para resolvê-lo, promovendo assim a **diferenciação progressiva e a reconciliação integradora**.

Contudo, para os acadêmicos realizarem os processos de diferenciação progressiva e a reconciliação integradora, faz-se necessário resolver o problema. O professor, como mediador do processo de ensino, pode auxiliar o acadêmico, mas o próprio MatElettric traz o Radice que exerce essa função, orientando, apresentando dicas, fazendo questionamentos e resolvendo detalhadamente o problema. O Radice tornou o MatElettric um recurso digital mais agradável, que utiliza uma linguagem informal e busca acompanhar os acadêmicos nos processos de ensino e de aprendizagem, estimulando a **predisposição para aprender**.

No processo de resolução de problemas, o Radice busca promover a **ação mental** dos acadêmicos, apresentando dicas ou fazendo questionamentos antes de mostrar a resolução detalhada. Diante disso, compreende-se que o MatElettric disponibiliza um conteúdo de qualidade e que sua organização didática potencializa a construção de significados pelos acadêmicos.

Contudo, ressalta-se que o MatElettric é um material didático e digital para complementar a aula, utilizado principalmente para introduzir o conteúdo de circuitos elétricos em CA, sendo assim, o professor tem papel fundamental nos processos de ensino e de aprendizagem. Além disso, para sanar as dificuldades dos acadêmicos, sejam de compreensão de conteúdo ou de interatividade com o MatElettric, o professor precisa planejar estratégias didáticas, em consonância com os pressupostos teóricos da TAS e da RP, que abordem conceitos mais complexos e específicos, promovendo o protagonismo dos acadêmicos. Cabe ao professor escolher a estratégia didática que melhor lhe atende, tendo como exemplos um debate ou a criação de um fórum virtual para sanar dúvidas dos acadêmicos e o método *Peer Instruction*<sup>69</sup>, ou ainda a utilização de outros recursos digitais, como o Kahoot!, com exercícios e problemas de circuitos elétricos em CA.

---

<sup>69</sup> Este método vem sendo empregado com sucesso, em âmbito internacional: é uma estratégia de aprendizagem que privilegia a interação e o compartilhamento de conhecimentos entre os estudantes e o professor; o Peer Instruction dinamiza a sala de aula e tem alcançado resultados positivos, tanto na aprendizagem conceitual, de conteúdos científicos, quanto no desenvolvimento de habilidades cognitivas e sociais (ARAÚJO; MAZUR, 2013).

Esses argumentos reforçam a utilidade do MatEletric como um material didático e digital para complementar a aula do professor, que proporcionou indicativos de que sua organização didática auxiliou o professor e os acadêmicos no estudo de circuitos elétricos em CA, permitindo que o considerassem um material potencialmente significativo, ou seja, um OAM potencialmente significativo. Por fim, compreende-se que a organização didática planejada – considerando os pressupostos da TAS, da RP e as três fases propostas – servem como base para a construção de OAM potencialmente significativo para acadêmicos de Engenharia, auxiliado na introdução de outros conteúdos, por meio de ensino contextualizado e individualizado, disponibilizando diferentes recursos para estudar conceitos considerados base e o próprio o conteúdo da disciplina.

## 6.2 ENSINO INDIVIDUALIZADO E AUTOAVALIAÇÃO DO CONHECIMENTO

A categoria *Ensino individualizado e autoavaliação do conhecimento* apresenta outros argumentos para defender a tese de que os objetos de aprendizagem, como é o caso do MatEletric, podem colaborar significativamente no processo de ensino de conteúdos, se o material didático desenvolvido seguir as orientações de pressupostos da TAS de forma integrada à estratégia da RP. Essa categoria tem o seguinte argumento aglutinador: o MatEletric propicia um ensino individualizado, sugerindo atividades, conforme o conhecimento do acadêmico, mas permite também o acesso livre e independente aos diferentes recursos para estudar os conteúdos, além de propiciar autoavaliações das aprendizagens desenvolvidas.

Na década de 1980, quando foi lançado o livro *Psicologia Educacional* (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980), os recursos tecnológicos não integravam o ensino individualizado associado à aprendizagem significativa. Contudo, a partir de 2000, o avanço tecnológico, principalmente com o desenvolvimento da *World Wide Web*, transformou e vem transformando a sociedade, em termos sociais, econômicos, culturais e educacionais (SÁ FILHO; MACHADO, 2003; KENSKI, 2006; SANTAROSA, 2010; TAJRA, 2012).

Em relação à educação, observou-se a disponibilização de um grande número de recursos digitais para auxiliar na individualização do ensino e na compreensão de conteúdos por parte dos estudantes. Nesse contexto, torna-se possível atender a uma das características do ensino individualizado, segundo a TAS, que consiste em utilizar recursos tecnológicos para dar acesso a conteúdos e proporcionar seu estudo, buscando promover uma aprendizagem significativa (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981).

Entre os recursos tecnológicos com potencial para promover um ensino individualizado, têm-se os OAM, como é o caso do MatEletric. Os OAM têm o objetivo de mediar e facilitar o processo de construção de significados, de forma independente ou combinada com outros recursos, além de consolidar os conhecimentos na estrutura cognitiva (SÁ FILHO; MACHADO, 2003; WILEY, 2000).

O planejamento de OAM para promover um ensino individualizado não é uma tarefa simples, pois o conteúdo precisa ser adequado para diferentes estudantes, considerando conhecimentos e interesses pessoais e profissionais. No caso desta tese, os participantes reconhecem que o MatEletric disponibiliza o conteúdo **conforme o nível de escolaridade**, considerando o **conhecimento prévio** e sendo acessível, ao menos, para três grupos de estudantes: “os conteúdos contemplando vários níveis: universitários, colegial, vestibular” (AQ06F31-33); “o desenvolvimento dos conteúdos permite ser utilizado em outros contextos educacionais, como em escolas” (AQ09F38); “[o MatEletric ajuda] inclusive o estudante iniciante no curso de Engenharia a estudar” (PQ01F41); e “a qualidade do conteúdo para o nível de universidade está ok” (AE15F32).

Nesses relatos, observa-se a possibilidade de utilizar o MatEletric, principalmente no Ensino Médio e no Ensino Superior, para acadêmicos de Engenharia. A indicação para esses **níveis de escolaridade** está associada às fases disjuntivas do MatEletric, as quais foram elaboradas com diferentes objetivos didáticos, contemplando os pressupostos teóricos da TAS. Essa perspectiva é coerente com as ideias de Canto Filho e Lima (2014, p. 37), ao considerar que os objetivos didáticos são definidos para um grupo de estudantes que apresentam “[...] algumas características comuns, apesar de cada indivíduo ser único na sua forma de ser e de aprender”.

O MatEletric foi construído considerando os pressupostos teóricos da TAS e da RP, para atender professores e acadêmicos de Engenharia a, respectivamente, ensinar e aprender conteúdos relacionados à análise de circuitos elétricos em CA. Considerando esse contexto, entende-se que o MatEletric, na íntegra, é indicado para acadêmicos de Engenharia ou estudantes de Ensino Médio Técnico em Eletrotécnica e Eletrônica que tenham uma base de conhecimento de circuitos elétricos em CC para aprenderem sobre CA.

A indicação para estudantes de Ensino Médio Técnico justifica-se, como foi constatado em pesquisas (MELLO; SANTOS, 2005; REIS, 2009; ABEGG; RAMOS, 2013; PINTO, 2015; PINTO; LAUDARES, 2016; SILVA, 2016), por meio dos mapeamentos teóricos (PUHL; MÜLLER, 2017; PUHL; MÜLLER; LARA, 2020), que utilizam recursos digitais para promover a aprendizagem de números complexos e de conceitos de circuitos

elétricos em CA. Contudo, o MatElettric se difere dos recursos dessas pesquisas em virtude da sua organização didática, considerando a TAS e a RP, e da liberdade de escolha dos acadêmicos para interagir com diferentes materiais, proporcionando a autonomia na construção de significados, por meio de estímulos verbais e não verbais.

Desse modo, considera-se que o MatElettric potencializa o desenvolvimento de aprendizagens, em um ensino individualizado, para os estudantes do Ensino Médio Técnico em Eletrotécnica e Eletrônica e para acadêmicos dos cursos de Engenharias. Essa perspectiva de adequação do conteúdo a **diferentes níveis de escolaridade** está coerente com as ideias de Ausubel, Novak e Hanesian (1980), ao considerarem que o ensino individualizado prima por disponibilizar conteúdos adequados ao nível de conhecimento do estudante, desafiando-o e motivando-o a construir significados de forma autônoma, original e crítica, respeitando os ritmos de aprendizagem, além estimular o desejo e a capacidade para aprenderem por si mesmos (**predisposição para aprender**).

Entretanto, para o Ensino Médio, considera-se que os estudantes apresentarão dificuldades em compreender o conteúdo de circuitos elétricos em CA, pois, possivelmente, não disponibilizarão de conhecimentos prévios para interagir com conceitos específicos. Na Educação Básica, segundo a BNCC, o estudo de circuitos elétricos está previsto no 8º ano do Ensino Fundamental, tendo como objetivo desenvolver a habilidade de “construir circuitos elétricos com pilha/bateria, fios e lâmpada ou outros dispositivos e compará-los a circuitos elétricos residenciais” (BRASIL, 2018, p. 349).

O estudante, desenvolvendo essa habilidade, compreende conceitos básicos de circuitos elétricos, porém, pode não ser suficiente para resolver problemas e construir significados sobre circuitos elétricos em CA, como são os propostos no MatElettric. A construção de significados pode ficar comprometida em virtude de lacunas de aprendizagem de conceitos da Elétrica, como também da Matemática, visto que o ensino de números complexos também não está previsto na BNCC. Diante disso, compreende-se que o MatElettric poderá potencializar uma aprendizagem mecânica para os estudantes do Ensino Médio, dificultando o estabelecimento de relações não arbitrárias e não literais, entre o conhecimento prévio e o conteúdo a ser estudado.

Nessa perspectiva, Barros (1996, p. 46) argumenta que “o hiato entre o velho e novo não pode ser muito grande”. O conteúdo proposto pelo material didático não deve ser distante do conhecimento do estudante, pois assim dificulta-se a interação, o estabelecimento de relações não arbitrárias e substantivas, promovendo uma aprendizagem de caráter mecânico,

na qual o indivíduo torna-se passivo, devido à falta de esquemas para a construção de significados (BECKER, 1993; MOREIRA, 2011b; LEFRANÇOIS, 2016).

Contudo, os OAM consistem em “[...] recursos autônomos, que podem ser utilizados como módulos de um determinado conteúdo ou como um conteúdo completo. São destinados a situações de aprendizagem tanto na modalidade a distância quanto semipresencial ou presencial” (BEHAR; MACEDO; SOUZA; BERNARDI, 2009, p. 67). Desse modo, considera-se possível utilizar o MatElettric no Ensino Médio. Cada fase do MatElettric pode ser compreendida como um módulo, tendo objetivos didáticos estabelecidos que contemplam diferentes níveis de escolaridade. Apesar de os objetivos didáticos não estarem explícitos no MatElettric, um acadêmico reconhece a importância de cada fase no estudo e na compreensão dos conteúdos, conforme revela o seguinte relato: “o recurso se divide em seções que possuem diferentes objetivos” (AS15F19).

O acesso às fases do MatElettric, de forma **sequencial ou independente**, está relacionado ao critério de acessibilidade, o qual já foi abordado na *Organização didática e dos conteúdos*, porém, na presente categoria, é utilizado como uma possibilidade para individualizar o ensino, apresentando diferentes opções de conteúdo e recursos adequados ao nível de escolaridade. Além disso, no fragmento AS15F19, o acadêmico indica que o MatElettric está dividido em etapas, sendo que cada uma tem um objetivo didático específico. Segundo Moran (2002, p. 23), “aprendemos mais facilmente quando percebemos o objetivo, a utilidade de algo, quando nos traz vantagens perceptíveis”.

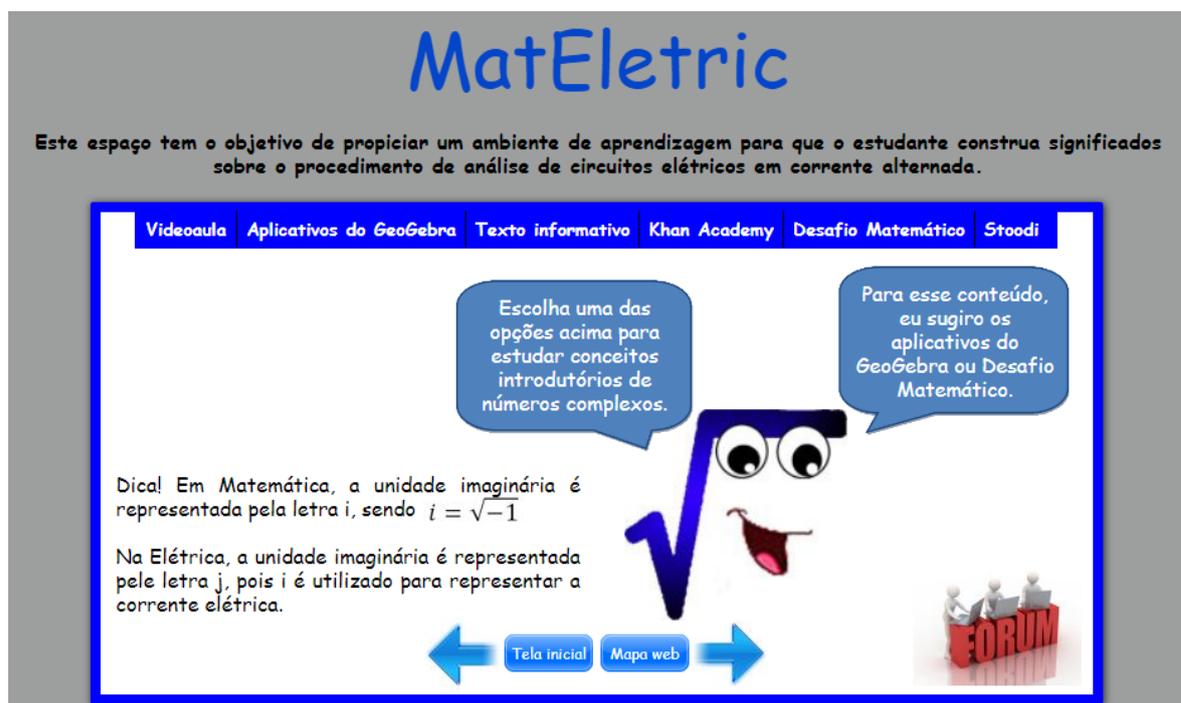
Diante dos relatos dos participantes, compreende-se que o MatElettric pode ser utilizado em outros níveis de escolaridade, não somente por acadêmicos de Engenharia, para qualificar os processos de ensino e de aprendizagem. A organização em módulos, com objetivos didáticos distintos, potencializa a utilização de partes do MatElettric, sendo possível utilizá-lo no Ensino Médio, de forma similar à aplicação feita na pesquisa mestrado (PUHL, 2016). Essa perspectiva é ressaltada pelo professor participante da pesquisa: “[O MatElettric ajuda os estudantes do Ensino Médio] mesmo antes de ter as aulas na graduação” (PQ01F08) e “aluno do Ensino Médio para o conteúdo específico de números complexos” (PQ01F52).

No Ensino Médio, o conteúdo de números complexos pode ser compreendido, principalmente, por meio dos aplicativos do GeoGebra, e as explicações sobre circuitos elétricos em CA podem ser utilizadas para promover o interesse e a predisposição para aprender o conteúdo, pois o MatElettric mostra a aplicabilidade desse conhecimento na vida real. Essas explicações de conceitos da Elétrica estão disponíveis na primeira fase do

MatEletric, *Introdução de conceitos de circuitos elétricos em CA*, e no espaço de aprendizagem *Aplicações – a energia elétrica no mundo moderno*<sup>70</sup>.

Contudo, para contemplar os diferentes níveis de estudantes, promovendo um ensino individualizado, faz-se necessário fornecer um conteúdo mais amplo, sequencial e organizado em módulos, que podem ser acessados de forma independente, sendo essas características definidas na TAS (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981), mas também inerentes aos OA (WILEY, 2000; BETTIO; MARTINS, 2002; TAROUCO; FABRE; TAMUSIUNAS, 2003; TAROUCO, 2004; AGUIAR; FLÔRES, 2014; SINGO, 2014). Em busca de contemplar **diferentes níveis de estudantes**, o MatEletric fez uso de outros recursos da *web*, como a plataforma Khan Academy, vídeos do YouTube e o Stoodi<sup>71</sup> (Figura 41), além de espaços de aprendizagem que estão praticamente incorporados ao MatEletric, como o *Espaço do vestibulando* e o *Show do Milhão*, que foram ambientes desenvolvidos na pesquisa de mestrado.

**Figura 41** – Exemplo de tela que mostra diferentes recursos para estudar um conteúdo



Fonte: Captura de tela do MatEletric. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/234.html>

<sup>70</sup> Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/224.html>.

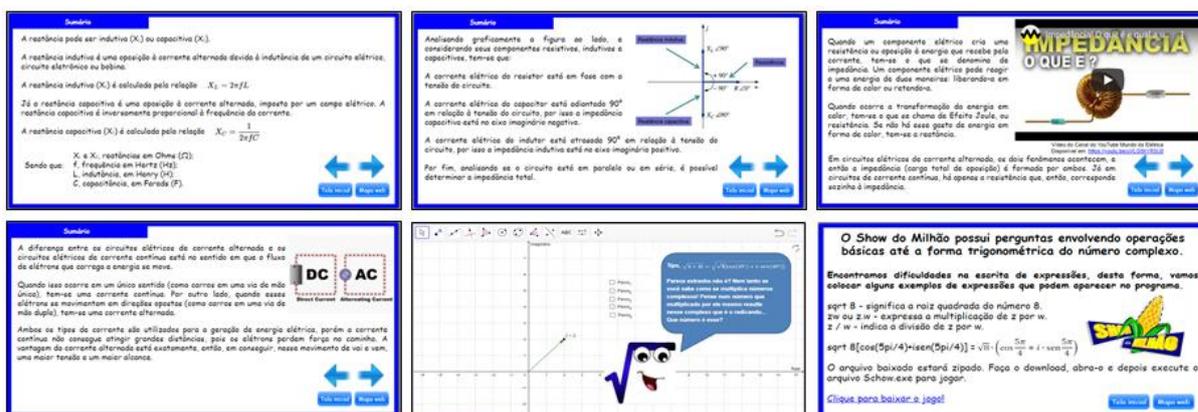
<sup>71</sup> “O Stoodi é mais do que um *site*. Somos uma escola *online* que veio para facilitar a sua vida de estudante e revolucionar sua forma de aprender. Você encontrará, em um só lugar, todos os conteúdos e ferramentas que precisa para estudar de forma agradável e eficiente, em qualquer tempo e em qualquer lugar” (STOODI, 2021).

Na Figura 41, observam-se **diferentes recursos** (videoaula, aplicativos do GeoGebra, texto informativo, Khan Academy, desafio matemático e Stoodi) para estudar conceitos introdutórios de números complexos. Essa variedade de recursos é um dos benefícios das TD na Educação, pois, com a ampla disponibilização de multimídias na *web*, “[...] o uso de múltiplas modalidades em processos de ensino e aprendizagem, na perspectiva de se alcançar melhores resultados no aprendizado, tornou-se numa constante através de recursos combinados como vídeo, áudio, figuras, simulações, entre outros” (SINGO, 2014, p. 22).

A importância da utilização ou da indicação de diferentes recursos para estudar os conteúdos foi ressaltada pelos acadêmicos, sendo considerada uma qualidade do MatEletric enquanto material didático, conforme consta nos seguintes relatos: “aí tem formas diferentes de tu querer interagir com o objeto” (AE03F28); “[as explicações vão] mesclando vídeos, questões e conteúdos escritos” (AS08F31); “acredito que foram empregados bom recursos didáticos, para o ensino dos alunos” (AS05F10); “os recursos apresentados são amplos, acredito que neste quesito o *site* está bem completo” (AS04F21); e “ele [o MatEletric] apresenta várias opções de interações” (PQ01F44);

Além disso, um acadêmico apresentou capturas de telas do MatEletric (Figura 42), exemplificando os diferentes recursos utilizados para promover o ensino de números complexos e circuitos elétricos em CA, por meio do seguinte relato: “conforme imagens dispostas acima, se tem diversas formas de aprendizagem no formato de: texto, imagem, vídeo e até mesmo jogo do Show do Milhão” (AS03F27). Em uma dessas telas, observa-se a presença do Radice, que tem um papel fundamental para promover a interatividade com o MatEletric, promovendo a **predisposição para aprender**.

**Figura 42** – Diferentes recursos utilizados no MatEletric



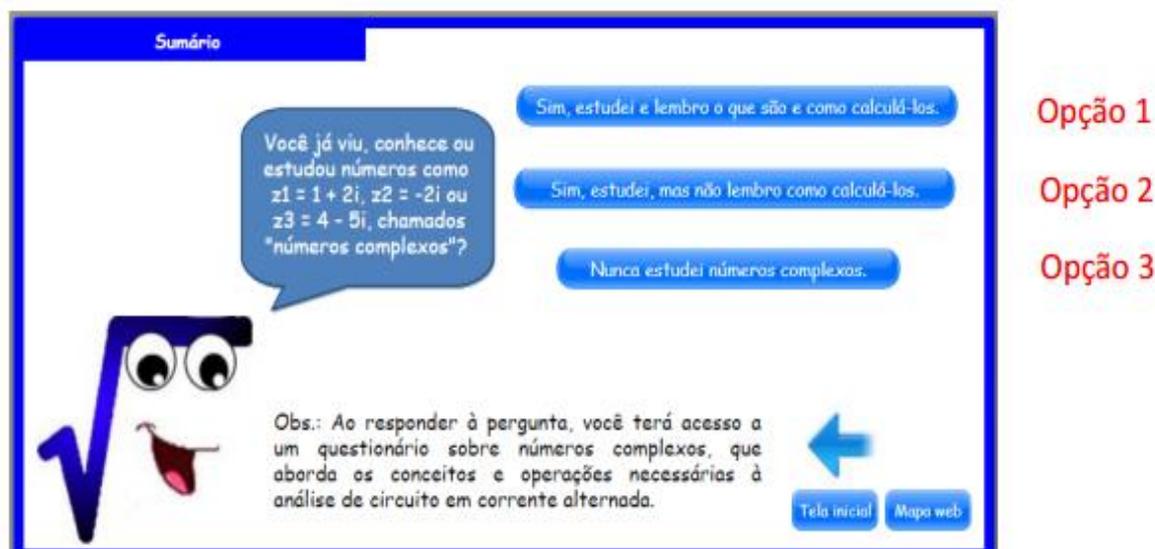
Fonte: Imagem retirada de AS04

O Radice sugere a utilização de ambientes ou recursos didáticos, considerando a importância e a complexidade de cada conteúdo. As sugestões foram elaboradas com base nos mapeamentos teóricos realizados (PUHL; MÜLLER, 2017; PUHL; MÜLLER; LARA, 2020) e nas pesquisas exploratórias com acadêmicos e professores de Engenharia (MORALES; PUHL; LIMA, 2013; PUHL; LIMA, 2014a, 2014b; PUHL; MÜLLER; LIMA, 2019b, 2020c). Os mapeamentos e as pesquisas forneceram informações relevantes para disponibilizar e sugerir os diversos recursos para cada conteúdo.

Por exemplo, no conteúdo que introduz os números complexos, indicam-se recursos mais interativos: um que promove uma abordagem de operações algébricas associadas a geométricas, por meio do GeoGebra, e outro que propõe um desafio para ser resolvido, sendo um problema histórico que instigou o desenvolvimento desse conhecimento matemático. Já, para as operações de adição e de subtração, que apresentam operacionalidade similar à dos polinômios, indica-se uma videoaula, na qual se observam as diferenças e semelhanças entre os dois conhecimentos, promovendo assim a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora.

Outra situação que destaca a individualização do ensino, associada ao conhecimento do acadêmico, é expressa na seguinte afirmação: “para a situação abaixo, achei um pouco confuso, pois as três opções levam para o questionário, fica um pouco difícil de entender onde está o conteúdo com explicação” (AS04F29). A situação a que o acadêmico se refere está expressa na Figura 43, na qual o Radice disponibiliza um questionário, como organizador prévio, a partir da resposta selecionada.

**Figura 43** – Situação que causou estranheza ao acadêmico



Fonte: Imagem retirada de AS04. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/220.html>.

O acadêmico, ao selecionar a opção em que reconhece ter dificuldades ou não lembrar do conteúdo de números complexos (opção 2 e 3 da Figura 43), tem acesso a um questionário com dicas, para promover que estabeleça relação do conteúdo com algum conhecimento prévio; para os demais, que selecionam a opção 1, são fornecidas somente as questões com seus respectivos *feedbacks*. Esse é um exemplo de recurso que contempla características do ensino individualizado, segundo a TAS: “os alunos são instruídos individualmente ou em pequenos grupos por todo o tempo ou na maior parte do ‘tempo de aula’” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 319). Nesse processo, o acadêmico precisa se reconhecer como **protagonista** da sua aprendizagem, estando ciente de que a escolha da atividade de aprendizado está associada à sua resposta.

Além disso, o Radice apresenta e sugere recursos didáticos, exercendo a função do professor ao promover o ensino individualizando, consistindo “[...] em basicamente orientar e aconselhar em vez de apresentar informação” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 319). De forma complementar, Behar (2009, p. 18) considera que “a utilização de OA remete a um novo tipo de aprendizagem, apoiado pela tecnologia, no qual o professor abandona o papel de transmissor de informação para desempenhar o papel de mediador da aprendizagem”.

O papel do Radice, como professor, foi reconhecido pelos acadêmicos, em relatos como: “na parte inicial o recurso [MatEletric] também indica qual o melhor caminho a seguir de acordo como o seu conhecimento” (AS12F06); e “apresenta os conteúdos conforme necessidade” (AQ12F24). A partir disso, compreende-se que o Radice sugere e guia os

acadêmicos, possibilitando que se reconheçam como sujeitos autônomos e também responsáveis pelo processo de aprendizagem. Desse modo, a função do professor, exercida pelo Radice, deixa de ser a de transmitir informações, de forma arbitrária e literal, para passar a ser a de guiar e orientar o processo de aprendizagem (BARBOSA; MOURA, 2013), ao “[...] organizar as interações do aluno com o meio e problematizar as situações de modo a fazer o aluno, ele próprio, construir o conhecimento sobre o tema que está sendo abordado” (FRANCO, 2000, p. 56).

O Radice, por meio de uma linguagem informal e acessível, busca instigar o envolvimento e a interatividade com os recursos sugeridos, mas não os torna obrigatórias, cabendo aos acadêmicos escolherem qual ação realizar. Os acadêmicos reconhecem essa perspectiva: “pode-se observar na imagem ao lado do MatEletric que a questão foi respondida errada, contudo a plataforma sugere videoaulas para um melhor entendimento caso o *feedback* não tenha sanado a dúvida por completo” (AS03F42); “caso o objetivo seja somente de reforço, a não obrigatoriedade é uma boa ideia” (AQ13F55); “oferecendo a ele [o acadêmico] opções de aprofundamento do conteúdo caso houvesse necessidade” (AS13F14); “a variação de recursos apresentadas é bem diversificada” (AQ18F07); e “o OA [MatEletric] faz indicações de outras plataformas para dar continuidade no estudo” (PQ01F05).

No fragmento AS03F42, tem-se um exemplo da individualização do ensino realizada nos **organizadores prévios**, uma vez que, ao responder a questão de forma errada, o MatEletric sugere videoaulas para compreender o conteúdo, mas apresenta outros recursos, permitindo que o acadêmico faça sua escolha, conforme consta na Figura 44. Além disso, nos outros relatos, tem-se a perspectiva da **não obrigatoriedade** de utilizar os recursos ou de acessar alguma fase, mas também se ressalta a possibilidade de estudar conteúdos mais específicos, por meio do MatEletric ou de outras plataformas.

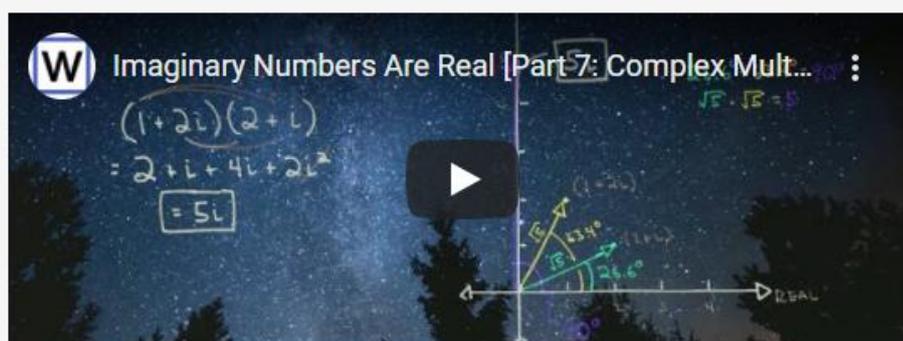
**Figura 44** – Exemplos de recursos disponibilizados para sanar dúvidas dos acadêmicos

### Feedback

Observe que  $|w| = \sqrt{10}$ ,  $|z| = \sqrt{5}$  e  $|z : w| = \sqrt{2}$ , ou seja, é o resultado da divisão de  $|w|$  por  $|z|$ :  $\sqrt{10} : \sqrt{5} = \sqrt{2}$ . Caso tenha ficado com dúvidas sobre a operação com radicais, sugere-se uma videoaula (<https://youtu.be/ed0RQgbTtu4>). Em relação ao argumento, observe que os argumentos  $w$  e  $z$  são, respectivamente,  $161,57^\circ$  e  $63,43^\circ$ , sendo que o quociente de  $w$  por  $z$  teve como argumento um valor aproximado de  $98,13^\circ$ , ou seja,  $161,57^\circ - 63,43^\circ = 98,14^\circ$ .

Sugestão de recursos digitais para aprender a divisão de números complexos na forma trigonométrica:

- Aplicativo do GeoGebra que explica a multiplicação e a divisão na forma trigonométrica (<https://numeroscomplexos.000webhostapp.com/162.html>);
- Videoaula que explica a multiplicação e a divisão na forma trigonométrica ([https://youtu.be/\\_hDsF1b7nn8](https://youtu.be/_hDsF1b7nn8));
- Plataforma Stoodi que explica a divisão na forma trigonométrica (<https://www.stoodi.com.br/materias/matematica/numeros-complexos/divisao-na-forma-trigonometrica/>);
- Página web que aborda as operações com números complexos ([http://www.ufrgs.br/espmat/disciplinas/numeros\\_complexos/](http://www.ufrgs.br/espmat/disciplinas/numeros_complexos/));
- PDF sobre conceitos e operações de números complexos (<https://www.dropbox.com/s/ec8vrc9p2rqw57d/Ebook.pdf?dl=0>);
- Página web que aborda a divisão na forma polar (<https://complexos.blog.br/1124/>);
- Aplicativo do GeoGebra exemplificando a divisão de números complexos (<https://www.geogebra.org/m/mT42FeQk>).



Fonte: Imagem retirada de AS03

Os participantes da pesquisa reconhecem, também, a possibilidade de acessar os módulos independentes, quando afirmam: “o MatEletric possibilita iniciar os estudos em qualquer fase, por exemplo, a árvore de conteúdos apresentada pelo Radice” (AQ06F05); “apesar de oferecer ao aluno uma opção de se aprofundar no assunto em um dos *slides*, muitos optarão por pular esta parte.” (AQ13F17); e “favorece ao usuário pular algumas etapas em função dos seus conhecimentos prévios” (PQ01F59). Os relatos indicam que os conteúdos estão organizados em fases, com objetivos distintos, possibilitando atender diferentes níveis de escolaridade, contemplando, assim, a característica da reusabilidade dos OAM, que “[...] pressupõe que os objetos sejam criados em módulos independentes, não sequenciais, de modo que eles possam ser usados individualmente ou em conjunto com outros recursos” (SINGO, 2014, p. 14).

Diante disso, compreende-se que os acadêmicos têm a liberdade de escolha contemplada no MatELetric. Canto Filho e Lima (2014, p. 53) consideram que o OAM deve proporcionar a liberdade de escolha ao estudante, personalizando o ensino para que se “[...] contemple[m] diversas opções de apresentação de um conteúdo. O próprio estudante deve selecionar a alternativa que mais o motiva, eliminando, assim, a necessidade de o OAM fazer um diagnóstico sobre o estado afetivo deste estudante”.

Os acadêmicos, podendo escolher a alternativa que melhor atenda ao seu estilo de aprendizagem, sentem-se motivados e predispostos a aprenderem os conteúdos. O MatELetric possibilita que os acadêmicos trilhem seus próprios caminhos para aprenderem o conteúdo, contemplando mais uma característica do ensino individualizado, segundo a TAS: “os alunos podem selecionar lições ou atividades alternativas para atingir um conjunto dado de objetivos de ensino” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 319). Desse modo, busca-se motivar e envolver os acadêmicos nos processos de ensino, permitindo que escolham os recursos didáticos, pois o estudante “[...] motivado em aula terá mais entusiasmo para estudar e aprenderá mais facilmente” (PIAGET, 2014, p. 37).

Os acadêmicos reconhecem que o MatELetric proporcionou diferentes estímulos, contemplando estilos de aprendizagem: “alguns dos conteúdos têm formas distintas de apresentação, deixando assim a critério do usuário escolher a forma que melhor lhe agrada” (AS04F14); “dentro do MatELetric, existem diferentes formas de interação para uma melhor aprendizagem” (AQ03F18); “na questão dos conceitos de componentes elétricos, o MatELetric disponibilizou alguns modos para o aluno estudar” (AQ09F12); e “eu pessoalmente aprendo bem melhor pelos vídeos do que apenas lendo o conteúdo, pois tenho dificuldades de aprender apenas lendo” (AQ10F08-09);

Em relação aos diferentes recursos utilizados no MatELetric, na categoria *Organização didática e dos conteúdos*, já se abordou sobre a importância dos textos para introduzir um conceito e dos vídeos para detalhar e aprofundar o conteúdo. Entretanto, nessa categoria, *Ensino individualizado e autoavaliação do conhecimento*, a utilização desses recursos está associada à liberdade de escolha dos acadêmicos, considerando os seus **diferentes estilos de aprendizagem**.

A utilização de diferentes recursos faz-se necessária para contemplar a definição de um OAM: “um objeto é multimodal se permitir que o usuário explore dois ou mais sentidos para captar, através de informações complementares verbais e não verbais, o mesmo conteúdo do conhecimento (conceito)” (SINGO, 2014). Complementando, Santarosa (2010, p. 275) consideram que um “[...] módulo educacional pode contemplar variados formatos de

apresentação de conteúdos (textos, imagens, animações, simulações), que facilitam a compreensão e possibilitam ao usuário a exploração dos conceitos”.

Considerando essas ideias, o MatElettric disponibiliza os conteúdos na forma verbal (textos ou áudio) e não verbal (ilustrações, fotos, vídeos e animações), permitindo que o acadêmico utilize diferentes estímulos (visual e auditivo) para promover a construção de significados (TAROUCO *et al.*, 2009; SINGO, 2014). Na concepção dos acadêmicos, a integração de recursos verbais e não verbais promoveu a interatividade com o MatElettric: “conta com a utilização de vídeos, textos e questões sobre os temas, para fazer com que o usuário tenha uma aprendizagem ao interagir com os recursos” (AS12F03); e “isso eu acho muito bom, porque as pessoas não aprendem todas do mesmo jeito e nem na mesma velocidade, então às vezes é interessante a gente voltar para certos pontos” (AE15F21)

Outro critério do ensino individualizado, segundo a TAS, consiste na possibilidade de os estudantes interagirem com o material didático e aprenderem conforme seu ritmo, no caso da tese, com os recursos e os conteúdos propostos no MatElettric. Esse critério está explícito no fragmento AE15F21, no qual o acadêmico relata que nem todos compreendem o conteúdo na mesma velocidade, sendo necessário respeitar o **ritmo de aprendizagem** de cada um.

O processo de aprendizagem sofre a influência de vários fatores, como, por exemplo: a maturação<sup>72</sup>, a interação social<sup>73</sup>, a experiência ativa<sup>74</sup> que reflete nos sentimentos afetivos, ou seja, na motivação, na predisposição para aprender (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; WADSWORTH, 1997; AUSUBEL, 2003; PIAGET, 2014; LEFRANÇOIS, 2016). Em relação ao ritmo de aprendizagem, Novak (1981, p. 114) afirma que “[...] dependerá da qualidade dos subsunçores relevantes, existentes ou desenvolvidos, e da motivação para a aprendizagem”. Desse modo, no ensino individualizado, o **conhecimento prévio** continua sendo um fator importante no processo de aprendizagem, sendo necessário considerá-lo no planejamento de materiais didáticos.

O MatElettric contempla o conhecimento prévio dos acadêmicos ao promover um ensino individualizado, em virtude de diferentes rotas de aprendizagem, organizadores

<sup>72</sup> “Maturação é um processo biológico relacionado ao gradual desenvolvimento de um potencial” (LEFRANÇOIS, 2016, p. 249).

<sup>73</sup> “A interação social – interação com outras pessoas – permite à criança elaborar ideias sobre o mundo e sobre os outros” (LEFRANÇOIS, 2016, p. 249).

<sup>74</sup> “A experiência ativa se refere a atividades reais – atividades que possibilitam à criança conhecer e internalizar coisas” (LEFRANÇOIS, 2016, p. 249). Complementando a definição, as “experiências ativas são aquelas que provocam assimilação e acomodação, resultando em mudança cognitiva (mudança nas estruturas ou esquemas)” (WADSWORTH, 1997, p. 34).

prévios e *feedbacks* planejados. No relato a seguir e na Figura 45, o acadêmico mostra que o seu conhecimento influenciou na interatividade com o MatELetric:

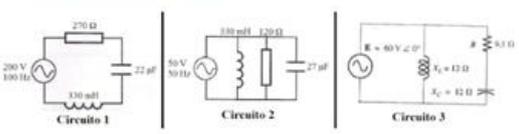
nas imagens, estão dispostas duas situações de análise de circuito elétrico; na primeira foi necessário interagir com o MatELetric, devido à necessidade de saber o conteúdo de impedância. Na segunda imagem, não foi necessário interagir com a plataforma, pois, em circuitos em paralelo, a tensão é igual, e, em circuitos em série, a corrente é igual (AS03F38).

No fragmento AS03F38, compreende-se que esse acadêmico utilizou seu conhecimento prévio para resolver a situação expressa na segunda imagem (à direita da Figura 45), sendo necessário estudar pelo MatELetric para compreender e resolver o problema da primeira imagem (à esquerda da Figura 45). Essa é a perspectiva apresentada por esse acadêmico, sendo que outros podem ter uma compreensão diferente, em virtude de seus conhecimentos.

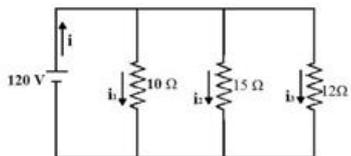
**Figura 45** – Imagens citadas no fragmento AS03F38

✓ Após verificar o valor da impedância de cada componente elétrico, associe os circuitos ao valor da sua impedância total, sendo assim assinale uma alternativa para cada circuito.. \*

✓ Em relação aos circuitos elétricos associados em paralelo, sabe-se que \*



Circuito 1:  $Z = 270 - 134,86j$  ou  $Z = 301,82 \angle -26,5^\circ$   
 Circuito 1:  $Z = 270 + 134,86j$  ou  $Z = 301,82 \angle 26,5^\circ$  ✓  
 Circuito 1:  $Z = 39,3 - 95,3j$  ou  $Z = 103,1 \angle -67,6^\circ$   
 Circuito 2:  $Z = 118,03 + 15,54j$  ou  $Z = 119,05 \angle 7,5^\circ$  ✓  
 Circuito 2:  $Z = 118,03 - 15,54j$  ou  $Z = 119,05 \angle -7,5^\circ$   
 Circuito 2:  $Z = 120 - 14,33j$  ou  $Z = 120,8 \angle -6,8^\circ$   
 Circuito 3:  $Z = 16 - 12j$  ou  $Z = 20 \angle -36,9^\circ$   
 Circuito 3:  $Z = 16 + 12j$  ou  $Z = 20 \angle 36,9^\circ$  ✓



A corrente elétrica tem a mesma intensidade em todos os componentes elétricos, já a tensão é proporcional a intensidade de cada componente elétrico.  
 A corrente elétrica e a tensão têm a mesma intensidade em todos os componentes elétricos.  
 A tensão tem a mesma intensidade em todos os componentes elétricos, já a corrente elétrica é proporcional a intensidade de cada componente elétrico. ✓  
 A tensão e a corrente elétrica têm a intensidade proporcional em cada componente elétrico.  
 Não sei

Fonte: Imagem retirada de AS03

A interatividade com o MatELetric pode ser necessária para responder às duas questões, pois possivelmente haja acadêmicos que não se recordam do conteúdo da segunda imagem. Ou ainda, pode haver acadêmicos que não precisam do MatELetric para resolver tais problemas, pois já trabalham na área da elétrica ou compreendem os conhecimentos envolvidos na análise de circuitos elétricos em CA. Ou seja, o **conhecimento prévio** do acadêmico impacta na interatividade com o MatELetric e, conseqüentemente, nos *feedbacks* fornecidos para dar continuidade aos estudos.

Complementando tal perspectiva, Ausubel, Novak e Hanesian, (1980) consideram que o ensino individualizado deveria “[...] se tornar a unidade de trabalho no processo educativo. Cada criança deve ser exigida num nível apropriado a suas potencialidades e encorajada a aprender num ritmo compatível com ela”. As tecnologias, como os OAM, possuem recursos para ampliar, em termos de tempo e espaço, os momentos de ensino, interação e construção de significados, não se restringindo somente à sala de aula (WILEY, 2000; SÁ FILHO; MACHADO, 2003; KENSKI, 2006; HIGUCHI *et al.*, 2010; PEÑA, 2010; MORAN; MASETTO; BEHRENS, 2013; CANTO FILHO; LIMA, 2014).

Segundo Boucinha, Grasel e Tarouco (2014, p. 170), os OAM são recursos didáticos que têm potencial para aproveitar melhor o tempo dos estudantes, pois esse é um “[...] recurso cada vez mais escasso e cujo valor econômico precisa ser otimizado por meio da ocupação minuciosa até dos menores intervalos”. O MatEletric, ao ser utilizado como uma atividade extraclasse, possibilitou que os acadêmicos estudassem em diferentes momentos e períodos, conforme a necessidade, o interesse e a disponibilidade de cada um.

O tempo de interatividade com o MatEletric variou entre os acadêmicos, de uma a três horas, segundo eles próprios relataram: “aproximadamente umas duas horas, sendo esse tempo dividido na compreensão do assunto [números complexos], na resolução dos exercícios propostos juntamente com os *feedback* dos mesmos” (AS03F13); “para uma boa experiência, seguindo com calma e atenção o que é proposto, o tempo de interação será de algumas horas” (AS17F10); “o tempo é bom, pois é curto” (AS05F07); e “o tempo de interação varia dependendo do conhecimento do usuário e dos conteúdos que se desejam aprender ou representam maior dificuldade” (AS15F16-17).

O tempo de interatividade com o MatEletric está associado aos conhecimentos prévios, ao nível de atenção e ao interesse pelo conteúdo dos acadêmicos. Segundo Canto Filho e Lima (2014), os horários das aulas, a disponibilidade de tempo e de local para estudos extraclasse são alguns fatores ambientais e circunstanciais que definem as características individuais de aprendizagem.

A otimização do tempo é um dos benefícios apontados por Behar (2009), ao utilizar os OA no ensino de conteúdo, tendo outros conteúdos e práticas pedagógicas, como a possibilidade de atender diferentes níveis de escolaridade. Além disso, Moran, Masetto e Behrens (2013, p. 50) consideram que a utilização de recursos didáticos virtuais amplia o tempo para estudar e compreender os conteúdos para qualquer dia da semana.

Outro indicativo de que o MatEletric otimizou o tempo dos acadêmicos está presente em relatos como: “o que acontece é que eu vi em vários dias. Eu estudei, não foi em um único

dia, foram uns três ou quatro, na questão de uma hora ou uma hora e meia que eu fiquei estudando” (AE10F43); e “[...] por ser algo de acesso a qualquer momento é interessante, pois o aluno pode acessar em vários dias, horários. Algo que torna um conteúdo totalmente independente.” (AS11F11-13). Nesses relatos, observa-se a possibilidade de utilizar o MatEletric a qualquer momento do dia, otimizando o tempo dos acadêmicos, pois a interatividade com ele pode demorar minutos ou horas, conforme a disponibilidade de cada um.

A utilização do MatEletric conforme a disponibilidade dos acadêmicos mobiliza o estudo dos conteúdos com recursos digitais. Kenski (2006, p. 114) considera que a desistência dos estudantes está associada a vários fatores, sendo que, na maioria das vezes, estão “[...] vinculados a reorientações de seus desejos (e motivações) para outros caminhos. Assim, a alegada falta de tempo para estudar, por exemplo, indica a redistribuição do tempo individual para suprir outras necessidades, consideradas prioritárias naquele momento”. Assim, o MatEletric, como recurso didático extraclasse, possibilita um **bom aproveitamento do tempo**, fazendo com que os acadêmicos consigam conciliar seus interesses pessoais e profissionais, não deixando de estudar os conteúdos didáticos propostos.

Apesar da possibilidade de utilizar o MatEletric em diferentes momentos, alguns acadêmicos reconheceram a dificuldade de dispor de tempo para realizar todas as atividades: “os usuários, pode não fazer questão de ‘perder tempo’ com os cálculos de números imaginários” (AS08F27); e “talvez [o acadêmico] não tenha como dedicar o tempo necessário para respondê-lo [o questionário de números complexos] adequadamente” (AQ18F43). O conteúdo de números complexos, abordado no organizador prévio, foi considerado aquele que o acadêmico considerará menos importante de estudar, em virtude de não ter sua aplicação direta na disciplina de Elétrica.

O ensino contextualizado, conforme abordado na categoria *Organização didática e dos conteúdos*, promoveu o envolvimento e o interesse pelo conteúdo, mas não atingiu a todos. Essa é uma limitação do MatEletric, como também de qualquer outro material didático, que dificilmente atende às necessidades e interesses de todos os estudantes, pois há vários fatores que interferem nas características individuais de aprendizagem (CANTO FILHO; LIMA, 2014). O professor reconhece os benefícios do MatEletric ao considerar utilizá-lo no próximo semestre, mas também indica que nem todos os acadêmicos participaram da atividade no contexto da atual pesquisa.

Complementando essa perspectiva, durante as aulas observadas, em média, o número de acadêmicos presentes foi 26, de 31 matriculados, totalizando cerca de 83%. Apesar do alto

índice de presenças, nenhum acadêmico abriu a câmera e, em média, somente oito participavam assiduamente das aulas, respondendo e fazendo questionamentos, ou seja, cerca de 26% da turma. Os oito acadêmicos que participavam assiduamente das aulas fazem parte dos dezoito participantes que responderam, ao menos, a um instrumento de coleta de dados da presente pesquisa, um fato que indica a dificuldade de os acadêmicos participarem ativamente das aulas, um problema reconhecido não apenas no caso do MatELetric.

Na comparação, houve mais acadêmicos interagindo com o MatELetric do que participando assiduamente da aula, isso se deve, de fato, à qualidade do recurso didático, mas também pode estar associado ao fato de o professor estabelecer uma nota para essa atividade. Na tese, o professor avaliou as atividades do MatELetric, considerando um ponto para a última avaliação do semestre. Bazzo, Pereira e Linsingen (2008, p. 93) consideram que, no ensino de Engenharia, valoriza-se a avaliação por provas, sendo que outras formas de aprendizado, como a interatividade com o MatELetric, “[...] são muito pouco valorizadas no processo avaliativo, o que pode ser atestado pelo peso que normalmente lhes é atribuído na composição das notas finais, ápice do processo de ensino”.

Apesar das dificuldades em envolver todos os acadêmicos no estudo de números complexos, o MatELetric mostra-se um recurso com potencial para otimizar o tempo da sala de aula, considerando o **conhecimento prévio** e respeitando o **ritmo de aprendizagem** individual. Essa perspectiva apresenta confluências com as ideias de Guilherme *et al.* (2014, p. 160) que consideram

importante por despertar nos estudantes de graduação uma maior motivação em aprender, procurando respeitar o tempo próprio de aprendizagem e sinalizando alternativas e caminhos para novas formas de estudo e de ensino, visando o sucesso acadêmico em disciplinas com maiores dificuldades de assimilação dos conteúdos.

O sucesso do acadêmico, em um ensino individualizado, está relacionado à organização sequencial e gradativa dos conteúdos, estabelecendo relações entre conceitos, buscando assim assegurar “[...] que cada progresso alcançado na aprendizagem sirva como uma base apropriada e uma função de ancoragem para a aprendizagem e a retenção de itens subsequentes na sequência ordenada” (AUSUBEL, 2003, p. 171)<sup>75</sup>. Esse sequenciamento é justificado pela concepção adotada pelo termo aprendizagem<sup>76</sup>, consistindo em um processo

---

<sup>75</sup> No livro *Psicologia educacional*, a frase está descrita com outras palavras, mas apresenta o mesmo significado “[...] garantir que cada incremento alcançado na aprendizagem sirva como um fundamento apropriado ou ancoragem para a aprendizagem e retenção de itens subsequentes na sequência ordenada” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 247).

<sup>76</sup> Desse modo, compreende-se que a aprendizagem não ocorre, portanto, segundo concepções empiristas ou inatistas, que orientam práticas pedagógicas tradicionais, mas por meio do envolvimento ativo dos

idiossincrático do estudante, no qual o conhecimento prévio é transformado pela interação com os conteúdos estudados, por meio do estabelecimento de relações não arbitrárias e substantivas (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981; AUSUBEL, 2003).

Corroborando essa ideia, tem-se o seguinte relato: “você acessa o endereço e aprende números complexos para depois aplicar em circuitos CA, porém, há pessoas que já dominam ou têm mais facilidades com os números imaginários, então, se faz necessário centralizar as energias de aprendizagem nos circuitos CA” (AQ01F14). O acadêmico compreende que o MatElettric segue uma **organização sequencial e gradativa** em termos de dificuldade em relação ao conteúdo números complexos para depois analisar circuitos elétricos em CA, porém, para aqueles que têm o conhecimento matemático, possibilita-se avançar e estudar sobre o conteúdo específico da disciplina. Desse modo, além de individualizar o ensino, otimiza-se o tempo do acadêmico e proporciona-se o seu avanço cognitivo.

Como o sequencialmente depende da compreensão dos conteúdos estudados anteriormente, faz-se necessário disponibilizar informações para os acadêmicos se autoavaliarem, medindo o seu próprio conhecimento e as aprendizagens desenvolvidas por si mesmos, respectivamente, por meio dos organizadores prévios e de três problemas de análise de circuitos elétricos em CA. Desse modo, busca-se contemplar o princípio da **consolidação**, segundo a TAS.

A consolidação consiste na “[...] confirmação, correção e clarificação, no decurso do retorno (*feedback*), e através da prática diferencial e da revisão, no decurso da exposição repetida, com retorno, ao material de aprendizagem” (AUSUBEL, 2003, p. 172). Desse modo, seguindo um planejamento sequencial e gradativo, proporciona-se que conhecimentos precedentes, de um organizador prévio ou de uma tarefa de aprendizagem sequencial, “[...] fiquem disponíveis na estrutura cognitiva [da mesma forma que] novas ideias ancoradas e estáveis, para outras tarefas de aprendizagem relacionadas introduzidas mais tarde” (AUSUBEL, 2003, p. 184).

A autoavaliação da aprendizagem, por meio de *feedbacks* ou da resolução de problemas é uma qualidade do MatElettric reconhecida pelos acadêmicos: “a utilização de questionários proporciona que o estudante tenha a percepção de como está o aprendizado no decorrer do estudo” (AS17F14); “os *feedbacks* nos questionários são de grande importância, pois são eles que permitem verificar se o conteúdo abordado está sendo absorvido” (AS18F21); e “os *feedbacks* nos questionários são muito importantes, sendo uma forma do

estudante avaliar o nível de aprendizado e avaliar se os estudos realizados estão sendo efetivos e eficazes” (AS06F27-28).

Nesses relatos, manifesta-se a compreensão de que os *feedbacks* são instrumentos para o acadêmico avaliar seus conhecimentos. No MatEletric, os *feedbacks* não se limitam a informar os erros e os acertos, mas apresentam sugestões de recursos para aprender o conteúdo em questão, consistindo em uma parte fundamental do processo de aprendizagem. Diante disso, o erro é compreendido como uma informação para propor intervenções e estratégias didáticas para promover aprendizagens dos conteúdos incompreendidos, conforme o conhecimento de cada estudante (BARROS, 1996; BECKER, 2015). Na tese, a partir dos *feedbacks*, os acadêmicos podem direcionar seus estudos para preencher as lacunas de aprendizagem, conforme é proposto por Hoffmann (2006, p. 80), ao considerar que avaliação “[...] necessita ajustar-se aos percursos individuais de aprendizagem que se dão no coletivo e, portanto, em múltiplas e diferenciadas direções”.

Essa compreensão de avaliação proposta pelo MatEletric apresenta similaridades com a definição apresentada por Luckesi (1998, p. 77), que a considera “[...] um ato dinâmico que qualifica e subsidia o reencaminhamento da ação, possibilitando consequências na direção da construção, dos resultados que se deseja”. Considerando os pressupostos teóricos da TAS, “a avaliação é importante no início, durante e na conclusão de qualquer sequência instrucional” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 500). No MatEletric, a avaliação é fornecida por *feedbacks*, sendo um processo contínuo que busca contemplar os princípios da **organização sequencial e da consolidação de conhecimento**, promovendo, assim, aprendizagens significativas.

Os *feedbacks* fornecidos no MatEletric não atribuem nota aos acadêmicos, mas sim indicativos de aprendizagens, ou seja, uma autoavaliação do próprio conhecimento. Vasconcellos (2001, p. 72) considera que “a autoavaliação deve ser feita sem vínculo com a nota, de forma a que possa constituir-se efetivamente num importante instrumento de formação do educando”. Cabe ressaltar que a autoavaliação tem significado quando o estudante assume o protagonismo nos processos de ensino e de aprendizagem, reconhecendo que as informações disponibilizadas servem como orientação para estudar e compreender determinado conteúdo (HOFFMANN, 2006).

Para Luckesi (1998, p. 78), “[...] o ideal seria a inexistência do sistema de notas. A aprovação ou reprovação do educando deveria dar-se pela efetiva aprendizagem dos conhecimentos mínimos necessários, com o conseqüente desenvolvimento de habilidades, hábitos e convicções”. Apesar de serem publicações de duas décadas atrás, esse cenário de

avaliação está presente na Educação e nesta pesquisa, conforme consta no fragmento AS04F31, na categoria *Organização didática e dos conteúdos*, no qual o acadêmico estranhou o fato de não receber uma nota após responder aos questionários.

Hoffmann (2006) considera que esse entendimento de avaliação prevalece no sistema educacional brasileiro. Complementando, Bazzo, Pereira e Linsingen (2008, p. 112) compreendem que prevalece uma avaliação somativa<sup>77</sup> no Ensino Superior, sendo que, “no ensino de Engenharia, [...] são utilizadas como critério de avaliação de conteúdos quase exclusivamente as provas (ou testes), com caráter de verificação de reprodutibilidade de conteúdos técnicos”.

A afirmação de Bazzo, Pereira e Linsingen (2008) contrapõe a perspectiva de avaliação do MatELetric, sendo um instrumento para propiciar uma autoavaliação dos conhecimentos desenvolvidos pelos acadêmicos, por meio de *feedbacks* e da resolução de problemas. Essa compreensão, como se tem no MatELetric, caracteriza uma avaliação formativa<sup>78</sup>.

A avaliação formativa é utilizada no MatELetric, sendo reconhecida e confirmada pelos acadêmicos, como ocorre nos relatos: “caso o resultado não seja satisfatório, existe a possibilidade de refazer o teste” (AS16F13); “dá para realizar o teste muitas vezes [os questionários]” (AS15F40); e “eu avancei e voltei o conteúdo várias vezes, pois é nos exercícios que surgem as dúvidas [desse modo volta nas explicações]” (AQ10F05-06). Nesses relatos, observa-se a possibilidade de fazer e refazer as avaliações, permitindo a interatividade com MatELetric quantas vezes for necessário para o entendimento dos conteúdos. Além disso, enquanto o acadêmico faz uma avaliação, é possível, em outra aba, acessar as outras fases do MatELetric para estudar e compreender conteúdos. Desse modo, ressalta-se a avaliação como uma etapa importante no processo de aprendizagem, estando incorporada nas fases *Questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos* e *Problemas para analisar circuitos elétricos em CA*, utilizada para promover indicativos das aprendizagens desenvolvidas e reforçando o conteúdo estudado, ou seja, uma **autoavaliação formativa** aos acadêmicos.

A avaliação proposta pelo MatELetric está em consonância com a TAS, ao considerar que avaliação consiste de uma “[...] retroalimentação e consolidação após cada unidade

---

<sup>77</sup> A avaliação somativa “[...], quando aplicada à aprendizagem escolar, indicam que o resultado obtido pelos alunos cristaliza-se no registro da nota, transformando a avaliação numa contabilização de resultados” (ANASTASIOU; ALVES, 2006, p. 125).

<sup>78</sup> “A avaliação formativa consiste na prática da avaliação contínua realizada durante o processo de ensino e aprendizagem, com a finalidade de melhorar as aprendizagens em curso, por meio de um processo de regulação permanente” (ANASTASIOU; ALVES, 2006, p. 126).

(tópico, capítulo) de material de conhecimentos, oferece salvaguardas adequadas para a verdadeira estabilidade e clareza do conhecimento contra os perigos do estudo da última hora e da aprendizagem mecânica” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 510). Diante desse contexto, concorda-se com Anastasiou e Alves (2006) e Pozo e Crespo (2009), ao considerar que a avaliação tem um fator motivacional, pois ajuda o estudante a superar suas dificuldades de compreensão.

Os participantes reconhecem que os *feedbacks* e as resoluções detalhadas **auxiliaram nos processos de ensino e de aprendizagem**, quando afirmam que: “a disponibilidade das resoluções dos problemas é de grande importância, pois são eles que permitem verificar se o conteúdo abordado está sendo absorvido” (AQ10F22); “após aprendermos sobre o conteúdo, testes são disponibilizados para verificar o nível de aprendizagem” (AS16F10); “já o *feedback* final é mais voltado para comparação e melhor aprendizado do que foi realizado na questão.” (AQ09F24); e “segundo ponto positivo é a questão dos questionários, a gente ter a capacidade de avaliar nossos conhecimentos e ainda obter um *feedback* a partir desses conteúdos” (AE15F23).

Nesses relatos, compreende-se que o MatELetric possibilitou uma verificação das aprendizagens desenvolvidas. Segundo a TAS, ele atingiu o objetivo da avaliação no ensino individualizado, que “[...] é determinar até que ponto os vários objetivos educacionais significativos estão, na realidade, sendo atingidos” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 502). Os *feedbacks* fornecem essas informações para os acadêmicos, propondo diferentes recursos para estudar os conceitos incompreendidos, e também para o professor. Apesar de estar disponível ao professor, considera-se que nesta pesquisa, em uma primeira aplicação, essas informações não foram consideradas para o planejamento das aulas virtuais, de forma explícita. Essa compreensão está associada ao fato de o professor estabelecer poucas relações do conteúdo do MatELetric com as atividades das aulas virtuais, apesar de ser evidente a utilização dos conceitos e operações estudados remotamente na análise de circuitos elétricos em CA.

No fragmento AQ09F24, o acadêmico relata sobre a avaliação final, a qual consiste em três problemas de análise de circuitos elétricos em CA. Os três problemas apresentam um grau de dificuldade maior, se comparados com os problemas de estudo, contemplando assim o princípio da **organização sequencial**, segundo a TAS. Além disso, essa organização didática de avaliação apresenta singularidades com as ideias de Ausubel, Novak e Hanesian, (1980, p. 108), que consideram que “[...] as práticas de avaliação que requerem a exata repetição da informação ou ideias aprendidas desencorajam a aprendizagem significativa [...]”, buscando

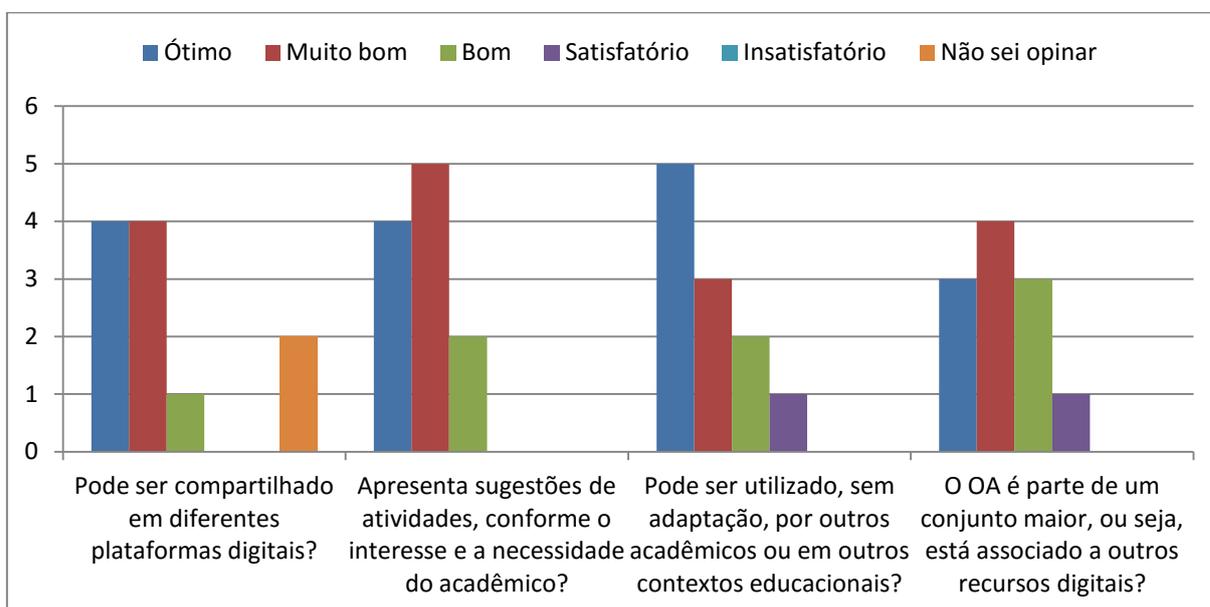
não provocar que os acadêmicos sintam-se desmotivados, impactando negativamente na **predisposição para aprender**, pois os conteúdos abordados já foram compreendidos, sendo assim não faz sentido realizar tais atividades.

Os três problemas da avaliação final contemplam os conhecimentos desenvolvidos nas atividades anteriores, mas apresentam um grau de especificidade mais elevado, não sendo possível resolvê-lo seguindo exatamente os procedimentos dos circuitos elétricos anteriores. Considerando essa perspectiva e a TAS, a **organização sequencial e gradativa** dos problemas de estudo e de avaliação “[...] mantêm a prontidão para a matéria ao garantir que cada incremento alcançado na aprendizagem sirva como um fundamento apropriado ou ancoragem para a aprendizagem e retenção de itens subsequentes na sequência ordenada” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 247).

A resolução de um problema, possivelmente, implica a ampliação de conhecimentos na estrutura cognitiva dos acadêmicos, em termos de quantidade e qualidade, promovendo a construção de significados. Nesse processo de resolução de problemas diferentes potencializa a realização da **diferenciação progressiva e reconciliação integradora** entre o conhecimento prévio e o conteúdo estudado. Em virtude disso, os problemas são indicados por Ausubel (2003), Masini e Moreira (2008) e Gianotti e Gianotti (2016), como instrumento de avaliação das aprendizagens desenvolvidas, pois a sua resolução “[...] requer outras habilidades e qualidades entre as quais raciocínio, perseverança, flexibilidade improvisação, sensibilidade, astúcia em estratégias, além de compreensão dos princípios básicos envolvidos” (MASINI; MOREIRA, 2008, p. 109).

Além dos argumentos construídos pelos relatos dos participantes da pesquisa e das observações em sala de aula, o ensino individualizado apresenta semelhança com uma característica dos OAM: a usabilidade. A usabilidade é entendida como a “medida na qual um produto pode ser usado por usuários específicos para alcançar objetivos específicos com eficácia, eficiência e satisfação em um contexto específico de uso” (ABNT, 2002, p. 3). Diante disso, a usabilidade está relacionada com a facilidade que diferentes estudantes, de diferentes níveis de escolaridade, têm de compreender o funcionamento, a navegação e o conteúdo proposto no OAM (TORREZANN; BEHAR, 2009; BEHAR; MACEDO; SOUZA; BERNARDI, 2009).

Em relação à usabilidade, os participantes, os acadêmicos e o professor, compreendem que o MatEletric atende satisfatoriamente à maioria das propriedades desse critério, conforme consta na Figura 46. Esses critérios foram reconhecidos como características importantes para promover uma maior interatividade com o MatEletric.

**Figura 46** – Gráfico que sintetiza a avaliação da usabilidade do MatEletric

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir dos dados construídos no instrumento de avaliação de OA.

Em relação aos critérios da Figura 46, a maioria já foi discutida no texto, faltando somente o critério do compartilhamento em diferentes plataformas digitais, sendo o único que teve como avaliação o “não sei opinar”. Apesar de o MatEletric estar disponível virtualmente (em <https://numeroscomplexos.online/>), independe do navegador, do sistema operacional e do *hardware*, ele apresenta limitações quanto aos dispositivos móveis. O acadêmico com acesso à *web* por um computador tem disponível todos os recursos e conteúdos do MatEletric, de forma adequada e independente, sem apresentar erros ou sobreposição de telas. Contudo, em dispositivos móveis, o MatEletric pode apresentar distorções na tela ou sobreposição de conteúdos, sendo uma questão a ser aperfeiçoada, conforme consta no metatexto a seguir da categoria *Sugestões de aperfeiçoamentos*.

### 6.2.1 Compreensões sintéticas da categoria

Para finalizar o metatexto, retoma-se os pressupostos teóricos contemplados, na perspectiva dos participantes, em relação à individualização de ensino e à autoavaliação do conhecimento proposta pelo MatEletric. O Quadro 10 apresenta as compreensões que emergiram a partir da análise dos dados construídos pelos participantes da pesquisa, os quais permitem caracterizar o MatEletric como recurso didático e digital em aulas presenciais e

virtuais, para promover um ensino individualizado de circuitos elétricos em CA, principalmente, para acadêmicos de Engenharia.

**Quadro 10** – Pressupostos teóricos constatados nos relatos dos participantes da pesquisa

<b>Fase do MatElettric</b>	<b>Compreensão do pesquisador</b>	<b>Pressuposto teórico</b>
Introdução sobre circuitos elétricos em CA	O MatElettric introduz o conteúdo de circuitos elétricos em CA utilizando diferentes recursos (textos, imagens e vídeos), proporcionando diferentes estímulos e a liberdade de escolha do acadêmico.	Predisposição para aprender
	O MatElettric possibilita que o acadêmico acesse essa fase concomitantemente com os problemas de circuitos elétricos em CA, por meio de diferentes abas, compreendendo a avaliação como uma continuidade dos processos de ensino e de aprendizagem.	Interação de conhecimentos
Questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos	Os <i>feedbacks</i> dos questionários apresentam diferentes recursos e ambientes para estudar os conteúdos incompreendidos, proporcionando diferentes estímulos e a liberdade de escolha do acadêmico. Os <i>feedbacks</i> dos questionários buscam preencher as lacunas de aprendizagens de cada acadêmico, sugerindo recursos para estudar conteúdos considerados base.	Predisposição para aprender
	Os organizadores prévios foram elaborados com o objetivo de atender estudantes de diferentes níveis de escolaridade: Ensino Médio, Ensino Médio Técnico e Ensino Superior. Os <i>feedbacks</i> dos organizadores prévios são fornecidos individualmente, conforme as respostas dos acadêmicos.	Conhecimento prévio
	As respostas dos acadêmicos, conforme seu conhecimento prévio, impactam no acesso a diferentes recursos e conteúdos do MatElettric.	Organizadores prévios
	Os <i>feedbacks</i> dos questionários fornecem informações para os acadêmicos autoavaliarem o seu conhecimento e as aprendizagens desenvolvidas pela interatividade com o MatElettric.	Consolidação do conhecimento
Problemas	Os problemas de avaliação são uma etapa do	Predisposição para

para analisar circuitos elétricos em CA	processo de aprendizagem, motivando o acadêmico a ampliar seus conhecimentos, pois não promovem uma mera repetição de conceitos e procedimentos.	aprender
	Os problemas de análise de circuitos elétricos em CA podem ser acessados de forma independente das outras fases do MatElettric.	Conhecimento prévio
	Os problemas de avaliação apresentam um grau de especificidade e complexidade mais elevado, ao comparar com os problemas de estudo.	Organização sequencial
	A resolução dos problemas de avaliação promove a compreensão de conteúdos e procedimentos diferentes dos abordados nos problemas anteriormente.	Diferenciação progressiva e reconciliação integradora
	A resolução dos problemas fornecem informações para o acadêmico autoavaliar as aprendizagens desenvolvidas.	Consolidação do conhecimento

Fonte: Elaborado pelo autor.

A essência dessa categoria reflete a compressão dos participantes sobre a individualização do ensino promovida pelo MatElettric, proporcionada pelos diferentes recursos, que contemplam estímulos verbais e não verbais, e pela liberdade de escolha do acadêmico. Os relatos dos participantes permitem a compreensão de que a individualização do ensino é uma característica do MatElettric tão importante quanto à sua organização didática, pois cada acadêmico pode avançar nos estudos individualmente, conforme seu conhecimento, disponibilidade de tempo, estilo e ritmo de aprendizagem. Diante disso, considera-se que a individualização do ensino complementa a organização didática do MatElettric, sendo mais um argumento para considerá-lo um material potencialmente significativo para o ensino de circuitos elétricos em CA.

O MatElettric possibilita um acesso livre e independente dos conteúdos. Apesar de estarem organizados de modo sequencial e gradativo, os acadêmicos podem avançar e retroceder nas fases do MatElettric, utilizando-as concomitantemente, **conforme o seu conhecimento** e a sua necessidade para **compreender os conceitos e procedimentos estudados**. Além disso, um acadêmico pode utilizar o MatElettric desde a primeira fase, *Introdução de conceitos de circuitos elétricos em CA*, avançando nos estudos e na compreensão dos conteúdo, enquanto outro, com um conhecimento mais avançado, pode iniciar seus estudos resolvendo os problemas na fase *Problemas para analisar circuitos elétricos em CA*. Desse modo, o MatElettric proporciona **liberdade de escolha** e **otimização**

**do tempo**, pois os acadêmicos podem acessar os conteúdos conforme seu conhecimento, não sendo necessário desperdiçar seu tempo estudando conteúdos já compreendidos.

O acesso independente às fases permite que o MatElettric seja utilizado em diferentes momentos e tempos, conforme a disponibilidade de cada acadêmico. Tal acesso independente, associado à possibilidade de avançar e retroceder nas fases, possibilita que o acadêmico interaja com o MatElettric respeitando seu **ritmo de aprendizagem**. O MatElettric apresenta e sugere atividades, sendo que nenhuma é obrigatória, além de não definir um tempo mínimo nem máximo para interagir com o MatElettric, cabendo ao acadêmico utilizá-lo da forma que achar conveniente, estabelecendo estratégias para compreender os conteúdos no seu ritmo de aprendizagem.

A individualização do ensino, combinada com a organização em fases, permite que o MatElettric seja utilizado em outros níveis de escolaridade, não somente por acadêmicos de Engenharia. As fases do MatElettric se complementam para promover o estudo de circuitos elétricos em CA, porém cada uma tem determinados objetivos. Na íntegra, o MatElettric pode ser utilizado no Ensino Médio Técnico em Eletrotécnica e Eletrônica ou no Ensino Superior em cursos de Engenharia. Em compensação, as fases do MatElettric podem ser aplicadas a outros perfis de estudantes. Por exemplo, a fase *Questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos* tem o objetivo de avaliar os conhecimentos dos acadêmicos sobre números complexos e preencher suas lacunas de aprendizagem. Dependendo da estratégia adotada pelo professor, essa fase pode ser utilizada principalmente no Ensino Médio, mas também, no Ensino Superior, em disciplinas que abordam o conteúdo de números complexos.

Além da organização em fases, o MatElettric utiliza diferentes recursos (textos, imagens, vídeos, aplicativos, *sites*, plataformas, entre outros) para promover o ensino e a aprendizagem de um mesmo conteúdo. O acadêmico tem a liberdade para escolher quais recursos utilizar, motivando a interatividade com o MatElettric, que promove a **predisposição para aprender** os conteúdos. A diversidade de recursos amplia a possibilidade de atender a necessidades, interesses e estilos de aprendizagens de estudantes de diferentes níveis de escolaridade, não somente acadêmicos de Engenharia. Portanto, a organização em fases, com objetivos distintos, e a disponibilização de diferentes recursos, são argumentos que reforçam as qualidades do MatElettric, enquanto material didático, para promover o ensino de conteúdos para **diferentes níveis de escolaridade**.

Em relação especificamente à fase *Questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos*, os *feedbacks* dos questionários, novamente, recebem destaque, pela diversidade de recursos disponibilizados para estudar os conceitos incompreendidos, atendendo aos

diferentes estilos de aprendizagens. O acadêmico, dispondo do conteúdo por meio de diferentes estímulos (verbais e não verbais), tem a liberdade para escolher o recurso didático para sanar suas lacunas de aprendizagem, o que o motiva a continuar interagindo e aprendendo no MatELetric, ou seja, mostra-se **predisposto a aprender**.

Além de auxiliar a sanar as lacunas de aprendizagem, os *feedbacks* dos questionários indicam aos acadêmicos os conceitos e as operações que precisam ser estudados, proporcionando uma autoavaliação do seu conhecimento. Os *feedbacks*, considerados como uma autoavaliação do conhecimento, impactam nas rotas de aprendizagem sugeridas aos acadêmicos, pois, conforme seu conhecimento, são apresentados recursos para estudar os conteúdos incompreendidos. Desse modo, busca-se promover a compressão dos conteúdos considerados base para a análise de circuitos elétricos em CA, pois assim os acadêmicos têm esses conhecimentos disponíveis e estáveis na sua estrutura cognitiva para interagir com conteúdos abordados na sequência do estudo. Desse modo, os *feedbacks* têm o objetivo de propiciar uma base de conhecimento aos acadêmicos, contemplando, assim, os princípios da **consolidação e da organização sequencial**.

Os princípios da consolidação e da organização sequencial também estão presentes na última fase do MatELetric, *Problemas para analisar circuitos elétricos em CA*, na qual o processo de resolução do problema fornece informações para o acadêmico autoavaliar seu conhecimento. Nessa fase, há nove problemas, sendo seis para o estudo e três para a avaliação. Nos problemas de estudo, o Radice exerce a função de professor, buscando envolver os acadêmicos no processo de aprendizagem, propiciando a interação de conhecimentos e auxiliando na resolução. Nos problemas de avaliação, entretanto, o Radice não auxilia no processo de resolução, sendo somente disponibilizados *feedbacks* para os acadêmicos e, a partir dos erros, sugeridos conteúdos para retomar os estudos no MatELetric.

Os problemas de avaliação são uma continuação dos processos de ensino e de aprendizagem de circuitos elétricos em CA, pois o objetivo não é atribuir uma nota ao acadêmico, mas utilizar a avaliação como instrumento para fornecer informações sobre os conceitos e as operações matemáticas compreendidas e que precisam ser revistas. Sendo assim, ressalta-se novamente os problemas de avaliação como uma etapa do MatELetric para auxiliar nos processos de ensino e de aprendizagem, realizando uma avaliação formativa para envolver os acadêmicos e promover a **predisposição para aprender**.

Além disso, os problemas de avaliação não solicitam a mera repetição de procedimentos, pois apresentam conceitos mais específicos ou complexos daqueles que foram estudados, buscando assim proporcionar a compreensão de semelhanças e diferenças na

análise de circuitos elétricos em CA, potencializando assim a realização da **diferenciação progressiva e reconciliação integradora** pelos acadêmicos. Desse modo, o MatEletric utiliza os *feedbacks* como um instrumento para avaliar a aprendizagem, uma autoavaliação do conhecimento, não atribuindo nota e nem servindo como instrumento punitivo, buscando mostrar que os acadêmicos são importantes e responsáveis na interatividade com o MatEletric, ou seja, **protagonistas** nos processos de ensino e de aprendizagem.

Os argumentos dessa categoria complementam a perspectiva da categoria *Organização didática e dos conteúdos*, reforçando a compressão de que o MatEletric caracteriza-se como um material potencialmente significativo, seja no ensino de números complexos para o Ensino Médio ou de circuitos elétricos em CA para os acadêmicos de Engenharia. Por fim, compreende-se que a utilização de diferentes recursos, em cada fase do MatEletric, associada às avaliações formativas promoveram a liberdade dos acadêmicos escolherem suas rotas de aprendizagem, a partir do seu conhecimento, estilo e ritmo de aprendizagem. No contexto desta tese, considera-se que essas características são necessárias para atender aos diferentes perfis de estudantes, cujos conhecimentos e estilos de aprendizagem são variados, sendo assim, propriedades fundamentais na construção de um OAM potencialmente significativo para acadêmicos de Engenharia.

### 6.3 SUGESTÕES DE APERFEIÇOAMENTOS

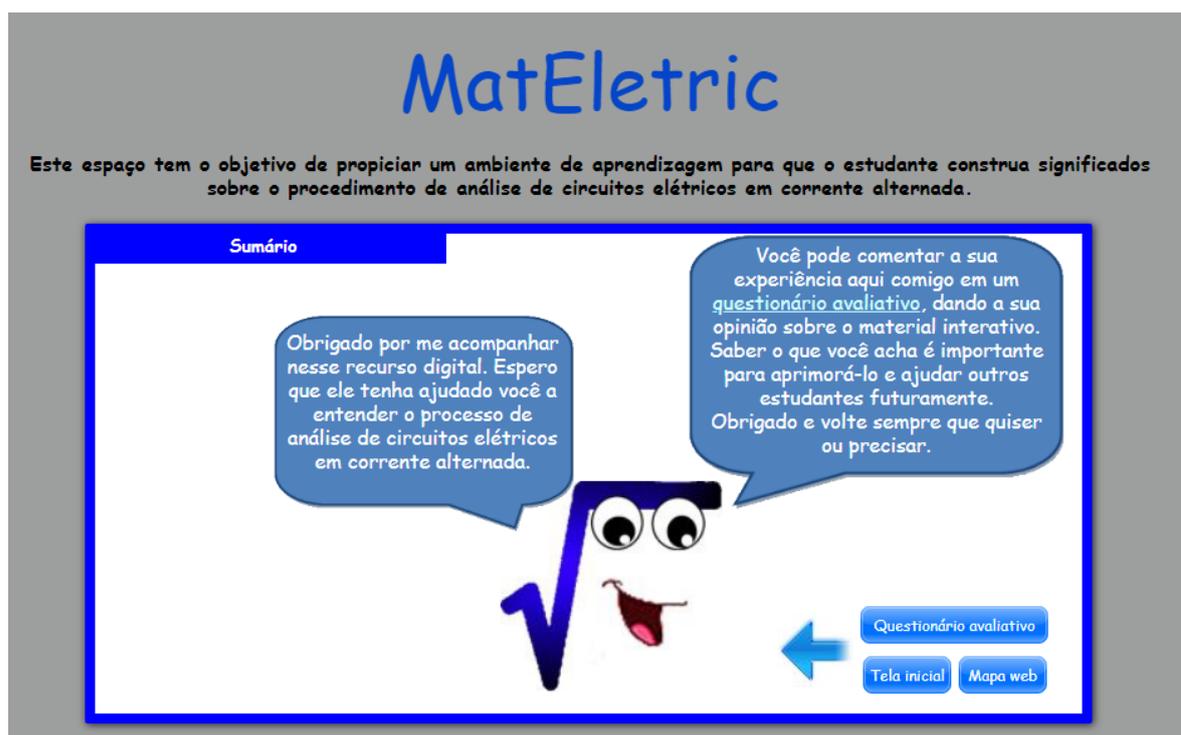
A última categoria, *Sugestões de aperfeiçoamentos*, tem uma representatividade menor em quantidade de fragmentos, mas não menos relevantes que as demais categorias. Tem-se aqui o seguinte argumento aglutinador: o MatEletric apresenta limitações em relação à parte gráfica, à acessibilidade, à falta de recursos interativos, ao sistema de navegação e organização dos conteúdos. Esses aspectos precisam ser aprimorados ou modificados, pois têm potencial para desmotivar ou dificultar a interatividade com o MatEletric, impactando negativamente na predisposição do acadêmico para aprender. Nesse metatexto são apresentadas as principais sugestões, reclamações e deficiências relacionadas ao MatEletric, em virtude da sua representatividade, em termos de quantidade e de seu grau de importância.

O MatEletric, sendo um OAM, apresenta a característica de ser atualizado e aperfeiçoado conforme as necessidades dos usuários e do avanço tecnológico (WILEY, 2000; SÁ FILHO; MACHADO, 2003; SANTAROSA, 2010; BOUCINHA; GRASEL; TAROUCO, 2014). Da mesma forma que um OAM, como TD, requer atualizações e melhorias, o mesmo

acontece para as estratégias de ensino dos professores, especialmente para quem tem, também, o papel de pesquisador.

Bortoni-Ricardo (2008, p. 46) afirma que “o que distingue um professor pesquisador dos demais professores é seu compromisso de refletir sobre a própria prática, buscando reforçar e desenvolver aspectos positivos e superar as próprias deficiências”. De fato, o ideal é que todos os professores assumam o compromisso de refletir e avaliar suas estratégias didáticas, não somente os pesquisadores. De forma análoga, ocorre nesta tese, pois o MatEletric pode ser avaliado por qualquer usuário, não sendo somente um procedimento decorrente da pesquisa de doutorado. A Figura 47 mostra a tela em que qualquer usuário pode avaliar o MatEletric, como material didático, além de apresentar sugestões de aperfeiçoamentos, como as que compõe esta categoria.

**Figura 47** – Tela que mostra a possibilidade de qualquer usuário avaliar o MatEletric



Fonte: Captura de tela do MatEletric. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/294.html>

Em relação às sugestões de aperfeiçoamentos, alguns acadêmicos ressaltaram que o MatEletric, da maneira que está constituído, é um bom material didático, não apresentando pontos negativos, mas aspectos que poderiam ser melhorados, conforme constam nos seguintes relatos: “na minha perspectiva não tem pontos negativos, principalmente porque eu não conheço outras ferramentas parecidas para fazer a comparação. Como te digo, negativos não tem, sugestões sempre, para melhorar, tem” (AE15F30); “sempre tem algo a melhorar”

(AQ09F18); “é um *site* que ainda precisa de algum aprimoramento para ser um *site* recomendado entre os alunos” (AS09F41); e “acho que necessita de algumas adaptações para ser utilizado em larga escala em vários contextos educacionais” (AQ12F25).

A partir desses relatos, compreende-se que o MatEletric consiste num material didático para complementar as aulas dos professores, não apresentando características suficientes para ser indicados entre acadêmicos, possivelmente, devido às suas limitações técnicas, que serão abordadas a seguir. Sendo assim, entende-se que, da forma como está, a indicação do MatEletric entre os acadêmicos fica comprometida, dificultando a sua utilização em uma escala maior, embora os participantes, e principalmente o professor, considerem viável a sua utilização em sala de aula. Além disso, no fragmento AE15F30, compreende-se que o MatEletric não pode ser comparado com outros recursos digitais, pois é diferente na sua essência, por ser fundamentado nos pressupostos teóricos da TAS e da RP, que foi elaborado para atender às necessidades de um público-alvo específico, acadêmicos de Engenharia que estão iniciam os estudos sobre circuitos elétricos em CA.

O MatEletric difere, por exemplo, da plataforma Khan Academy, que foi utilizada pelo professor da disciplina em semestre anteriores, por promover um ensino contextualizado e que relaciona os conceitos da área da Elétrica com conhecimentos matemáticos. A plataforma Khan Academy aborda somente o conteúdo de Matemática e, segundo a perspectiva do professor, foi menos eficaz, pois os acadêmicos fizeram questionamentos sobre a operações de números complexos, sendo necessário retomar o conteúdo em boa parte da aula, algo que não aconteceu na interatividade com o MatEletric.

O MatEletric poderia ser comparado a um recurso utilizado com frequência, por acadêmicos e professores de Engenharia, que consistem nos simuladores<sup>79</sup>. Os simuladores são recursos interessantes para promover o ensino e a compressão de conteúdos da área de Engenharia, mas, para serem utilizados, de forma eficiente, considera-se necessário uma base de conhecimento construída, de modo que os acadêmicos possam analisar e compreender os conceitos envolvidos.

Considerando o contexto da tese, os simuladores sozinhos dificilmente constituíram um material didático para introduzir os conceitos de circuitos elétricos em CA, podendo ser um recurso incorporado as estratégias de ensino do professor para abordar conceitos mais específicos. Desse modo, concorda-se com Torrezann e Behar (2009, p. 33), ao considerar

---

<sup>79</sup> “Simuladores são sistemas de *software* que envolvem simulação de experiências da vida real, destinadas ao desenvolvimento de habilidades onde os desafios apresentados reproduzem fielmente um cenário do mundo real” (TANG; HANNEGHAN; EL RHALIBI, 2009, p. 6)

que as TD, como os simuladores, os OAM e as plataformas digitais, são recursos capazes “[...] de potencializar a reestruturação de práticas pedagógicas, originando novas formas de pensar a respeito do uso da comunicação, da ciência da informação, da construção e da sua interação com a realidade”.

Esses argumentos ressaltam que o MatElettric difere dos recursos digitais citados e utilizados em sala de aula, por isso, no fragmento AE15F30, o acadêmico afirma a impossibilidade de fazer um comparativo. Diante disso, compreende-se que o MatElettric contempla uma importante característica na formação de engenheiros, já que no ensino de “[...] Matemática para Engenharia a questão não é, apenas, o conceito em si, mas como esse conceito pode auxiliar a resolver melhor os problemas dessa área e a entender melhor os fenômenos que aparecem na realidade profissional” (SOARES; SAUER, 2004, p. 256). O MatElettric possibilita essa associação de conceitos e o **estabelecimento de relações** com o seu campo profissional, promovendo a **predisposição para aprender** conhecimentos de diferentes áreas de conhecimento.

Contudo, o MatElettric apresenta limitações e deficiências enquanto material didático e recurso digital. Entre as limitações, a parte gráfica foi aquela que teve maior representatividade, tanto pelas cores como pelo *design*, conforme relatados pelos acadêmicos: “o fundo cinza no início não traz uma ideia de ambiente onde as pessoas vão se sentir confortáveis” (AQ12F32); “como sugestão de aperfeiçoamento seria mudar a disposição do *site* dando uma modernizada na modelagem tanto da página” (AQ06F48); “a primeira impressão não chama tanto a atenção” (AE10F20); e “talvez, se tu não dispor de tempo e de tu só olhar, talvez assim, por exemplo, eu tenho que fazer, mas eu tô meio sem tempo, então eu vou olhar assim e vou deixar quieto, eu não posso e não vou mexer, entendeu!” (AS01F20).

Nesses relatos, observa-se que a primeira impressão causada pelo MatElettric não chama a atenção dos acadêmicos, fazendo com que alguns até se desinteressem de utilizá-lo, em virtude da sua parte gráfica. No fragmento AS01F20, tem-se expressa essa perspectiva, pois mostra que um acadêmico ocupado, com pouco tempo disponível, possivelmente, não daria a atenção necessária ao MatElettric por causa da sua parte gráfica. Apesar da parte gráfica não influenciar diretamente no ensino e na aprendizagem dos conteúdos, os acadêmicos consideram importante que o recurso digital seja visualmente atraente. Corroborando essa visão, tem-se o seguinte relato: “quando eu abri a plataforma eu fiquei com um pouco de receio, porque ela não aparentava que ia ser algo tipo que ia ser bacana tu

fazer. eu achei que iria fazer um trabalho simplesmente para conseguir um ponto” (AQ09F79).

O acadêmico do fragmento AQ09F79 indica que o MatEletric, à primeira vista, não se mostrou atrativo, devido à sua parte gráfica. Inicialmente, o acadêmico considerou que a interatividade com o MatEletric seria uma atividade obrigatória, sem uma perspectiva de ampliar conhecimento, como se fosse uma avaliação meramente somativa. Contudo, esse mesmo acadêmico apresentou vários relatos, nas outras categorias, ressaltando a qualidade do conteúdo e dos recursos utilizados, confidenciando que o MatEletric o surpreendeu positivamente, pois, apesar da parte gráfica não ser atrativa, a organização didática e de conteúdos favorece a compreensão de conceitos e das operações. Diante disso, entende-se que a parte gráfica impacta na interatividade com o MatEletric, ou seja, na **predisposição do acadêmico** para utilizá-lo e, conseqüentemente, para aprender.

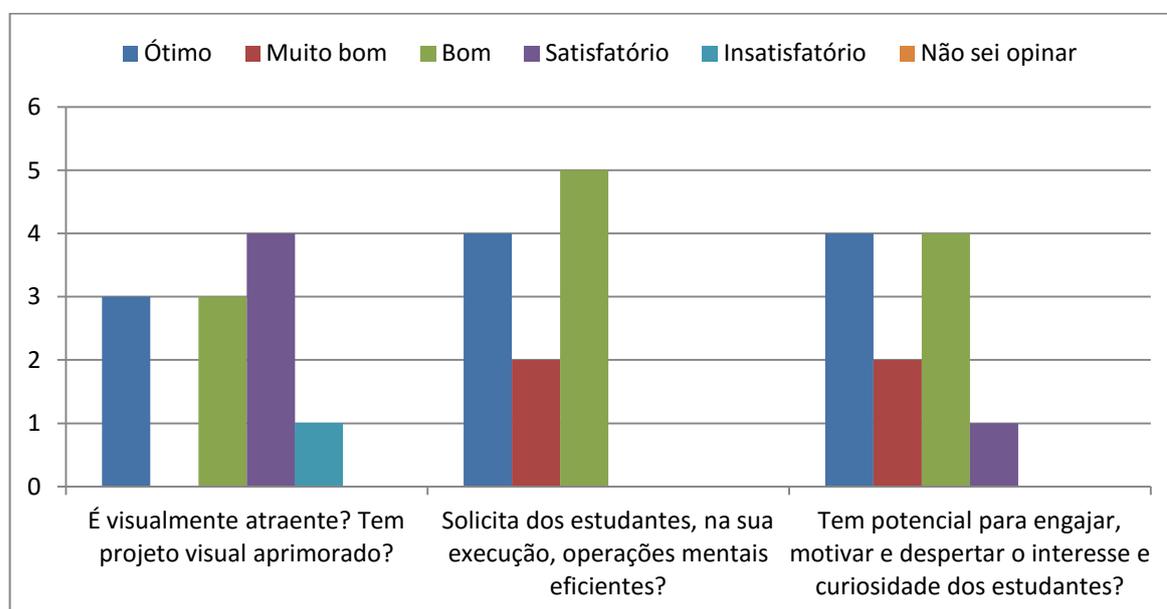
O ideal seria realizar aperfeiçoamentos na parte gráfica, pois, mesmo sendo o conteúdo apresentado com qualidade, o MatEletric pode causar pouco interesse e baixo nível de atenção, fazendo com que os acadêmicos não se sintam motivados e provocando uma mera memorização arbitrária e literal dos conceitos solicitados na tarefa de aprendizagem. Segundo a TAS, independentemente da tarefa de aprendizagem ter características de um material potencialmente significativo, se o estudante não estiver predisposto para aprender, então as informações, possivelmente, serão memorizadas arbitrariamente e literalmente, resultando em uma aprendizagem mecânica. E o inverso também é válido, se a tarefa de aprendizagem não for planejada como um material potencialmente significativo, o estudante, mesmo estando predisposto para aprender, não conseguirá incorporar os conhecimentos à sua estrutura cognitiva de forma não arbitrária e substantiva (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2008a).

O MatEletric apresentou vários indícios para constituir-se como um material potencialmente significativo, contudo, a sua parte gráfica pode ser um fator para desmotivar os acadêmicos, impactando na **predisposição para aprender**. Em relação a esse aspecto, vários acadêmicos compararam o MatEletric aos primeiros recursos digitais criados e utilizados no início dos anos 2000, em virtude das cores utilizadas e do *layout* que se assemelhe a *slides*: “[O MatEletric] parece com *blogs* antigos sobre determinados assuntos” (AS12F16); “essa simplicidade se assemelha a de um *site* antigo, algo feito no início dos anos 2000” (AS09F11); “o aplicativo possui um estilo que relembra os primeiros aplicativos de internet” (AS15F11); e “poderia ter menos aspecto de *slides*” (AS14F27).

Essas limitações podem interferir na escolha do MatElettric e na sua utilização, ou não, em sala de aula, em virtude da impressão que causa de ser “velho”, um material “desatualizado”. Essa primeira impressão, em sala de aula também pode impactar negativamente na **predisposição do acadêmico para aprender**, posto que ele possivelmente não se mostrará interessado e disposto em estudar com o MatElettric. Contudo, na interatividade com o MatElettric, tem-se a expectativa, conforme constatado nos relatos das outras categorias, que os usuários vão reconhecer as suas potencialidades, enquanto material didático para complementar as aulas para ensinar circuitos elétricos em CA.

Behar (2009, p. 27) considera que a seleção de um recurso digital para as aulas deve levar em consideração, principalmente, o conteúdo ensinado, mas também “[...] o *design* deste tipo de material, se une fatores técnicos, gráficos e pedagógicos, se é motivador (ou não) para o aluno, se é interativo, entre outros aspectos”. Nesta tese, os fatores técnicos e pedagógicos foram contemplados satisfatoriamente, conforme consta nas outras categorias, mas os gráficos precisam ser aperfeiçoados. Corroborando essa perspectiva, a Figura 48 indica uma avaliação satisfatória para os fatores pedagógicos, mas não suficiente para os gráficos.

**Figura 48** – Gráfico que sintetiza a avaliação da apresentação do MatElettric



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir dos dados construídos no instrumento de avaliação de OA.

Os fatores pedagógicos do MatElettric são destacados por promover operações mentais e a interatividade, devido à sua organização didática e a qualidade do conteúdo apresentado. Os participantes da pesquisa reconhecem que o MatElettric, por meio do Radice,

busca envolver os acadêmicos no processo de aprendizagem. O Radice guia e orienta na interatividade com o MatElettric, além de realizar questionamentos reflexivos, fazendo com que os acadêmicos pensem e reflitam sobre o conteúdo ou o procedimento adotado na análise de circuitos elétricos em CA. Esse é um dado que ressalta a possibilidade do acadêmico ser **protagonista** no processo de aprendizagem, em todas as fases do MatElettric. Contudo, na avaliação dos fatores gráficos, se comparando com os demais critérios, pode ser melhorados.

O desenvolvimento de um OAM, como materiais didáticos, requer a participação de diferentes profissionais, uma equipe interdisciplinar, para atender de forma satisfatória aos critérios de avaliação (BEHAR; MACEDO; SOUZA; BERNARDI, 2009; TORREZANN; BEHAR, 2009). Segundo Torrezann e Behar (2009, p. 53), “torna-se necessária a formação de uma equipe interdisciplinar, [...] integrada por pedagogos, professores, educadores, *designers*, técnicos em informática, programadores e conteudistas”.

Na presente tese, o pesquisador realizou esforços para desempenhar as funções de cada um desses profissionais, de modo satisfatório, contudo houve limitações, por falta de conhecimento, que impossibilitaram de atingir a qualidade desejada, como, por exemplo, em relação à parte gráfica. Nessa perspectiva, Behar, Macedo, Souza e Bernardi (2009) afirmam que, em geral, o desenvolvimento de OAM não conta com uma equipe interdisciplinar, mas com um grupo pequeno que busca realizar o trabalho que seriam de profissionais de diferentes áreas de conhecimento.

Outros relatos indicam que as sugestões para aperfeiçoar a parte gráfica do MatElettric seriam para qualificá-lo ainda mais enquanto material didático, conforme constam nos seguintes relatos: “acredito que o ganho na parte gráfica e na animação do guia [Radice] deixe o recurso com um ar mais agradável” (AQ18F02); “e quando, talvez, essa parte gráfica, tu chamando mais a atenção, de que forma aí eu também não consigo te dizer, mas, se puder, dá um uma olhada para essa parte, daí fica *top* o objeto de estudo” (AQ09F32); e “e a questão dos gráficos, eu só falei para falar alguma coisa negativa que também não é negativo” (AE15F41).

Os acadêmicos expressam que as limitações na parte gráfica não interferem na qualidade do MatElettric enquanto material didático, apenas deixam o ambiente mais agradável para estudar os conteúdos. Conforme constam nos fragmentos AQ09F32 e AE15F41, a parte gráfica não é atrativa para os acadêmicos, mas também não prejudicam a qualidade e a organização dos conteúdos, ou seja, o MatElettric não perde a sua essência, que é a de promover a aprendizagem de conceitos, de operações e de procedimentos de análise de circuitos elétricos em CA. O aperfeiçoamento da parte gráfica agregaria benefícios ao

MatElettric, como material didático, contudo, o presente pesquisador tem limitações e não apresenta conhecimento suficiente para fazer essas alterações, sendo assim necessário ajuda de um *designer* gráfico.

Além de um *designer* gráfico, para atender outra solicitação dos participantes da pesquisa seria necessária a ajuda de um programador. O MatElettric é indicado para ser utilizado em computadores/*notebooks*, em virtude da sua programação. Em dispositivos móveis, as telas podem ficar com as letras pequenas ou sobrepondo conteúdos. Entretanto, os acadêmicos estão mais familiarizados a utilizar os dispositivos móveis, que estão substituindo os computadores/*notebooks*. Possivelmente em virtude disso, houve sugestões para transformar o MatElettric em um aplicativo de *smartphone*: “acredito que minha única sugestão é transformar o programa em um conceito de aplicativo” (AS01F15); “para aprimorar ainda mais o *site*, além das dicas já descritas, o estudante poderia ter um usuário, sendo possível baixar os formulários, salvar suas respostas, auxiliando em estudos posteriores” (AS06F37); “quem sabe jogar essa galerinha nova que tá entrando na universidade, dos seus dezoito, dezenove anos, querendo ou não, é o mundo digital deles, então tu aplicar, quem sabe, num aplicativo” (AE03F37); e “como sugestão de aprimoramento, o MatElettric poderia ter um ambiente [com *login*] onde as atividades podem ser salvas ou dar continuidade nos estudos em momentos diferentes” (AQ06F48-49).

Essas sugestões dos acadêmicos podem ser atendidas por um programador, pois envolvem conhecimentos avançados de informática para criar um aplicativo que permita o acompanhamento das atividades resolvidas. O atendimento dessas sugestões possibilitaria um acompanhamento individual, um ensino mais personalizado. Desse modo, os acadêmicos, possivelmente, estariam mais confortáveis em utilizar o MatElettric, por ser um aplicativo de *smartphone*. Esses aperfeiçoamentos trazem benefícios para um **ensino individualizado** e a **predisposição para aprender**, pois a navegação ocorreria em um recurso digital e virtual similar quais àqueles que os acadêmicos estão habituados a utilizar no dia a dia (TORREZANN; BEHAR, 2009).

Apesar do pesquisador não ter conhecimento para implementar as solicitações da parte gráfica e de programação do MatElettric, mostra-se disposto a realizar um trabalho cooperativo e interdisciplinar para atender às necessidades dos acadêmicos de Engenharia. Essa perspectiva é compartilhada por Behar, Macedo, Souza e Bernardi (2009, p. 66) que relatam a necessidade de que os materiais didáticos e digitais “[...] deem conta deste novo contexto que exige a participação de profissionais com uma formação bastante aberta, de preferência interdisciplinar, e que possam transitar livremente pelas áreas de conhecimento

implicadas no desenvolvimento de OAs”. Desse modo, com profissionais especializados e dispostos a auxiliar, possivelmente, os resultados no MatElettric seriam ainda melhores enquanto material didático para o ensino de circuitos elétricos em CA.

Em relação aos conteúdos, os acadêmicos indicaram que o de números complexos foi pouco abordado no MatElettric, ou que não proporcionou a compreensão de conceitos e operações com tais números, conforme os seguinte relatos: “algumas explicações de como resolver números complexos ficaram meio vagas” (AQ01F05); e “poderia ter sido estudado mais sobre esta seção em específico, visto que foi dedicado mais tempo na revisão de conteúdos do que propriamente nos números complexos” (AS13F32). Os acadêmicos, por meio desses relatos, indicam que tiveram dificuldades de estudar o conteúdo de números complexos no MatElettric, sendo essa uma limitação do material didático.

A dificuldade em compreender o conteúdo, segundo a TAS, pode estar associada ao material didático ou à predisposição do acadêmico para aprender. Nas categorias *Organização didática e dos conteúdos* e *Ensino individualizado e autoavaliação do conhecimento*, há indicativos que permitem caracterizar o MatElettric como um material potencialmente significativo, porém, isso não implica que seja considerado desse modo por todos os acadêmicos. Contudo, os relatos dos participantes têm confirmado que o MatElettric foi planejado e construído considerando os pressupostos teóricos da TAS.

O material é somente potencialmente significativo. A construção de significado ocorre no esforço cognitivo em promover a interação do conhecimento prévio com os conceitos estudados. Desse modo, a utilização de materiais potencialmente significativos não implica propiciar a compreensão dos conteúdos para todos, pois os conhecimentos diferem em cada acadêmico, bem como o nível de interesse e de atenção empregado na realização das atividades. Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1980, p. 42), para a TAS, “[...] estes materiais são apenas potencialmente significativos. Se já forem significativos, o objetivo da aprendizagem significativa – ou seja, a aquisição de novos significados – se completa por definição, antes mesmo de qualquer tentativa de aprendizagem”.

Em virtude disso, alguns acadêmicos consideraram que o MatElettric ou não disponibilizou um conteúdo interessante, como os dos fragmentos AQ01F05 e AS13F32, ou que eles não estavam predispostos a um esforço cognitivo ou ainda que não tiveram interesse em utilizar os diversos recursos disponíveis para compreender o conteúdo. Uma característica do MatElettric que pode ter dificultado o estudo e a compreensão dos números complexos consiste na liberdade de escolha do acadêmico.

A liberdade de escolha é uma característica que foi abordada na categoria *Ensino individualizado e autoavaliação do conhecimento*, que pode ter dificultado a compreensão dos conteúdos, pois os acadêmicos, geralmente, são sujeitos passivos nas aulas, recebendo as informações e compreendendo-as, de forma mecânica ou significativa. No MatEletric, o acadêmico torna-se **protagonista**, pois o tempo de interatividade, os recursos utilizados e a progressão das atividades ocorrem conforme as necessidades e o interesse de cada um. Os *feedbacks*, as resoluções detalhadas e os problemas finais proporcionam autoavaliações das aprendizagens desenvolvidas, mas a decisão de revisar, reforçar ou retomar conteúdos cabe somente ao acadêmico. Esses fatos reforçam o papel ativo dos acadêmicos no estudo e na aprendizagem de conteúdos.

Um relato que reforça a compreensão de que a liberdade de escolha dificultou o estudo de números complexos está expresso no seguinte relato: “na minha opinião, a ideia de ‘rapidez’ do curso, neste caso [no estudo de números complexos], não é viável” (AQ13F52). O MatEletric possibilita que o acadêmico avance rapidamente nas atividades, bem como disponibiliza recursos para estudar os conteúdos, permitindo que se façam e refaçam as atividades e os exercícios, conforme o interesse e necessidade de cada acadêmico. O MatEletric não estipula e nem limita o tempo de interatividade com os recursos, cabendo ao acadêmico definir o tempo e o ritmo para aprender os conteúdos.

A liberdade de escolha do acadêmico permite que se estude números complexos de forma rápida ou devagar, lendo textos ou assistindo vídeos, utilizando um ou vários recursos didáticos, além de poder avançar nas atividades do MatEletric sem ter compreendido os conceitos e as operações com tais números. No MatEletric, o acadêmico trilha seus próprios caminhos no estudo dos conteúdos, recebendo indicativos dos conteúdos compreendidos por meio das autoavaliações, tornando-se sujeito autônomo e responsável pelo processo de aprendizagem, mas isso não necessariamente acarreta aprendizagens.

Ainda em relação aos conteúdos, houve acadêmicos que sugeriram que o MatEletric deveria ter um conteúdo mais amplo, com mais exemplos resolvidos para cada conteúdo: “podem ser inseridos mais exemplos ou exercícios resolvidos dentro de cada conceito explicado” (AQ18F40); “sugestão seria colocar alguns exercícios de encontro com o conteúdo, assim você lê sobre o conteúdo e faz alguns exercícios junto” (AS02F16); “outros recursos interessantes poderiam ser listas de exercícios resolvidas passo por passo, de livros ‘clássicos’, do tipo respondeai.com.br, explicando como resolver e as bases teóricas para fazê-lo” (AS15F33); e “o MatEletric precisa de um material mais completo para um público mais avançado” (AQ01F10).

A inclusão de exercícios resolvidos passo a passo foi abordada na categoria *Organização didática e dos conteúdos*, na qual se considerou que essa estratégia iria limitar a ação cognitiva, ao ensinar roteiros de resolução para os acadêmicos, não sendo esse o objetivo do recurso. O MatELetric busca envolver os acadêmicos no processo de aprendizagem de conhecimentos introdutórios de circuitos elétricos em CA, sendo um material didático para complementar a aula do professor. Ele poderia ser mais amplo, abordando conceitos mais específicos ou circuitos elétricos mais complexos, mas, possivelmente, isso ocasionaria cansaço nos acadêmicos, tornando-o um ambiente não agradável.

O objetivo do MatELetric é introduzir conceitos e procedimentos para analisar circuitos elétricos em CA, cabendo ao professor abordados conteúdos mais específicos e complexos nas aulas. Nessa perspectiva, faz-se importante o professor conhecer as TD antes de disponibilizá-las nas suas aulas, além de “[...] ficar atento ao momento adequado para a sua introdução. A aula deve ser dinâmica e os *softwares* utilizados devem estar relacionados com as atividades curriculares dos projetos e estimular a resolução de problemas” (TAJRA, 2012, p. 72). O MatELetric contempla essa perspectiva, ao abordar conteúdos curriculares de modo contextualizado, considerando pressupostos teóricos da TAS e da RP, possibilitando que o acadêmico tenha uma aula mais dinâmica e interessante, mesmo para conceitos considerados difíceis.

As disciplinas de Elétrica geralmente são aquelas em que os acadêmicos de Engenharia apresentam maiores dificuldades de compreensão, conforme consta no relato: “mesmo sendo uma área de pior entendimento para estudantes de mecânica, civil ou demais áreas, o material deixa isso muito mais claro” (AS11F08). Nesse relato, compreende-se que o conteúdo de circuitos elétricos não é facilmente compreendido pelos acadêmicos, mas, o MatELetric possibilitou o ensino e a aprendizagem de conceitos introdutórios.

A ampliação do MatELetric implica mudar seu objetivo didático, passando de um complemento da aula para praticamente um substituto, consistindo assim em um recurso autônomo para promover o ensino de conceitos gerais e específicos de circuitos elétricos em CA. Como os próprios acadêmicos reconhecem que os conhecimentos de Elétrica são difíceis, possivelmente, um recurso digital sozinho não seria suficiente para promover aprendizagens. Diante disso, considera-se fundamental o professor utilizar outras estratégias de ensino para promover a construção de significados.

Demo (2000) afirma que o professor deve proporcionar atividades que estimulem o trabalho cooperativo, por meio de debates e compartilhamento de ideias, ou ainda a manipulação, a experimentação e a construção de conjecturas, por meio de experimentos e

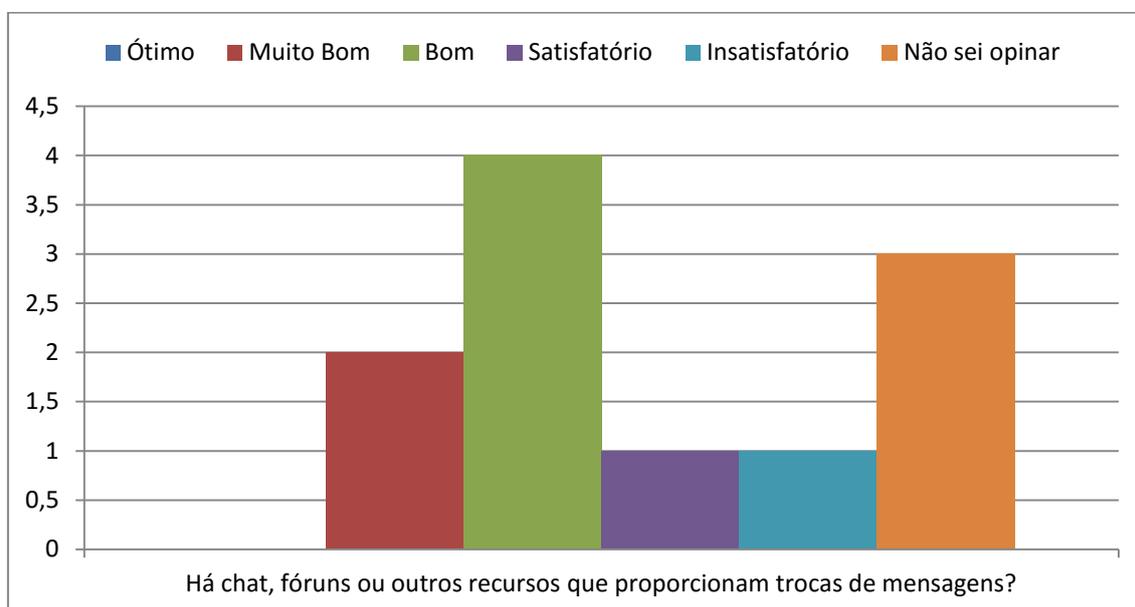
investigações. No contexto da tese, considera-se que os debates (o compartilhamento de ideias) e os experimentos em laboratórios são alternativas didáticas com potencial para ampliar os conhecimentos dos acadêmicos.

Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1980, p. 390)

o debate, por outro lado, é o mais eficiente e realmente o único método possível de promover o crescimento intelectual, no que diz respeito aos aspectos menos determinados e mais controvertidos da matéria. Ele fornece a melhor maneira de alargar os horizontes intelectuais dos alunos, de estimular seu raciocínio através da fecundação cruzada, de esclarecer suas opiniões e de medir a força dessas opiniões contra as opiniões dos outros.

O MatEletric apresenta um ambiente para promover debates, de forma assíncrona, que consiste do *Fórum de discussões*, mas os participantes tiveram dificuldade de encontrar tal recurso e de utilizá-lo. O fórum de discussões é uma alternativa para os acadêmicos compartilharem ideias e conhecimento, contemplando assim a característica da interação de um OAM, mesmo que esse recurso não tenha recebido uma avaliação muito boa, conforme consta na Figura 49.

**Figura 49** – Gráfico que sintetiza a avaliação da interação do MatEletric



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir dos dados construídos no instrumento de avaliação de OA.

Na Figura 49, um fato que chama atenção consiste em que alguns acadêmicos não souberam opinar em relação à existência de fórum no MatEletric. Essa resposta pode estar associada à falta de tempo dos acadêmicos ou ainda à realização de estudo superficial com os recursos do MatEletric, em virtude do que não se sentiram confiantes e com conhecimento

para responder a essa questão. Além disso, pode indicar a falta de criticidade dos acadêmicos, os quais possivelmente não quiseram colocar a avaliação como *insatisfatória*, optando por se absterem de responder.

A capacidade crítica é desenvolvida quando o acadêmico torna-se protagonista no processo de aprendizagem, exercendo um papel ativo na realização e na avaliação de atividades. Contudo, conforme foi relado, no ensino de Engenharia, ainda prevalece um ensino meramente expositivo com avaliação somativa dos conteúdos, o qual potencializa a aprendizagem mecânica e a passividade dos acadêmicos.

Além dessa avaliação dos participantes, há relatos que indicam a necessidade melhorar a interação entre acadêmicos, para sanar dúvidas e compartilhar ideias e conhecimentos: “como sugestão poderia ter uma sala de interação entre os estudantes, tipo Google Meet” (AQ06F27); “porém quando abri [o fórum] não aparecia opção de digitar alguma dúvida” (PQ01F43); “é importante existir locais para trocas de mensagens, para que o MatEletric seja mais bem reconhecido” (AQ03F23); “não consegui ver se tinha *chat*” (AQ15F20); “não encontrei *chat*” (AQ13F36); e “somente ficou mais complicado quanto a dúvidas, pois não achei ponto de auxílio” (AS05F12).

Nesses relatos observa-se que os acadêmicos tiveram dificuldade em encontrar o fórum no MatEletric. Em virtude disso, o sumário e algumas telas foram modificadas, destacando mais esse recurso. A Figura 50 mostra as modificações realizadas no MatEletric, que destacam o ambiente do *Fórum de discussões*, permitindo um fácil acesso aos acadêmicos. Desse modo, espera-se que esse ambiente seja mais bem aproveitado pelos acadêmicos e pelo professor.

**Figura 50** – Modificações realizadas no MatEletric para destacar o ambiente do Fórum

# MatEletric

Este espaço tem o objetivo de propiciar um ambiente de aprendizagem para que o estudante construa significados sobre o procedimento de análise de circuitos elétricos em corrente alternada.

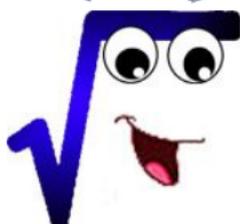
Sumário

- Diferença entre CC e CA
- Conceito de impedância
- Reatância indutiva e capacitiva
- Normas da ANEEL e fator de potência
- Questionário de números complexos
- Estudo de números complexos >
- Questionário sobre resistores, indutores e capacitores
- Análise de circuitos elétricos em CA >
- Fórum de discussões
- Avaliação de aprendizagem
- Avaliação do objeto de aprendizagem

Tensão no indutor:  $V_L = 60,18 \angle 53^\circ$  [V]

Conseguiu resolver o problema?  
Confira as respostas ao lado.

Se você teve dificuldades, clique no resultado incorreto.  
Caso queira resolver mais um circuito em série, [clique aqui](#).




← →

Tela inicial
Mapa web

Fonte: Captura de tela do MatEletric. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/240.html>

Além disso, o professor da disciplina não tinha conseguido realizar postagens no fórum, em virtude da programação do provedor do fórum que permite somente a usuários fazer postagem. O processo de cadastro no fórum é fácil, rápido e gratuito, sendo que qualquer usuário pode cadastrar-se para ter acesso ao conteúdo desse e de outros fóruns. Os usuários que não são cadastrados podem somente visualizar as postagens realizadas. Essa é uma limitação que pode atrapalhar a interação entre os acadêmicos, impactando na predisposição para aprender. Diante disso, considera-se importante que o professor e todos os acadêmicos façam o cadastro para ampliar o nível de interação no fórum.

Apesar de ser necessário cadastrar, o fórum traz benefícios para o processo de aprendizagem, como, por exemplo, “[...] qualquer membro envolvido na discussão pode acessar as mensagens dos outros participantes, pois todas as comunicações ocorridas por meio do fórum ficam publicadas. Também, em um dado momento, qualquer um dos membros que queira abrir uma nova discussão pode fazê-lo” (TAJRA, 2012, p. 153). No MatEletric, os membros do fórum podem postar dúvidas, e qualquer usuário tem acesso ao conteúdo, mas não pode fazer interações, limitando o acesso a somente visualizar as informações postadas por quem é cadastrado. O presente pesquisador tem o interesse de criar um fórum gratuito e de acesso livre aos usuários, promovendo e facilitando a interatividade, porém ainda não se encontrou nenhum recurso para construir um fórum com tais características.

Apesar dessa limitação do *Fórum de discussões*, o MatEletric é um material didático para complementar o ensino de circuitos elétricos em CA, sendo assim, o professor pode promover discussões em aula, sejam presenciais ou virtuais. No fragmento AQ06F27, o acadêmico mostra-se interessado em realizar discussões síncronas, por meio do Google Meet, sendo um recurso importante para tirar dúvidas e propiciar a compreensão de novos conteúdos. O Google Meet foi utilizado para realizar as aulas virtuais, contudo, o professor o utilizava para explicar o conteúdo, realizar exemplos e tirar eventuais dúvidas, portanto, durante as observações realizadas não foram promovidos debates ou compartilhamentos de ideias entre os acadêmicos.

Kenski (2006) considera que os debates promovem o compartilhamento de ideais e conhecimentos que possibilitam a permanente construção e reconstrução de significados, propiciando o desenvolvimento cognitivo e intelectual nos estudantes. Além disso, investigações de métodos ativos indicam que a exposição e a leitura são estratégias que proporcionam um baixo percentual de compreensão de conteúdos nos estudantes, sendo que os melhores índices ocorrem por meio de discussões em grupos, associados com outras práticas de ensino (WOOD, 2004; TERRA, 2016; PAIVA *et al.*, 2016).

Considerando esse contexto, o debate em sala de aula associado ao MatEletric possivelmente irá promover melhores resultados de aprendizagem se comparado com a exposição do professor. O acadêmico, ao utilizar o MatEletric, pode construir uma base de conhecimento para estabelecer um diálogo com os demais colegas. Esse conhecimento-base é fundamental para compreender o conteúdo, pois o debate não aumenta “[...] os resultados da aprendizagem numa dada área a não ser que os alunos possuam a informação de fundo necessária, que é um pré-requisito para uma discussão inteligente e bem informada” (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980, p. 423). Quando o estudante tem conhecimentos básicos, isso permite que o debate auxilie na “[...] identificação de lacunas ou deficiências em suas estruturas conceituais, e na compreensão de como novas informações se relacionam a conceitos maiores e mais inclusivos” (NOVAK, 1981, p. 146). Diante disso, o debate associado ao MatEletric é uma alternativa para o professor aperfeiçoar a sua estratégia de ensino, além da possibilidade de também fazer experimentos com circuitos elétricos.

Em relação aos experimentos em laboratórios, essa alternativa didática busca estabelecer relações entre a teoria e a prática, aumentando o interesse dos acadêmicos sobre o conteúdo, ou seja, colaborando para que tenham **predisposição para aprender**. Na análise de circuitos elétricos em CA, os acadêmicos podem montar circuitos e verificar se os valores calculados, para cada componente elétrico, estão corretos, por meio da medição da resistência,

da tensão e da corrente elétrica, respectivamente, pelos aparelhos ohmímetro, voltímetros e amperímetro.

Segundo Moreira e Masini (2006), a utilização de experimentos em sala de aula proporciona a confiabilidade sobre o conceito estudado, sendo uma característica importante para construir significados. O fato de os acadêmicos poderem confirmar a veracidade dos conceitos possibilita o estabelecimento de **relações não arbitrárias e não literais** do seu conhecimento com os significados construídos no experimento, por meio da **diferenciação progressiva e da reconciliação integradora**.

Nesse contexto, os processos de ensino e de aprendizagem envolvem objetos concretos, os quais facilitam e promovem o desenvolvimento de habilidades, como a proposta na BNCC para o 8º ano do Ensino Fundamental: “construir circuitos elétricos com pilha/bateria, fios e lâmpada ou outros dispositivos e compará-los a circuitos elétricos residenciais” (BRASIL, 2018, p. 349). Esse é um exemplo de habilidade para ser desenvolvida com auxílio de experimento em laboratórios. De forma similar ocorre para os acadêmicos de Engenharia, que têm como objetivo construir e analisar o comportamento dos componentes elétricos de circuitos elétricos em CA.

Ausubel (AUSUBEL; NOVAK; HANESIAN, 1980; NOVAK, 1981), assim como Piaget (PIAGET, 1976, 1990), consideraram a utilização de objetos concretos para promover o desenvolvimento intelectual e cognitivo nos estudantes. De forma complementar, Fazenda (2011, p. 56) afirma que “[...] a palavra só tem sentido, ou significado na ação”, ou seja, no esforço cognitivo do estudante em compreender o conteúdo ou em construir conjecturas a partir da interação com objetos concretos.

Becker (1993, p. 21) relata que “a experiência é condição necessária do desenvolvimento da inteligência mas não suficiente, pois pressupõe, em todos os períodos, não só no sensório-motor, a atividade estruturante do sujeito, atividade esta de origem endógena”. Diante disso, a interação com objetos concretos não deve ocorrer somente na idade infantil, mas também “[...] aprendizes adultos precisam alguma experiência com apoios empíricos concretos ao ingressar em uma nova área de estudo” (NOVAK, 1981, p. 115). Essa perspectiva é justificada na medida em que os experimentos em laboratórios estabelecem relações entre conteúdo teórico com situações práticas, permitindo que os estudantes construam significados a partir do esforço cognitivo realizado para compreender os resultados do experimento.

Apesar desses benefícios dos experimentos em sala de aula, Bazzo, Pereira e Linsingen (2008, p. 42) não recomendam atribuir muita ênfase às práticas

Não se quer afirmar que aulas práticas não sejam componentes importantes. Mas não se pode perder de vista que muitas vezes o incentivo exacerbado dado às práticas dentro das escolas de engenharia é uma forma subliminar de tornar irrelevante a teoria e principalmente a reflexão no processo de aprendizagem.

Nessa perspectiva, os experimentos devem ser utilizados com critérios bem definidos, não somente para confirmar valores ou a veracidade de conceitos, mas como uma prática que permite o desenvolvimento de outras capacidades e habilidades, proporcionando o desenvolvimento intelectual e cognitivo dos acadêmicos. Nas aulas dos cursos de Engenharia, os acadêmicos precisam exercer a função de protagonistas no processo de aprendizagem, ou seja, as simulações não devem ser guiadas por um roteiro fixo com determinadas perguntas, mas precisam permitir a análise, a verificação de hipóteses para promoverem a construção de significados, por meio do estabelecimento **relações não arbitrarias e não literais** dos conceitos teóricos com as práticas desenvolvidas.

No ensino virtual, uma forma de agregar os experimentos consiste na utilização de simuladores. A incorporação de simuladores foi uma sugestão dos acadêmicos para promover uma maior interatividade com o MatELetric, conforme se observa nos relatos: “estas ferramentas [simulações] auxiliariam na aprendizagem dos conteúdos, na análise de circuitos oportunizando uma experiência mais prática” (AS06F25-26); “mas seria interessante adicionar experimentos *online*, como por exemplo no *site* <https://www.vacak.cz/?p=2192&language=pt#kapitola10>. Possui várias simulações de diferentes campos da física” (AS15F35); “o que poderia agregar um pouco mais seria alguma forma interativa de montagem de circuitos elétricos” (AS04F23); e “seria interessante ter acesso a experimentos *online*” (AQ15F35).

A Figura 51 ilustra o modo que os simuladores foram incorporados, como um recurso complementar. A ideia inicial seria incorporar as simulações dentro do MatELetric, contudo, o provedor não permite, sendo assim, disponibilizaram-se *links*, de acesso a vários simuladores. No fragmento AS15F35, o acadêmico apresenta um *link* que disponibiliza diferentes simuladores; em virtude de ser uma indicação e de atender a objetivos didáticos propostos no MatELetric, optou-se por utilizá-lo.

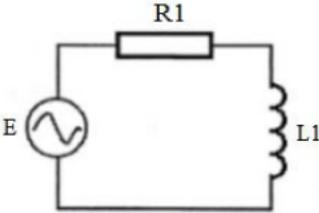
**Figura 51** – Tela que mostra a incorporação de simuladores no MatELetric

# MatEletric

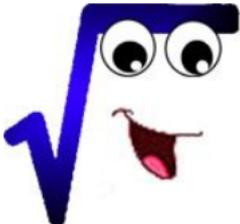
Este espaço tem o objetivo de propiciar um ambiente de aprendizagem para que o estudante construa significados sobre o procedimento de análise de circuitos elétricos em corrente alternada.

**Sumário**

Analise o circuito representado abaixo, em que  $R1 = 8 \Omega$ ,  $L1 = 16 \text{ mH}$  e  $E = 100 \text{ V @ } 60 \text{ Hz}$ , e calcule os valores de módulo e fase da impedância, da corrente elétrica e da tensão em cada componente.



Antes de avançar, resolva o problema.



Agora que você estudou números complexos e os componentes do circuito elétrico, fica mais fácil.

Para acessar um simulador de circuito RCL em série, [clique aqui!](#)

← →

Tela inicial   Mapa web

Fonte: Captura de tela do MatEletric. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/235.html>

Além disso, os relatos indicam que as simulações promoveriam uma maior interatividade, auxiliando na compreensão dos conteúdos e desenvolvendo outras habilidades, permitindo que os acadêmicos façam “[...] demonstrações que, em um ambiente natural, envolveria algum risco e/ou bastante tempo e recursos” (BOUCINHA; GRASEL; TAROUCO, 2014, p. 167). Diante disso, os simuladores de circuitos elétricos tornam-se mais um recurso do MatEletric, como uma atividade complementar, que o acadêmico tem a liberdade de escolha para utilizar ou não, proporcionando o desenvolvimento de outras habilidades. Os simuladores, além de aumentarem a interatividade, têm potencial para tornar o conteúdo mais atrativo e, assim, colaboram para promover a **predisposição para aprender**.

Apesar de se julgar que os simuladores têm potencial para promover a construção de significados, considera-se que os experimentos em laboratório, manipulando os componentes elétricos e montando circuitos, proporcionam mais benefícios para professores e acadêmicos em relação aos processos de ensino e de aprendizagem. Essa convicção justifica-se pela possibilidade de os acadêmicos realizarem um esforço físico e mental ao manipular materiais elétricos, construir circuitos, realizar medições e analisar o comportamento do circuito. Os experimentos em laboratório possibilitam a construção de circuitos com diferentes componentes e associados de formas distintas (série, paralelo e misto), mas não é possível construir circuitos elétricos mistos nos simuladores encontrados.

Ainda em relação a alternativas didáticas para complementar a aula do professor, um acadêmico sugeriu que “para aumentar a gama de recursos didáticos disponíveis no MatELetric, seria interessante criar uma plataforma para jogo de conhecimento, algo similar ao Kahoot!” (AS03F30). Apesar de o acadêmico sugerir a incorporação de algo similar ao Kahoot!, entende-se que é viável o professor utilizar o jogo, de forma simultânea ou após a interatividade com o MatELetric. O Kahoot! é uma plataforma de apoio à aprendizagem, baseada em jogos, consolidada mundialmente, sendo gratuita, compatível com qualquer sistema operacional e com *smartphones* e com uma interface intuitiva (MELO *et al.*, 2017; SANDE; SANDE, 2018).

Diante disso, considera-se que não precisa desenvolver um jogo similar ao Kahoot!, pois a própria plataforma pode ser utilizada em sala de aula, da forma como o professor achar conveniente, seja para introduzir ou revisar conteúdos e até mesmo realizar uma avaliação formativa (KAHOOT, 2021). O MatELetric, diferente do Kahoot!, não disponibiliza uma visualização adequada nos *smartphones*, sendo essa uma sugestão de aperfeiçoamento sugerida pelos acadêmicos, transformando-o em um aplicativo. Apesar disso, ambos, MatELetric e Kahoot!, consistem em TD que buscam propiciar a ação cognitiva no processo de aprendizagem, sendo um recurso com potencial para promover a construção de significados, cabendo ao professor utilizá-lo de um modo coerente, considerando os pressupostos teóricos, como os da TAS, e as tendências educacionais, como da RP.

Outra sugestão apresentada pelos acadêmicos consiste em criar uma calculadora *online* de números complexos, conforme consta nos relatos: “também um conversor da forma trigonométrica para a forma algébrica e vice-versa também” (AS08F22); “a minha sugestão de melhoria seria uma calculadora de números complexos” (AQ09F71); e “para aumentar a gama de recursos didáticos disponíveis no MatELetric, seria interessante criar uma calculadora *online*” (AS03F32). Em relação ao uso da calculadora, Cury e Oliveira (2004, p. 33) ressaltam que os estudantes “[...] não têm interesse em saber como as coisas ‘funcionam’, não querem mais explicações detalhadas; a eles é suficiente apertar botões de calculadoras”.

A análise de circuitos elétricos em CA requer que o acadêmico compreenda o conteúdo para utilizar o procedimento correto, não sendo resolvível somente apertando botões na calculadora. Desse modo, considera-se que os acadêmicos querem um recurso para agilizar e efetuar as operações com números complexos. Contudo, essa sugestão dos acadêmicos não foi atendida por dois motivos: 1) há *sites* (Symbolab<sup>80</sup>, Solumaths<sup>81</sup> e Miniwebtool<sup>82</sup>) que

---

<sup>80</sup> Disponível em: <https://pt.symbolab.com/solver/complex-number-calculator>. Acesso em 13 fev. 2018.

disponibilizam calculadoras *online* para realizar operações na forma algébrica; e 2) os acadêmicos possuem calculadora para efetuar operações, inclusive com números complexos, e o MatEletric disponibiliza um ambiente incorporado que ensina a utilizá-la, conforme foi abordado na categoria *Organização didática e dos conteúdos*.

O fato de haver acadêmicos que aprovaram o ambiente *Calculadora por que não?* é mais expressivo para os objetivos do MatEletric do que criar ou incorporar uma calculadora *online*. Essa sugestão possivelmente está associada à dificuldade que os acadêmicos tiveram em encontrar esse ambiente no MatEletric, em virtude dos poucos *links* que remetiam aos tutoriais sobre as calculadoras. Mas, conforme foi relatado, no sumário foi disponibilizado um *link* para o ambiente *Calculadora por que não?*, permitindo aos acadêmicos uma rápida localização para aprenderem a manipulá-la e realizar operações na forma algébrica e polar.

As mudanças feitas no sumário também se devem as sugestões para torná-lo mais intuitivo: “o menu do MatEletric é pouco interativo” (AQ01F13); “necessária melhoria nas orientações de navegação” (AQ12F31); “quando aparecem, na aba superior, opções de busca por outras pesquisas sobre o assunto, não me parece tão óbvio” (PQ01F46); e “eu demorei um pouco para entender o menu do aplicativo” (AQ10F20). A Figura 52 mostra uma tela acrescentada ao MatEletric, que explica o sistema de navegação e mostra o atual o sumário.

**Figura 52** – Tela acrescentada no MatEletric para facilitar a navegação no MatEletric

---

<sup>81</sup> Disponível em: [https://www.solumaths.com/pt/calculadora/calcular/numero\\_complexo](https://www.solumaths.com/pt/calculadora/calcular/numero_complexo). Acesso em 13 fev. 2018.

<sup>82</sup> Disponível em: <https://miniwebtool.com/br/complex-numbers-calculator/>. Acesso em 13 fev. 2018.



Fonte: Captura de tela do MatEletric. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/303.html>

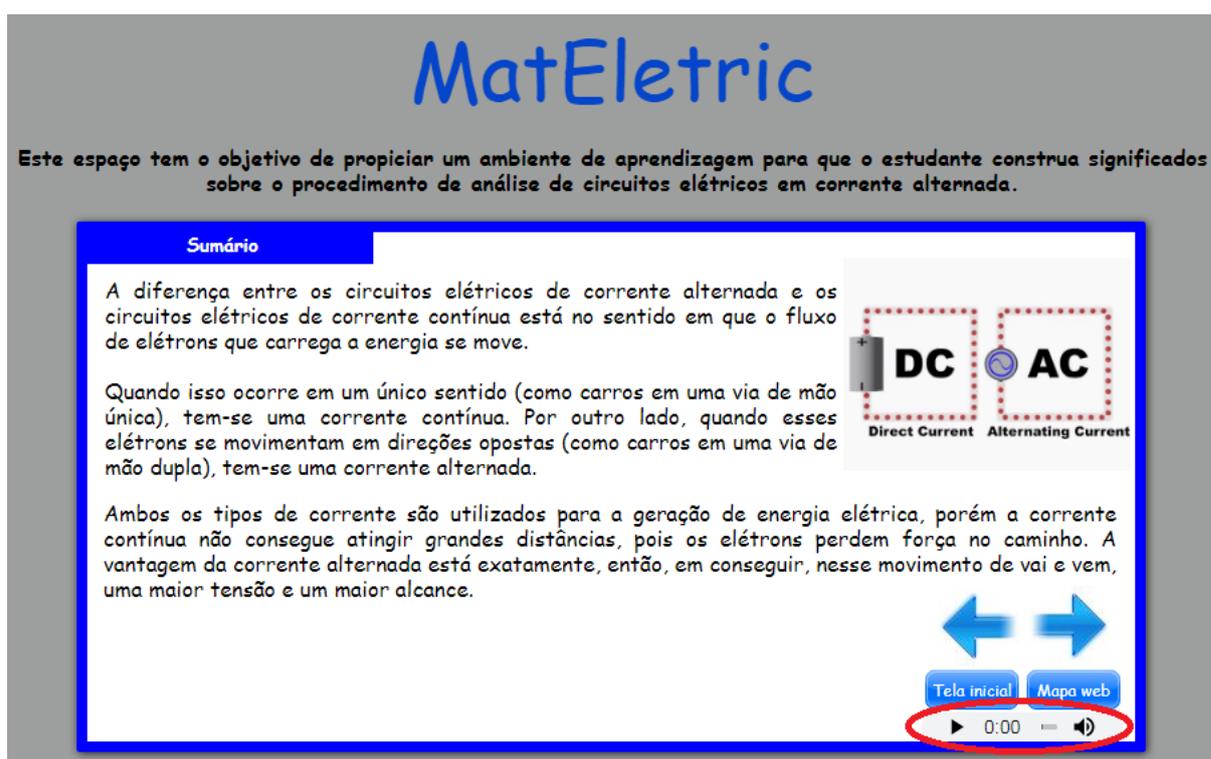
A dificuldade expressa pelos acadêmicos e pelo professor – nos fragmentos AQ12F31, AQ10F20 e PQ01F46 – indicam a necessidade de explicar o sistema de navegação, facilitando a interatividade com o MatEletric. A tela acrescentada evita que os acadêmicos realizem um esforço cognitivo desnecessário para compreender o sistema de navegação, o que pode desmotivá-lo, impactando na sua **predisposição para aprender**.

Além das informações sobre navegação, no sumário foram realizadas quatro modificações: 1) adição de um *link* para as *Normas da ANEEL e fator de potência*, conteúdo acrescentado para ressaltar a importância de analisar circuitos elétricos em CA para clientes de alta tensão; 2) colocação de um *link* para o ambiente *Calculadora por que não?* no tópico *Estudo de números complexos*, para explicar como realizar operações com números na calculadora; 3) acréscimo de um tópico com os *links* para os seis problemas de estudo de análise de circuitos elétricos em CA, especificando o tipo de associação de cada circuito, sendo que antes somente havia as identificações *Problema 1*, *Problema 2* e assim por diante; e 4) adição de um *link* para o *Fórum de discussões*, que os acadêmicos tiveram dificuldade de encontrar. Os demais *links* já estavam organizados e disponíveis quando os acadêmicos realizaram o estudo no MatEletric.

Além das modificações no sumário do MatEletric, foram disponibilizados áudios que fazem a leitura da tela, principalmente na fase *Introdução de conceitos de circuitos elétricos*

em CA, buscando assim contemplar estudantes com necessidades especiais. Essa sugestão foi apresentada pelos acadêmicos: “não encontrei muitos recursos para estudantes com necessidades especiais” (AQ06F29); e “[o] único ponto que pode ser melhorado é a acessibilidade de pessoas surdas” (AQ13F39). Em busca de atender às sugestões, ainda que em parte, disponibilizou-se um recurso que faz a leitura de tela do MatElettric, podendo ser acionado pelo acadêmico ao apertar o *play* (Figura 53). Os áudios foram disponibilizados, principalmente, na fase *Introdução de conceitos de circuitos elétricos em CA*, na qual se apresenta o conteúdo da disciplina. A integração de recursos para atender a estudantes com necessidades especiais é pertinente e necessária, sendo que isso aumenta a capacidade de **acessibilidade** do MatElettric. Contudo, a sua elaboração não é processo fácil, sendo necessário especialistas de diferentes áreas para planejar e criar recursos para esses estudantes (SANTAROSA, 2010).

**Figura 53** – Tela do MatElettric que mostra a disponibilização de um áudio



Fonte: Captura de tela do MatElettric. Disponível em: <https://numeroscomplexos.online/296.html>

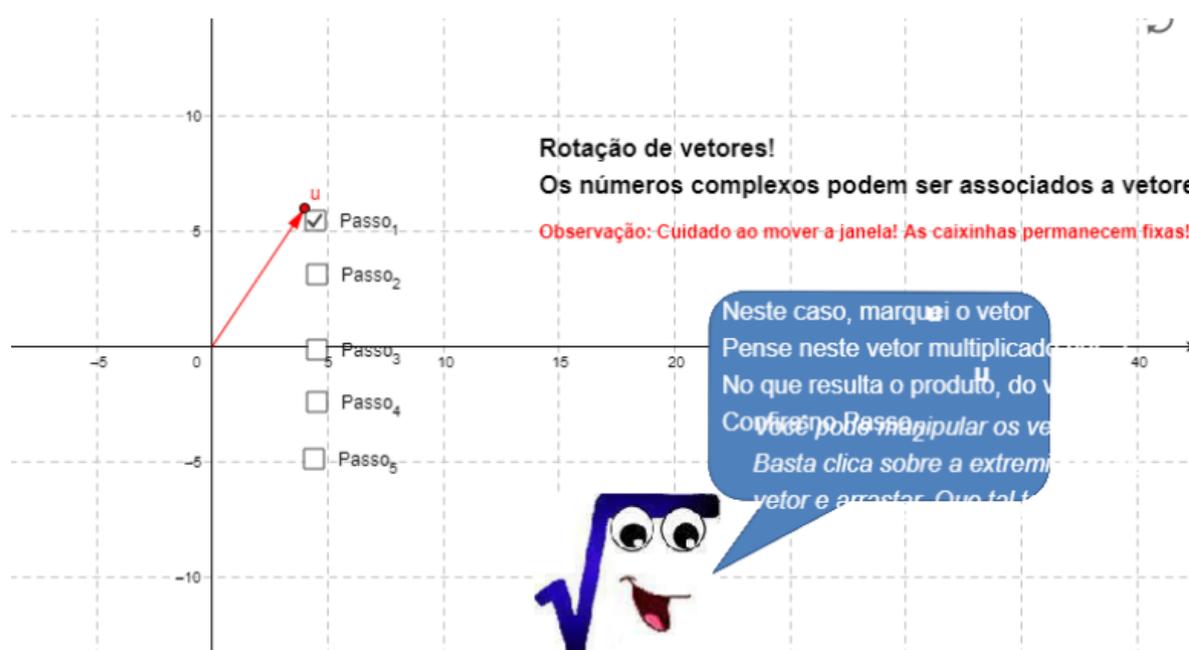
Outras sugestões dos acadêmicos ficarão para estudo e análise de serem adequadas e da viabilidade de modificações e aprimoramentos: “seria interessante no futuro talvez vocês realizarem a produção própria dos seus vídeos para você terem um parâmetro de qualidade dos seus vídeos, que eles obedeçam a alguns padrões que vocês estabelecem depois desse

estudo” (AE15F09); “como sugestão eu gostaria de um vídeo com algum exemplo resolvido. Pra mim ver alguém fazendo esclarece muito” (AS10F13); e “na tela abaixo, as letras acabam se embaralhando conforme vamos aumentando ou diminuindo a visualização” (AS04F30). Em relação à produção de vídeos próprios, o presente pesquisador, até o momento, não pretende fazê-los, pois não tem dificuldades em se expressar, não sendo uma pessoa desinibida.

O presente pesquisador não tem as habilidades requeridas para fazer um bom vídeo explicativo, similar aos produzidos pelos reconhecidos canais de Matemática, como o Me salva! e o Khan Academy Brasil. Contudo, está disposto a modificar os vídeos, caso tenha algum professor ou acadêmico de Engenharia interessado em auxiliá-lo na produção de tais vídeos.

Sobre o fragmento AS04F30, a situação é exemplificada na Figura 54. O acadêmico mostra um problema no aplicativo, sendo uma questão de configuração do próprio GeoGebra. Os aplicativos do MatELetric utilizam diferentes ferramentas, tais como textos, imagens, objetos e fórmulas matemáticas. As imagens e as fórmulas inseridas no GeoGebra são fixas, não se modificam na tela do aplicativo, diferente do que ocorre com os objetos matemáticos e os textos, que aumentam e diminuem conforme o *zoom*. Esse é um problema de configuração do próprio GeoGebra, que o pesquisador não consegue resolver, mas a sobreposição de textos pode ser facilmente corrigida pelo próprio acadêmico, por meio da alteração no *zoom*.

**Figura 54** – Problema relatado no fragmento AS04F30



Fonte: Imagem retirada de AS04.

Nesta categoria, *Sugestões de aperfeiçoamentos*, foram apresentadas as compreensões sobre as limitações e fragilidades do MatELetric, enquanto material didático para o ensino de circuitos elétricos em CA. A partir dos relatos, e no que foi possível ainda em tempo desta tese, alguns aperfeiçoamentos foram realizados. Por meio das alterações feitas, buscou-se construir um material didático potencialmente significativo para preencher lacunas de aprendizagem de números complexos e para promover o ensino de conceitos introdutórios de circuitos elétricos em CA, de modo que atenda às necessidades dos acadêmicos e do professor, sem perder a essência do MatELetric, ao considerar os pressupostos teóricos da TAS e da RP.

### 6.3.1 Compreensões sintéticas da categoria

Para finalizar este metatexto, apresentam-se as compreensões que emergiram na análise dos dados construídos pelos participantes da pesquisa, os quais realizaram recomendações para aperfeiçoar o MatELetric, enquanto material didático e recurso digital. O Quadro 11 relaciona as compreensões do pesquisador e as alterações realizadas no MatELetric com os pressupostos teóricos considerados na tese.

**Quadro 11** – Pressupostos teóricos constatados nos relatos dos participantes da pesquisa

Fase do MatELetric	Compreensão do pesquisador	Pressuposto teórico
Introdução sobre circuitos elétricos em CA	As informações sobre a navegação e o sumário são consideradas importantes para facilitar a interatividade com o MatELetric.	Predisposição para aprender
	Os áudios de leitura de tela constituem mais um recurso do MatELetric, aumentando a acessibilidade para pessoas com necessidades especiais.	Acessibilidade
Questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos	Os acadêmicos têm a liberdade de escolha para estudar o conteúdo de números complexos com os recursos de seu interesse e pelo tempo em que acharem necessário.	Protagonismo do estudante
Problemas para analisar circuitos elétricos em	Os experimentos, em laboratórios ou em simuladores virtuais, têm potencial para envolver os acadêmicos no processo de ensino e de aprendizagem de conteúdos.	Predisposição para aprender

CA	Os experimentos, em laboratórios ou em simuladores virtuais, possibilitam a construção de significados pelos acadêmicos, ao associarem os conteúdos teóricos com situações práticas.	Diferenciação progressiva e reconciliação integradora
	Os experimentos, em laboratórios ou em simuladores virtuais, proporcionam a manipulação de componentes elétricos, na elaboração de circuitos e na medição de valores, promovendo a interação de conhecimentos.	Interação de conhecimentos
	O debate, por meio do <i>Fórum de discussões</i> ou nas aulas, possibilita que os acadêmicos interajam entre si, compartilhem seus conhecimentos e esclareçam suas dúvidas.	Protagonismo do estudante
	Exercícios resolvidos com etapas definidas, tipo passo a passo, favorecem a memorização de procedimentos e de conteúdos.	Aprendizagem mecânica
	O MatELetric possibilita que qualquer usuário o avalie, apresentando argumentos sobre seus benefícios e suas limitações, enquanto material didático e recurso digital.	Atualização constante

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir dos relatos dos participantes da pesquisa, compreendeu-se a importância de acrescentar uma tela, na fase *Introdução sobre circuitos elétricos em CA*, explicando o sistema de navegação no MatELetric. Essa tela foi adicionada para facilitar a interatividade com o MatELetric, permitindo que os esforços cognitivos dos acadêmicos sejam destinados na compreensão dos conteúdos. Desse modo, os acadêmicos podem sentir-se mais motivados e **predispostos para aprender** conceitos e procedimentos envolvidos na análise de circuitos elétricos em CA.

Outra limitação apresentada pelos acadêmicos consiste em disponibilizar recursos para atender acadêmicos com necessidades especiais. Em busca de atender, ao menos em parte, essa sugestão foram gravados áudios que fazem a leitura da tela do MatELetric. Esses áudios não foram criados com voz e leitura computadorizadas, sendo gravados por uma professora de Português que aceitou colaborar com a pesquisa. A voz e a leitura humanas, diferente das computadorizadas, tornam o áudio mais agradável, com uma leitura fluente e enfática, tornando o recurso mais humano e transmitindo um sentimento afetivo aos usuários. Desse modo, busca-se aumentar a **acessibilidade** do MatELetric, além de dispor de mais um recurso que permite que os usuários ouçam a explicação, ao invés de realizarem a leitura.

Os áudios foram incluídos nessa fase, *Introdução sobre circuitos elétricos em CA*, pois consiste na introdução do conteúdo, na qual se mostra a importância e a aplicabilidade desse conhecimento, estabelecendo relações entre conceitos de diferentes áreas de conhecimentos. O MatElettric é diferente de outros recursos digitais principalmente por causa dessa fase, pois foi planejado para atender aos interesses e às necessidades de acadêmicos de Engenharia que vão ou têm interesse em estudar circuitos elétricos em CA. Contudo, tem-se o entendimento de outras melhorias podem ser realizadas, ainda mais para atender a usuários com necessidades especiais; porém, para isso é necessário um trabalho cooperativo e interdisciplinar com profissionais especializados.

Na fase *Questionários para verificar conhecimentos dos acadêmicos*, os acadêmicos sugeriram que essas atividades fossem obrigatórias, ou, ainda, que tivessem uma explicação mais detalhada. O material disponibilizado nessa fase permite que os acadêmicos escolham os recursos com os quais querem interagir e que avancem conforme seu ritmo de aprendizagem. Porém, os acadêmicos não estão acostumados com essa liberdade, de serem sujeitos autônomos e responsáveis pela sua aprendizagem, em virtude disso, considera-se que alguns acadêmicos tiveram dificuldade em compreender o conteúdo de números complexos.

Os acadêmicos não têm um roteiro fixo e obrigatório de estudo, podendo avançar nas atividades sem terem estudado e compreendido os conteúdos. Essa pode ser considerada uma limitação do MatElettric, por possibilitar que os acadêmicos avancem nas atividades sem realizá-las e compreendê-las, mas também é uma característica dos OAM, ao permitir que os usuários avancem e retrocedam nas atividades de forma independente, por meio de módulos, refazendo a quantidade de vezes que acharem necessário para compreender o conteúdo.

Nas aulas, geralmente, o professor explica o conteúdo e disponibiliza exercícios para fixar conceitos e operações, cabendo ao estudante realizá-las, provocando assim a sua passividade. O MatElettric, na sua concepção teórica, tem uma proposta diferente, sem imposição, que disponibiliza recursos para que os acadêmicos escolham o que melhor atende a seu estilo de aprendizagem, possibilitando que o estudo seja realizado de forma individual e conforme o ritmo de cada um. Desse modo, o acadêmico deixa de ser passivo para tornar-se **protagonista** no processo de aprendizagem.

Na última fase, *Problemas para analisar circuitos elétricos em CA*, realizaram-se algumas modificações, conforme sugestões dos acadêmicos, para aperfeiçoar o MatElettric, enquanto material didático para o ensino de circuitos elétricos em CA. Inicialmente, para aumentar a **interatividade** dos acadêmicos com o MatElettric, disponibilizou simuladores que permitem a elaboração de circuitos elétricos com os componentes associados em série e

paralelo, não sendo possível fazer a associação mista. A associação mista pode ser explorada com experimentos em laboratórios de elétrica de forma presencial, pois os simuladores utilizados apresentam essa limitação.

Como todos os recursos do MatElettric, os simuladores são uma alternativa para os acadêmicos estudarem o conteúdo, **estabelecendo relações de conceitos teóricos com situações práticas**. O acadêmico, manipulando e realizando medições de circuitos elétricos, promove a **interação de conhecimento**, e pode confirmar e verificar resultados da análise. Contudo, compreende-se que os experimentos realizados em laboratórios trazem mais benefícios em relação ao processo de aprendizagem, pois os acadêmicos podem utilizar instrumentos reais para montar e realizar medições, além da possibilidade de o professor realizar intervenções, auxiliando na compreensão de conceitos ou procedimentos.

Outra possibilidade de intervenção do professor está em promover debates nas aulas, permitindo que os acadêmicos compartilhem seus conhecimentos e exponham suas dúvidas. Nos debates, os acadêmicos tornam-se **protagonistas**, ao participar ativamente das aulas, seja fazendo questionamentos ou respondendo a eles. No MatElettric, a interação entre acadêmicos pode ocorrer pelo *Fórum de discussões*, sendo necessário que os usuários do fórum, por fazerem cadastro, podem postar e responder dúvidas, e os demais somente visualizar as interações. Apesar de o cadastro no provedor ser gratuito e rápido, entende-se que essa é limitação do MatElettric, pois acadêmicos podem deixar de interagir no fórum em virtude da exigência de realizar um cadastro.

Diante disso, compreende-se que o debate e os experimentos em laboratórios são estratégias didáticas para complementar as aulas, como também é o MatElettric, e são recursos que podem auxiliar nos processos de ensino e de aprendizagem. Essas estratégias promovem a **interação** entre acadêmicos e o professor, ocasionando novos estímulos, diferentes daqueles propostos pelo MatElettric, e aumentando assim as possibilidades para compreender conceitos específicos, além de promover o desenvolvimento de habilidades como autonomia, senso crítico, criatividade e capacidade de resolver problemas.

Contrapondo essas modificações sugeridas para qualificar os processos de ensino e de aprendizagem, houve acadêmicos que solicitaram a disponibilização de exercícios resolvidos passo a passo, que proporcionam a memorização de procedimentos para analisar circuitos elétricos, conforme os componentes ou o tipo de associação. Desse modo, ao utilizá-los, o MatElettric iria potencializar uma **aprendizagem mecânica**, além de promover a passividade do acadêmico no processo de compreensão dos conceitos e dos procedimentos envolvidos na análise de circuitos elétricos. Os pressupostos teóricos considerados na

elaboração do MatElettric não contemplam essa perspectiva. Em virtude disso, optou-se por não atender a essa solicitação dos acadêmicos.

Essas são algumas modificações sugeridas pelos participantes da pesquisa, sendo que qualquer usuário pode avaliar o MatElettric, apresentando argumentos sobre seus benefícios e suas limitações, enquanto material didático e recurso digital. Essa é uma característica dos OAM que consiste na possibilidade de realizar **atualizações constantes** para atender às necessidades dos usuários e de integrar benefícios da evolução tecnológica, não o tornando um recurso digital obsoleto.

Além das modificações realizadas em fases do MatElettric, os participantes da pesquisa apresentam sugestões que impactam na apresentação e na compatibilidade com dispositivos móveis. Os dispositivos móveis, como os *smartphones*, são recursos que estão, cada vez mais, sendo utilizados no ensino e na aprendizagem de conteúdos. O MatElettric pode ser acessado nesses dispositivos, por ser um recurso virtual, mas a tecnologia utilizada não permite que a tela se molde conforme o aparelho, podendo dificultar a visualização dos conteúdos. Essa é uma limitação do MatElettric que pode impactar na escolha do acadêmico em utilizá-lo.

Outra situação que pode impactar na escolha do acadêmico consiste no fato de o MatElettric não apresentar uma parte gráfica mais elaborada, moderna e atualizada. Os acadêmicos, ao acessarem o recurso, em virtude das cores e do *design* utilizados, podem entender que esse é um recurso antigo, desatualizado e obsoleto, apesar de ser um material com organização didática e de conteúdo de qualidade, conforme exposto nas categorias anteriores.

Essas duas sugestões – transformar em aplicativo para *smartphone* e aperfeiçoar a parte gráfica – são importantes para qualificar o MatElettric, enquanto recurso digital e material didático para o ensino de circuitos elétricos em CA. Essas modificações podem aumentar a **acessibilidade** e a **interatividade** e, conseqüentemente, a **predisposição** do acadêmico a usar o MatElettric em seus estudos para aprender os conteúdos. Contudo, o presente pesquisador não tem conhecimento suficiente, pelo menos até este momento, para atender tais possibilidades de forma eficiente, sendo necessário o auxílio de profissionais especializados de outras áreas de conhecimento, como programadores e *designers* de *softwares* ou de *sites*.

Todas as sugestões apresentadas buscam qualificar, ainda mais, o MatElettric, enquanto material didático e OAM. Os argumentos apresentados nas categorias anteriores apresentam indicativos de que o MatElettric é um material potencialmente significativo para

introduzir o conteúdo de circuitos elétrico de CA para acadêmicos de Engenharia, sendo um recurso para complementar a aula do professor. Em virtude dos pressupostos teóricos considerados e ressaltados pela maioria dos participantes das pesquisas, algumas solicitações não foram atendidas, pois se entende que iriam promover a memorização arbitrária e literal de conteúdo e procedimentos, não sendo esse o objetivo didático do MatElettric.

Outras sugestões não foram contempladas pela falta de conhecimento do pesquisador, como, por exemplo, a elaboração recursos para atender a usuários com necessidades especiais, a modernização da parte gráfica do MatElettric e a sua transformação em um aplicativo de *smartphone*. Essa falta de conhecimento do pesquisador torna possível a continuidade das investigações com o MatElettric, mas, para isso, faz-se necessário um trabalho cooperativo e interdisciplinar com, ao menos, um pedagogo, um programador e um *designer*. Esses profissionais são fundamentais para atender às solicitações dos participantes da pesquisa para qualificar os processos de ensino e de aprendizagem, possibilitando novas pesquisas para investigar as implicações do MatElettric no processo de ensino e de aprendizagem para acadêmicos de Engenharia ou estudantes de Ensino Médio Técnico em Eletrotécnica e Eletrônica que irão estudar o conteúdo de circuitos elétricos em CA.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil, o ensino em Engenharia tem sido objeto de investigação por diferentes pesquisadores, principalmente, a partir do início da década de 2000, em virtude dos altos índices de evasão e reprovação dos acadêmicos. As estratégias didáticas e o sistema de avaliação adotados pelos professores, na sua maioria, ainda priorizam a transmissão de informações, a memorização arbitrária e literal e a repetição de conceitos e procedimentos em provas. Esses métodos promovem dificuldades para os acadêmicos compreenderem e construir significados dos conteúdos estudados.

No contexto problemático desta tese, observou-se que os acadêmicos de Engenharia apresentam lacunas de aprendizagem de conceitos considerados básicos para analisar circuitos elétricos em CA, como são os números complexos. Os números complexos constituem um conteúdo que os estudantes de Ensino Médio, em geral, não estudaram e possivelmente essa é a tendência futura no âmbito nacional, em virtude da implantação da BNCC. Mesmo os estudantes que estudaram esse conteúdo apresentam dificuldades em compreendê-lo, muitas vezes, devido às estratégias didáticas priorizarem propriedades algébricas, um ensino descontextualizado e sem considerar os conhecimentos prévios.

Os professores, buscando ajudar os acadêmicos, realizam explicações sobre conceitos e operações com números complexos para preencher as lacunas de aprendizagem e suprir as necessidades da disciplina. Contudo, devido à falta de tempo e à dificuldade em compreender o conteúdo, muitas estratégias didáticas potencializam uma aprendizagem mecânica, na qual os acadêmicos utilizam os números complexos na análise de circuitos elétricos em CA sem saber seu significado ou porque da sua utilização. Diante desse contexto, realizou-se esta investigação de doutorado para defender a tese de que os objetos de aprendizagem podem colaborar significativamente no processo de ensino de conteúdos se o material didático desenvolvido seguir as orientações de pressupostos da TAS integrado a estratégia da RP.

As TD, por meio de suas propriedades, têm potencial para modificar esse cenário educacional, proporcionando aos acadêmicos recursos digitais, como os OAM, para estudar e compreender os conteúdos considerados básicos. As TD consistem em um recurso para complementar a aula, cabendo ao professor utilizá-la conforme a sua proposta pedagógica para atingir determinados objetivos didáticos. Desse modo, o mesmo recurso digital pode ser utilizado para transmitir informações, de forma arbitrária e literal, ou pode potencializar a

construção de significados, a partir de conhecimentos prévios dos acadêmicos e da interatividade proporcionada pelo material didático.

As TD, como material didático, rompem com a concepção de tempo e espaço da sala de aula, possibilitando que os acadêmicos estudem os conteúdos, conforme a sua necessidade, o seu interesse, a sua disponibilidade de tempo e o seu ritmo de aprendizagem. As tecnologias potencializam um ensino mais individualizado, como é o caso dos OAM, os quais proporcionam diferentes estímulos por meio de recursos que os acadêmicos podem escolher, de acordo com seu estilo de aprendizagem. Esses fatores motivam o acadêmico, implicando uma predisposição para utilizar o material didático e, conseqüentemente, para estudar e para compreender os conteúdos, propiciando o seu papel ativo no processo de aprendizagem.

Entretanto, os acadêmicos que não estão acostumados em serem protagonistas da própria aprendizagem em estudos individualizados e autônomos com a liberdade de fazer escolhas podem se sentir desorientados, realizando atividades sem a preocupação com autoavaliação. No ensino de Engenharia, é frequente priorizar uma avaliação somativa, na qual os professores verificam e avaliam as aprendizagens desenvolvidas, cabendo aos acadêmicos mostrarem os conceitos ou procedimentos solicitados em uma avaliação formal, como em uma prova. Essa concepção de ensino e de avaliação precisa ser mudada. Os acadêmicos precisam se reconhecer como sujeitos autônomos e responsáveis pela sua aprendizagem.

O MatEletric, na sua essência, como um OAM e material didático, foi construído considerando pressupostos da TAS e da RP, que buscaram promover o protagonismo dos acadêmicos no processo de aprendizagem, disponibilizando diferentes recursos para estudar e compreender os conteúdos relacionados à análise de circuitos elétricos em CA. A organização didática do MatEletric foi o principal fator considerado para caracterizá-lo como um OAM potencialmente significativo para o ensino de circuitos elétricos em CA. O planejamento do MatEletric em três fases distintas e independentes, com objetivos didáticos claros e definidos, proporcionou um auxílio aos acadêmicos no estudo e na compreensão de conceitos introdutórios de circuitos elétricos em CA.

Inicialmente, destaca-se a possibilidade do OAM, como material didático, de envolver os acadêmicos nos processos de ensino e de aprendizagem, por meio de ensino contextualizado do conteúdo didático. A contextualização proporcionou a predisposição dos acadêmicos para utilizarem o material didático e, conseqüentemente, para aprender com ele, pois a abordagem do conteúdo explicitava a importância e aplicabilidade desses conteúdos na sua área de formação. Desse modo, compreende-se que, na elaboração de OAM, em uma fase

introdutória, faz-se pertinente mostrar a aplicação do conteúdo em situações reais, relacionando-o com a formação profissional dos acadêmicos, buscando assim motivá-los a realizar um esforço cognitivo para construírem significados.

Diante disso, o ensino contextualizado possibilita que os acadêmicos de Engenharia estudem conceitos e operações sabendo da sua aplicabilidade na sua área de formação, não o reconhecendo somente como um conteúdo matemático, mas como um conhecimento para facilitar a compreensão de conceitos mais específicos. Essa organização didática promoveu a predisposição do acadêmico para aprender o conteúdo, sendo uma propriedade relevante para se considerar na elaboração de OAM, como material didático, no ensino de Engenharia.

Outro fator relevante na elaboração de OAM como material didático consiste em apresentar o conteúdo de forma gradativa, permitindo que se estudem conceitos gerais antes dos específicos, para promover a diferenciação progressiva. Conforme os conteúdos são especificados e detalhados faz-se necessário retomar conceitos gerais e estabelecer relações com conhecimentos prévios dos acadêmicos, promovendo a reconciliação integradora.

O planejamento do OAM como material didático potencializa o processo de ensino quando aborda os conceitos gerais antes dos específicos, mas também quando possibilita a realização do processo inverso, relacionando o conteúdo com conhecimentos prévios dos acadêmicos, permitindo a realização de um esforço cognitivo para construir significados. Desse modo, o material didático promove a compreensão de semelhanças e de diferenças, entre o conteúdo e o conhecimento do acadêmico, realizando um movimento de descer e subir na estrutura cognitiva, de interação de conhecimentos.

A predisposição do acadêmico, associada à organização didática dos conteúdos – de forma contextualizada e gradativa –, conforme propõe a TAS, potencializa interações na estrutura cognitiva, o estabelecimento de relações não arbitrárias e não literais do conteúdo estudado com conhecimentos prévios. Entretanto, as interações na estrutura cognitiva são realizadas quando o acadêmico dispõe de conhecimentos prévios. O fato de nem sempre se promover o estabelecimento de relações não arbitrárias e não literais, constitui um problema recorrente para os professores de Engenharia identificados na presente tese, em que os acadêmicos não dominavam os conceitos e as operações considerados básicos.

Considerando esse contexto, para a construção de um OAM potencialmente significativo, é preciso planejar um ambiente que propicie a construção de uma base de conhecimento para os acadêmicos compreenderem os conteúdos didáticos. O OAM precisa incorporar organizadores prévios, como, por exemplo, questionários virtuais, para que os acadêmicos verifiquem o nível de compreensão dos conteúdos considerados base, além de

preencher lacunas de aprendizagens e ativar conhecimentos para aprender significativamente o conteúdo curricular do material didático.

Os questionários, como organizadores prévios, buscam propiciar o estabelecimento de relações, não arbitrárias e não literais entre o conteúdo e os conhecimentos dos acadêmicos. Uma estratégia para potencializar o estabelecimento de relações consiste em disponibilizar dicas, durante os questionários, que se relacionem com conceitos e operações de conteúdos estudados em disciplinas anteriores ou durante o Ensino Básico. Desse modo, durante as resoluções das questões, os acadêmicos podem relacionar conhecimentos, por meio da diferenciação progressiva e reconciliação integradora, propiciando a construção de significados.

Além de verificar os conhecimentos dos acadêmicos, os questionários virtuais permitem que se disponibilizem *feedbacks* para reforçar o conceito quando se acerta, ou explicar o conteúdo para compreender o eventual erro cometido, de modo individual, por meio de diferentes recursos. Diante disso, os *feedbacks* são caracterizados como organizadores prévios, cujo objetivo, no acerto, é fornecer informações para reforçar, consolidar e ativar esse conhecimento na estrutura cognitiva; já no erro, servem para compreender conceitos errôneos e preencher lacunas de aprendizagem dos acadêmicos.

Os *feedbacks* foram um dos principais fatores para considerar o MatElettric um material didático para complementar a aula do professor no ensino de circuitos elétricos em CA. Em busca de contemplar diferentes estilos de aprendizagem dos acadêmicos, as tecnologias disponibilizam vários recursos digitais para suprir as defasagens individuais, respeitando o ritmo de aprendizagem de cada um, diferentemente do que ocorre em uma aula expositiva com um professor, em que todos têm acesso à mesma explicação, independentemente de seu conhecimento prévio. Os recursos digitais promovem a possibilidade de elaborar e disponibilizar diferentes organizadores prévios, permitindo que os acadêmicos exerçam a liberdade de escolha para utilizar aquele que melhor contemple seu estilo de aprendizagem.

O OAM disponibiliza organizadores prévios, o que não implica a sua utilização ou a aprendizagem dos conteúdos abordados. Para o OAM como material didático obter êxito, os acadêmicos precisam se reconhecer como sujeitos autônomos e responsáveis pela sua aprendizagem, pois a decisão de avançar e retomar conceitos e procedimentos cabe somente a ele. Os *feedbacks* precisam ser compreendidos pelos acadêmicos como informações para autoavaliar as suas aprendizagens desenvolvidas, aos quais não se atribuiu nota conforme o índice de acertos, mas que são indicativos para verificar a possibilidade de avançar nos

estudos ou retomar conteúdos. Desse modo, busca-se mudar a concepção de avaliação dos acadêmicos, deixando de ser somativa para entendê-la como informações formativas, para auxiliar nos processos de ensino e de aprendizagem de conteúdos.

Após propiciar a construção de base de conhecimento, o OAM traz benefícios aos processos de ensino e de aprendizagem, ao unificar os conceitos abordados anteriormente, por meio da estratégia didática da RP. A RP é uma estratégia didática que tem pressupostos convergentes com a TAS, sendo que ambas buscam tornar os acadêmicos protagonistas no processo de aprendizagem, permitindo a compreensão de conceitos a partir dos conhecimentos prévios. A elaboração de OAM fundamento na TAS e que integra a estratégia da RP traz benefícios ao processo de ensino de Engenharia, ao auxiliar na organização didática dos conteúdos, facilitar a compreensão do conteúdo estudado,; promover o protagonismo dos acadêmicos e desenvolver habilidades e competências que são necessárias em um cidadão e em um profissional de Engenharia.

A RP, como estratégia didática, possibilita a integração das outras etapas propostas no processo de elaboração dos OAM: a contextualização do conteúdo e a disponibilização de organizadores prévios. Desse modo, os problemas possibilitam um ensino contextualizado, com situações similares àquelas com que os acadêmicos irão se deparar ou que fazem parte da sua formação profissional e acadêmica, a partir de conceitos e de operações que já foram estudados, podendo ser caracterizados como a última etapa do OAM.

Nesse contexto, os problemas não são instrumentos para avaliar, de forma somativa, os acadêmicos, mas servem para propiciar novas compreensões e autoavaliações das aprendizagens desenvolvidas, sendo estratégias para ensinar conteúdos. Os problemas precisam estar organizados conforme um sequenciamento lógico, abordando os conceitos gradativamente, de modo que, a cada novo problema, se apresenta um componente ou uma característica que difere do anterior, propiciando a compreensão de conceitos cada vez mais específicos.

Entretanto, o OAM, enquanto material didático e recurso digital, pode apresentar limitações pedagógicas e técnicas, como ocorreu nesta investigação. A elaboração de um OAM requer um trabalho cooperativo e interdisciplinar com diferentes profissionais para atender satisfatoriamente a fatores técnicos, gráficos e pedagógicos. No caso do MatEletric, o presente pesquisador o desenvolveu praticamente sozinho, com o auxílio de professores que orientaram esta pesquisa e de um professor de Engenharia Elétrica que fez a revisão das explicações sobre circuitos elétricos, realizando esforços para atender aos fatores técnicos, gráficos e pedagógicos. Contudo, tem-se o entendimento de que a elaboração de OAM por

uma equipe interdisciplinar, considerando os pressupostos da TAS e da RP, traria mais benefícios ao processo de ensino de conteúdos.

Em relação às limitações pedagógicas, o MatEletric, como boa parte dos OAM, não possui recursos satisfatórios para atender às pessoas com necessidades especiais. Um recurso que pode ser utilizado em OAM, para implementar tal atendimento em parte, consiste em disponibilizar áudios para que pessoas cegas tenham acesso ao conteúdo, como foi realizado na presente tese. Apesar disso, somente os áudios não são suficientes para atender satisfatoriamente e promover o ensino do conteúdo, sendo necessário o auxílio de profissionais especializados para desenvolver materiais adequados aos acadêmicos com necessidades especiais. Essa é uma possibilidade de estudos futuros, tornando o MatEletric um material didático para o ensino de circuitos elétricos em CA com acessibilidade para acadêmicos de Engenharia com necessidades especiais, promovendo a sua inclusão na sala de aula. Os estudos de inclusão consistem em uma área de pesquisa que vem ganhando espaço e importância no contexto educacional.

Diferente das limitações pedagógicas, as técnicas podem ser superadas por *designers* e técnicos em informática, visto que envolvem a parte gráfica e a programação do OAM. Nesta investigação, a parte gráfica do MatEletric, apesar de não atrapalhar os processos de ensino e de aprendizagem, foi considerado o principal fator que precisaria ser modificado e aprimorado, pois não é atrativo na concepção dos participantes da pesquisa. Os acadêmicos, ao acessarem um OAM de forma superficial, podem priorizar a parte gráfica em detrimento do conteúdo, considerando o recurso antigo e ultrapassado, em virtude do *design* e das cores utilizadas. Esse fato pode fazer com que acadêmicos deixem de utilizar o OAM, mesmo apresentando uma organização didática e de conteúdo com potencial para promover a aprendizagem de determinado conteúdo. Contudo, nesta investigação o presente pesquisador não conta com recursos e nem conhecimento para aprimorar a parte gráfica do MatEletric, deixando-a mais moderna e atrativa, sendo necessário o auxílio de profissionais especializados nessa área.

Além da parte gráfica, alguns acadêmicos sugerem que o MatEletric deveria se tornar um aplicativo para *smartphones*. O MatEletric está disponível virtualmente, mas sua tecnologia não possibilita que o conteúdo seja ajustável às telas de dispositivos móveis, ocasionando dificuldades em visualizar os conteúdos. Os acadêmicos utilizam diariamente dispositivos móveis, sendo quase um item obrigatório e que, aos poucos, estão substituindo os computadores. Diante disso, na elaboração de OAM, como material didático, precisa-se

considerar a tecnologia utilizada para que esse recurso seja compatível com dispositivos móveis, facilitando o acesso do conteúdo aos acadêmicos de Engenharia.

Considerando esse contexto, faz-se pertinente tornar o MatEletric um aplicativo para *smartphone* ou atualizar a sua tecnologia para que sua tela seja ajustada em dispositivos móveis, aumentando a possibilidade dos acadêmicos o utilizarem, pois o conteúdo estaria disponível virtualmente e na palma da mão. Essas limitações técnicas são consideradas importantes e relevantes, sendo aprimoramentos com potencial para promover mais benefícios aos processos de ensino e de aprendizagem, permitindo o desenvolvimento de pesquisas futuras para investigar as implicações do “novo” MatEletric no ensino e na aprendizagem de circuitos elétricos em CA.

Contudo, os OAM, por si só, não são capazes de desenvolver o ensino de conteúdos nos cursos de Engenharias, sendo um recurso para complementar a aula. Desse modo, compreende-se que os OAM trazem benefícios para os processos de ensino quando utilizados para introduzir conteúdos, permitindo que os professores utilizem outras estratégias didáticas para promover a compressão de conceitos específicos, tais como discussões em sala de aula, experimentos em laboratórios ou ainda os métodos da sala de aula invertida ou Peer Instruction. As estratégias didáticas adotadas pelo professor para complementar a sua aula potencializam o desenvolvimento de habilidades e capacidades que não são desenvolvidas pela interatividade com o OAM.

O professor participante da pesquisa entende que o OAM, planejado com as propriedades do MatEletric, pode ser utilizado com a estratégia da sala de aula invertida, possibilitando que os acadêmicos compreendam os conceitos considerados básicos com o recurso digital, para estudar os mais específicos e complexos em sala de aula. Além disso, o presente pesquisador sugere que, durante as aulas, concomitantemente ou após a interatividade com o OAM, sejam realizados debates nas aulas e a realização de experimentos em laboratórios para aumentar os diferentes tipos estímulos aos acadêmicos.

Os debates e os experimentos são estratégias que possibilitam o desenvolvimento de capacidades e habilidades diferentes das alcançadas com o MatEletric, apresentando potencial para ampliar o nível de significação e ressaltar o protagonismo dos acadêmicos no processo de aprendizagem. Os debates promovem a interação entre os acadêmicos e o professor, possibilitando o compartilhamento de ideias e dúvidas, desenvolvendo o senso crítico e a capacidade de argumentação. Os experimentos em laboratórios permitem que os acadêmicos montem circuitos elétricos para verificar o comportamento dos componentes elétricos, associando o conteúdo teórico a situações práticas. Desse modo, essas estratégias podem

complementar a proposta do professor e promover a construção de significados de uma forma que não é possível fazer pelo OAM.

Por fim, a tese defendida está associada às compreensões sobre as perspectivas dos acadêmicos e do professor de Engenharia em relação ao uso do MatEletric como material didático para promover o ensino de circuitos elétricos em CA. Os OAM, como o MatEletric, são recursos didáticos desenvolvidos para complementar a aula do professor, considerando determinados pressupostos teóricos. Na presente tese, o tripé constituído pela TAS, pela RP e pelas TD promoveu a elaboração de um OAM potencialmente significado para o ensino de conteúdos didáticos para acadêmicos de Engenharia, principalmente por causa da sua organização didática e da qualidade dos conteúdos propostos. Desse modo, entende-se que o referido configura-se como pressupostos teóricos com potencial para promover o protagonismo dos acadêmicos de Engenharia no processo de aprendizagem, superando assim um ensino transmissivo e repetitivo, por meio de diferentes recursos que proporcionam a construção de significados, o desenvolvimento de habilidades e capacidades consideradas essenciais na sua formação profissional e pessoal.

## REFERÊNCIAS

- ABEGG, I.; RAMOS, D. B. Investigação de ferramentas e métodos de ensino de circuitos de corrente alternada para curso introdutório de eletrotécnica. **Revista Dynamis**, Blumenau/SC, v. 19, n. 1, 2013.
- AGRICCO JUNIOR, R. C. **Números complexos e grandezas elétricas**: análise de livros didáticos apoiada na teoria dos registros de representações semióticas. 2017. 215f. Dissertação (Mestrado). Universidade Anhanguera de São Paulo, São Paulo, 2017.
- AGUIAR, E. V. B.; FLÔRES, M. L. P. Objetos de aprendizagem: conceitos básicos. In: TAROUCO, L. M. R. *et al.* (Org.). **Objetos de Aprendizagem**: teoria e prática. Porto Alegre: Evangraf, 2014.
- ALLEVATO, N. S. G. Trabalhar através da resolução de problemas: possibilidades em dois diferentes contextos. **VIDYA**, Santa Maria, v. 34, n. 1, p. 209-32, 2014.
- ALLEVATO, N. S. G.; ONUCHIC, L. R. Ensino-Aprendizagem-Avaliação de Matemática: por que Através da Resolução de Problemas? In: ONUCHIC, L. R. *et al.* (Org.). **Resolução de Problemas**: teoria e prática. Jundiaí: Paco Editorial, 2014.
- ALMEIDA, E. **A evasão nos cursos de engenharia e a sua relação com a matemática**: uma análise a partir do Cobenge. 98f. 2016. Dissertação (Mestrado). Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo, 2016.
- ALMEIDA, E.; GODOY, E. V. A evasão nos cursos de Engenharia: uma análise a partir do Cobenge. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 44., 2016, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2016.
- ALVES-MAZZOTTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. **O método nas ciências naturais e sociais**: pesquisa quantitativa e qualitativa. 2. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 1999.
- AMARAL, E. M. H. *et al.* Objetos multimodais para a aprendizagem de matemática – O projeto E2D. In: LIMA, J. V. *et al.* (Org.). **Objetos de aprendizagem multimodais**: projetos e aplicações. Barcelona: Editorial UOC, 2014.
- ANASTASIOU, L. G. C.; ALVES, L. P. **Processos de ensinagem na universidade**: pressupostos para as estratégias de trabalho em aula. 6. ed. Joinville: UNIVILLE, 2006.
- ARAUJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 30, n. 2, p. 362-384, abr. 2013.
- ARAÚJO, J. L.; BORBA, M. C. Construindo pesquisas coletivamente em Educação Matemática. In: BORBA, M. C.; ARAÚJO, J. L. (Org.). **Pesquisa qualitativa em educação matemática**. 5.ed. rev. e ampl. Belo Horizonte: Autêntica, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9241-11: requisitos ergonômicos para trabalho de escritórios com computadores**. Rio de Janeiro, 2002.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimento**: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Paralelo, 2003.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

AVELAR, C. B. **O fascinante mundo dos números complexos**. 2016. 103f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, São Carlos/SP, 2016.

BARBOSA, E. F.; MOURA, D. G. Metodologias ativas de aprendizagem na Educação Profissional e Tecnológica. **Boletim Técnico do Senac**, Rio de Janeiro, v. 39, n.2, p. 48-67, maio/ago. 2013.

BARIN, C. S.; BASTOS, G. D.; MARSHALL, D. A elaboração de material didático em ambientes virtuais de ensino-aprendizagem: o desafio da transposição didática. **Renote - Revista Novas Tecnologias em Educação**, Porto Alegre, v. 11, n. 1, 2013.

BARROS, C. S. G. **Psicologia e construtivismo**. São Paulo: Ática, 1996.

BASTOS, A. S. A. M. **Análise de erros matemáticos na resolução de problemas, aplicados à física elétrica**. 2013. 199f. Tese (Doutorado). Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo, 2013.

BATISTA, S. C. F. **SOFTMAT**: um repositório de *softwares* para matemática do Ensino Médio – um instrumento em prol de posturas mais conscientes na seleção de *softwares* educacionais. 2004. 202f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2004.

BATISTA, S. C. F.; BARCELOS, G. T.; COSTA D. M.; BEHAR, P. A. Investigando em C: uma unidade de aprendizagem online para estudo de números complexos. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, Porto Alegre/RS, v. 7, n. 1, jul. 2009.

BAUR, A. P. **O ensino-aprendizagem de matemática através da resolução de problemas**. 2009. 44f. Trabalho de conclusão (Licenciatura em Matemática). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. V.; LINSINGEN, I. **Educação tecnológica**: enfoques para o ensino de engenharia. 2. ed., rev. e ampl. Florianópolis: UFSC, 2008.

BECKER, F. **Da ação à operação**: o caminho da aprendizagem: J. Piaget e P. Freire. Porto Alegre: Palmarinca, 1993.

BECKER, F. **Educação e construção do conhecimento**. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2015.

BEHAR, P. A. Modelos pedagógicos em educação a distância. In: BEHAR, P. A. (Org.). **Modelos pedagógicos em educação a distância**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

BEHAR, P. A.; MACEDO, A. L.; SOUZA, A. P. F. C.; BERNARDI, M. Objetos de aprendizagem para educação a distância. In: BEHAR, P. A. (Org.). **Modelos pedagógicos em educação a distância**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

BELLONI, M. L. Mediatização – os desafios das novas tecnologias de informação e comunicação. In: BELLONI, M. L. **Educação a distância**. Editora Autores Associados, 1999.

BERMEJO, A. P. B.; MORAES, M. S. F.; LIMA, T. A.; GRAÇA, V. V. Dificuldades na aprendizagem dos números complexos. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 10., 2010, Salvador. **Anais...** Salvador/BA, 2010.

BETTIO, R. W.; MARTINS, A. **Objetos de Aprendizado**: Um novo modelo direcionado ao Ensino a Distância. São Paulo: Cortez, 2002.

BIANCHINI, B. L. *et al.* Competências matemáticas: perspectivas da SEFI e da MCC. **Educação Matemática Pesquisa**, São Paulo, v. 19, n. 1, abr. 2017.

BICUDO, M. A. V. **Fenomenologia**: confrontos e avanços. São Paulo: Cortez, 2000.

BICUDO, M. A. V. Pesquisa qualitativa e pesquisa qualitativa segundo a abordagem fenomenológica. In: BORBA, M. C.; ARAÚJO, J. L. (Org.). **Pesquisa qualitativa em educação matemática**. 5.ed. rev. e ampl. Belo Horizonte: Autêntica, 2013.

BIEMBENGUT, M. S. **Mapeamento na Pesquisa Educacional**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

BOERO, M. L. A evasão escolar em uma universidade privada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 34., 2006, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo, 2006.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Porto: Porto Editora, 2006.

BORBA, M. C.; ARAÚJO, J. L. (Org.). **Pesquisa Qualitativa em Educação Matemática**. 3.ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2010.

BORTONI-RICARDO, S. M. **O professor pesquisador**: introdução à pesquisa qualitativa. São Paulo: Parábola, 2008.

BOUCINHA, R. M.; GRASEL, P.; TAROUÇO, L. M. R. Desenvolvimento de objetos de aprendizagem multimodais para *tablets*. In: LIMA, J. V. *et al.* (Org.). **Objetos de aprendizagem multimodais**: projetos e aplicações. Barcelona: Editorial UOC, 2014.

BRASIL. CAPES, **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior**. 2017. Disponível em: <http://www.capes.gov.br>. Acesso em: 14 maio 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: Educar é a base. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/12/BNCC\\_19dez2018\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/wp-content/uploads/2018/12/BNCC_19dez2018_site.pdf). Acesso em: 14 mar. 2019.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**: proposta preliminar. 2. ed. Brasília: MEC, 2016. Disponível em: <http://historiadabncc.mec.gov.br/documentos/bncc-2versao.revista.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2019.

BRASIL. Ministério da Educação. **Orientações curriculares para o ensino médio**. Brasília: MEC, 2006a. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book\\_volume\\_02\\_internet.pdf](http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf). Acesso em: 20 ago. 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. **Pacto Nacional pelo Fortalecimento do Ensino Médio**. Brasília: MEC/SEB, 2013. Disponível em: [http://pactoensinomedio.mec.gov.br/images/pdf/pacto\\_fort\\_ensino\\_medio.pdf](http://pactoensinomedio.mec.gov.br/images/pdf/pacto_fort_ensino_medio.pdf). Acesso em: 12 jan. 2015.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Matemática**. Ensino de 1<sup>a</sup> a 4<sup>a</sup> séries. Brasília: MEC, 1997. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro03.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2017.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias** Brasília: Ministério da Educação, 1999. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2016.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais Ensino Médio (PNCEM): orientações complementares aos parâmetros curriculares nacionais**. Brasília: MEC/SEMT, 2006b.

BRASIL. Ministério da Educação. **Programa Ensino Médio Inovador**: documento orientador. Brasília: MEC/SEB, 2014. Disponível em: [http://pactoensinomedio.mec.gov.br/images/pdf/doc\\_orientador\\_proemi\\_2014.pdf](http://pactoensinomedio.mec.gov.br/images/pdf/doc_orientador_proemi_2014.pdf). Acesso em: 12 jan. 2015.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN + Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília: Ministério da Educação, 2002.

BULEGON, A. M.; MUSSOI, E. M. Pressupostos pedagógicos de objeto de aprendizagem. In: TAROUCO, L. M. R. *et al.* (Org.). **Objetos de Aprendizagem: teoria e prática**. Porto Alegre: Evangraf, 2014.

BÚRIGO, E. Z. *et al.* **A matemática na escola: novos conteúdos, novas abordagens**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2012.

CAMARGO, S. T. Mapeamento de artigos sobre interdisciplinaridade produzidos no Brasil no período de 2000 a 2009/65. In: LARA, M. C. I.; ROCHA FILHO. B. J.; BORGES. R. M. R. (Org.). **Interdisciplinaridade e Inovação na Educação em Ciências e Matemática**. Porto Alegre: EdiPUCRS, 2017.

CANTO FILHO, A. B.; LIMA, J. V. Princípios de projeto. In: LIMA, J. V. *et al.* (Org.). **Objetos de aprendizagem multimodais: projetos e aplicações**. Barcelona: Editorial UOC, 2014.

CARNEIRO, J. P. A geometria e o ensino dos números complexos. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 8., 2004, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2004a.

- CARNEIRO, J. P. A geometria e o ensino dos números complexos. **Revista do Professor de Matemática**, São Paulo, n. 55, jul. 2004b.
- CARNEIRO, L. S. **Números complexos: por que não estudar?**. 2019. 111f. Dissertação (Mestrado Profissional). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.
- CARNEIRO, M. L. F.; SILVEIRA, M. S. Objetos de Aprendizagem como elementos facilitadores na Educação a Distância. **Educar em Revista**, n. 4, dez. 2014.
- CARVALHO, M. **Problemas? Mas que problemas?!**: Estratégias de resolução de problemas matemáticos em sala de aula. Petrópolis: Vozes, 2005.
- CHAGAS, J. S. B. **A relevância do ensino de números complexos no Ensino Médio na opinião dos professores de matemática**. 2013. 104f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2013.
- CHAVES, E. G. **Teaching Complex Numbers in High School**. 2014. 61f. Dissertação (Mestrado). Louisiana State University, Louisiana – EUA, 2014.
- CIPTOWIYONO, I. Engineering students difficulties in learning complex numbers. In: EUROPEAN SOCIETY FOR ENGINEERING EDUCATION. 43, 2015, Orléans – França. **Proceedings...** Orléans - França, 2015.
- COELHO, M. C. B. **Números Complexos e suas aplicações geométricas no ensino superior**. 2013. 112f. Dissertação (Mestrado Profissional). Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Rio de Janeiro, 2013.
- COLL, C.; MARTÍN, E. A avaliação da aprendizagem no currículo escolar: uma perspectiva construtivista. In: COLL, C. *et al.* **O construtivismo na sala de aula**. 6. ed. São Paulo: Ática, 1999.
- COSTA, J. C. **Números Complexos: uma abordagem com ênfase em aplicações na matemática e em outras áreas**. 2016. 67f. Dissertação (Mestrado Profissional). Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.
- COSTA, S. S. C. O aprender pela resolução de problemas. IN: MASINI, E. F. S.; MOREIRA, M. A. (Org.). **Aprendizagem significativa: condições para ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos**. São Paulo: Vetor, 2008.
- CRESWELL, J. W. **Investigação qualitativa e projeto de pesquisa: escolhendo entre cinco abordagens**. 3. ed. Porto Alegre: Penso, 2014.
- CRESWELL, J. W. **Projeto de Pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- CURY, H. N. “Professora, eu só erreí um sinal!?”: como a análise de erros pode esclarecer problemas de aprendizagem. In: CURY, H. N. (Org.). **Disciplinas matemáticas em cursos superiores: reflexões, relatos, propostas**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2004.
- CURY, H. N. **Análise de erros: o que podemos aprender com as respostas dos alunos**. Belo Horizonte: Autêntica, 2007.

CURY, H. N. COBENGE e ensino de disciplinas matemáticas nas Engenharias: um retrospecto dos últimos dez anos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 30., 2002, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Unimep, 2002

CURY, H. N.; OLIVEIRA, A. M. P. Da saliva e pó de giz ao *software* de computação algébrica: a difícil adaptação dos professores de matemática às exigências da sociedade informatizada. In: CURY, H. N. (Org.). **Disciplinas matemáticas em cursos superiores: reflexões, relatos, propostas.** Porto Alegre: EDIPUCRS, 2004.

DAVID P. AUSUBEL. **Home.** Disponível em: <http://www.davidausubel.org/index.html>. Acesso em: 05 mar. 2019.

DE CORTE, E.; VERSCHAFFEL, L.; SCHROOTEN, H. Cognitive effects of learning to program in Logo: a one-year study with sixth graders. In: DE CORTE, E. *et al.* (Eds.). **Computer-Based Learning Environments and Problem Solving.** Berlin: Springer-Verlag, 1992.

DEMO, P. **Educar pela pesquisa.** 4. ed. Campinas, SP: Autores Associados, 2000.

DENZIN, Norman K.; LINCOLN, Yonna S. Introdução: a disciplina e a prática da pesquisa qualitativa. In: DENZIN, Norman K.; LINCOLN, Yonna S. **O planejamento da pesquisa qualitativa: teorias e abordagens.** Porto Alegre: Artmed, 2006.

DIAS, T. M.; PUHL, C. S. Tráfico de animais silvestres: um debate com estudantes do Ensino Fundamental. **EDUCERE: Revista de Educação da UNIPAR**, v. 20, p. 229-249, 2020.

ECHEVERRÍA, M. D. P. P. A solução de problemas em matemática. In: POZO, J. I. (Org.). **Solução de problemas: aprender a resolver, resolver para aprender.** Porto Alegre: ArtMed, 1998.

ECHEVERRÍA, M. D. P. P.; POZO, J. I. Aprender a resolver problemas e resolver problemas para aprender. In: POZO, J. I. (Org.). **Solução de problemas: aprender a resolver, resolver para aprender.** Porto Alegre: ArtMed, 1998.

ELI, J. **Números complexos e suas aplicações: uma proposta de ensino contextualizado com abordagem histórica.** 2014. 171f. Dissertação (Mestrado). Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2014.

FAZENDA, I. C. A. **Interdisciplinaridade: história, teoria e pesquisa.** 18. ed. Campinas, SP: Papirus, 2011.

FELTES, C. M.; PUHL, C. S. Gráficos da função quadrática: uma atividade potencialmente significativa. In: JORNAL NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 6., 2016, Passo Fundo. **Quais os rumos da Educação Matemática?.** Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2016.

FELTES, C. M.; PUHL, C. S. Uma experiência para a compreensão das fórmulas de área de figuras planas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENSINO DE MATEMÁTICA, 7., 2017, Canoas. **Anais do VII CIEM.** Canoas: ULBRA, 2017.

FELTES, C. M.; PUHL, C. S. Uma proposta didática para o ensino de números decimais no 5º ano do Ensino Fundamental. In: JORNADA NACIONAL DE EDUCAÇÃO

- MATEMÁTICA, 7., 2018, Passo Fundo. **Educação matemática e interdisciplinaridade: diálogos, experiências e práticas possíveis**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2018.
- FERLIN, E. P.; TOZZI, M. J. Integração Universidade - Ensino Médio. In: TOZZI, M. J.; OLIVEIRA, V. F.; GIOGETTI, M. F.; ROCHA, A. (Org.). **Novos Paradigmas na Educação em Engenharia**. Curitiba: Abenge – UNICENP, 2007.
- FERNANDEZ, R.; RIGO, S. J. Avaliação da promoção da aprendizagem em educação a distância, através do uso de um objeto de aprendizagem. **Renote - Revista Novas Tecnologias em Educação**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, 2012.
- FIORENTINI, D.; LORENZATO, S. **Investigação em educação matemática: percursos teóricos e metodológicos**. Campinas: Autores Associados, 2006.
- FLICK, U. **Qualidade na pesquisa qualitativa**. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- FONTANELLA, B. J. B.; MAGDALENO JÚNIOR, R. Saturação teórica em pesquisas qualitativas: contribuições psicanalíticas. **Psicologia em Estudo**, Maringá, v. 17, n. 1, p. 63-71, jan./mar. 2012.
- FONTANELLA, B. J. B.; RICAS, J.; TURATO, E. R. Amostragem por saturação em pesquisas qualitativas em saúde: contribuições teóricas. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p. 17-27, jan, 2008.
- FRANCO, S. R. K. **O construtivismo e a educação**. 8. ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Mediação, 2000.
- FREITAS, J. L. M. Teoria das Situações Didáticas. In: MACHADO, S. D. A. (Org.). **Educação Matemática: Uma (nova) introdução**. 3ª ed. São Paulo: EDUC, 2008.
- FUNERAL INNOVATIONS (West Des Moines – Iowa/EUA). In loving memory of David P. Ausubel, M.D., PH.D. Disponível em: <http://funeralinnovations.com/obituaries/view/181861/2>. Acesso em: 05 mar. 2019.
- GAGNÉ, R. M. *et al.* **Principles of instructional design**. Cengage Learning: Thomson, 2005.
- GALIAZZI, M. C. O professor na sala de aula com pesquisa. In: MORAES, R.; LIMA, V. M. R. (Org.). **Pesquisa em sala de aula: tendências para a educação em novos tempos**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2002.
- GERMANO, J. G. C. **Uma proposta de abordagem dos Números Complexos com o uso do Geogebra**. 2016. 132f. Dissertação (Mestrado Profissional). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- GIANOTTI, R. C.; GIANOTTI, S. S. C. A avaliação formativa em cursos superiores com foco em desenvolvimento de competências. In: LIMA, J. V.; NUNES, F. B.; HANNEL, K.; ZUNGUZE, M. C. (Org.). **Trajetórias de Aprendizagem: teoria e prática**. Create Space, 2016.
- GIBBS, G. R. **Análise de dados qualitativos**. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em ciências sociais**. 3.ed. Rio de Janeiro: Record, 1999.

GOMES, S. L. R. P. **Engenharia Didática: uma alternativa no ensino de Física Contemporânea**. 2018. 85f. Dissertação (Mestrado Profissional). Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2018.

GOULART, J. B.; GRAVINA, M. A. Geometria Analítica com o *Software* GrafEq. In: BÚRIGO, E. Z. *et al.* (Org.). **A matemática na escola: novos conteúdos, novas abordagens**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2012.

GRAVINA, M. A. Geometria dinâmica: uma nova abordagem para o aprendizado da Geometria. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 7., 1996, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 1996.

GRAVINA, M. A.; BASSO, M. V. A. Mídias digitais na Educação Matemática. In: GRAVINA, M. A. (Org.). **Matemática, mídias digitais e didática: tripé para formação do professor de matemática**. Porto Alegre: UFRGS, 2012.

GRAY, D. E. **Pesquisa no mundo real**. 2. ed. Porto Alegre: Penso, 2012.

GUDWIN, R. **Aprendizagem Ativa**. 2017. Disponível em: <http://faculty.dca.fee.unicamp.br/gudwin/activelearning>. Acesso em: 05 mar. 2019.

GUEDES JUNIOR, R. R. **Números complexos: desenvolvimento e aplicações**. 2016. 64f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

GUILHERMO, O. E. P. *et al.* Experiência multimodal a partir de hipervídeo em supercâmera lenta no contexto de um objeto de aprendizagem da mecânica dos fluídos. In: LIMA, J. V. *et al.* (Org.). **Objetos de aprendizagem multimodais: projetos e aplicações**. Barcelona: Editorial UOC, 2014.

GÜNTHER, H. Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão?. **Psicologia: Teoria e Pesquisa**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 201-209, ago. 2006.

HENRIQUE, M. P. **GeoGebra no Clique e na palma das mãos: Contribuições de uma dinâmica de aula para Construção de Conceitos Geométricos com Alunos do Ensino Fundamental**. 2017. 122f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

HIGUCHI *et al.* Aprendizagem colaborativa e tecnologia interativa. In: MASINI, E. F. S.; PEÑA, M. D. J. (Org.). **Aprendendo significativamente: uma construção colaborativa em ambientes de ensino presencial e virtual**. São Paulo: Vetor, 2010.

HOFFMANN, J. M. L. **Avaliar para promover: as setas do caminho**. 9. ed. Porto Alegre: Mediação, 2006.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE). **Standard for Learning Object Metadata**. New York: Learning Technology Standards Committee, 2002.

Disponível em: <https://ieeexplore-ieee-org.ez94.periodicos.capes.gov.br/document/1032843>. Acesso em: 8 fev. 2019.

JESUS, M. A. S.; TESTANI, G. B. As atitudes em relação à matemática e o desempenho em cálculo diferencial e integral na variável complexa. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 12., 2016, São Paulo. **Anais...** São Paulo/SP, 2016.

JOHNSON, L. F. **Elusive Vision: Challenges Impeding the Learning Object Economy**. San Francisco: Macromedia, 2003. Disponível em: [https://www.nmc.org/pdf/Elusive\\_Vision.pdf](https://www.nmc.org/pdf/Elusive_Vision.pdf). Acesso em: 8 fev. 2019.

JOHNSON, R. **Using complex numbers in circuit analysis**. University of California Santa Cruz, 2014. Notas de aula do curso Physics 160: Practical Electronics. Disponível em: <http://www.its.caltech.edu/~jpelab/phys1cp/AC%20Circuits%20and%20Complex%20Impedances.pdf>. Acesso em: 19 de março de 2020.

KAHOOT!. **Learning games**. Disponível em: <https://kahoot.com/>. Acesso em: 06 fev. 2021.

KAY, R. H.; KNAACK, L. A formative analysis of individual differences in the effectiveness of learning objects in secondary school. **Computers & Education**, v. 51, n. 3, nov. 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131508000134>. Acesso em: 8 fev. 2019.

KENSKI, V. M. **Tecnologias e ensino presencial e a distância**. 3. ed. Campinas, SP: Papirus, 2006.

KHADJOOI, K.; ROSTAMI, K.; ISHAQ, S. How to use Gagne's model of instructional design in teaching psychomotor skills. **Gastroenterol Hepatol Bed Bench**. v. 3, n. 4, 2011.

LARA, I. C. M. Mapeamento das dissertações e teses sobre interdisciplinaridade produzidas no Brasil no início do século XXI. In: LARA, I. C. M.; ROCHA FILHO, J. B.; BORGES, R. M. R. (Org.). **Interdisciplinaridade e inovação na educação em ciências e matemática**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2017.

LEFRANÇOIS, G. R. **Teorias da aprendizagem: o que o professor disse**. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.

LIEBAN, D. *et al.* **Avaliação de Objetos de Aprendizagem**. 2010. Disponível em: <http://oaquatromaisum.wix.com/oa>. Acesso em: 05 dez. 2018.

LIMA, H. M. **Aplicação de números complexos em circuitos elétricos**. 2017. 141f. Dissertação (Mestrado Profissional). Universidade Federal do ABC, Santo André, 2017.

LIMA, I. G.; SAUER, L. Z.; SOARES, E. M. S. Integração Universidade - Ensino Médio: Melhoria das Condições de Aprendizagem em Matemática. In: TOZZI, M. J.; OLIVEIRA, V. F.; GIOGETTI, M. F.; ROCHA, A. (Org.). **Novos Paradigmas na Educação em Engenharia**. Curitiba: Abenge – UNICENP, 2007.

LINHARES, M. F. **Análise dos Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA's) AulaNet, Moodle e TelEduc e implementação do ambiente Moodle na Universidade Santa Úrsula**. 2017. 109f. Dissertação (Mestrado). Universidade Santa Úrsula, Rio de Janeiro, 2017.

LIRA, E. S. **Uma aplicação dos números complexos no Ensino Médio Técnico da Educação Profissional**. 2014. 68f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Piauí, Teresinha, 2014.

LÜCK, H. **Pedagogia interdisciplinar: fundamentos teórico-metodológicos**. 10.ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2002.

LUCKESI, C. C. Verificação ou avaliação: o que pratica a escola. **Série Idéias**, n. 8, p. 71-80, 1998.

LURIA, A. R. **Desenvolvimento cognitivo: seus fundamentos culturais e sociais**. São Paulo: Ícone, 1990.

MARTINS, J.; BICUDO. M. A. V. **A pesquisa qualitativa em psicologia: fundamentos e recursos básicos**. São Paulo: Ed. Moraes, 1994.

MASINI, E. F. S. Lacunas e comprometimentos no aprender. IN: MASINI, E. F. S.; MOREIRA, M. A. (Org.). **Aprendizagem significativa: condições para ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos**. São Paulo: Vetor, 2008.

MAURI, T. O que faz com que o aluno e a aluna aprendam os conteúdos escolares?. In: COLL, César *et al.* **O construtivismo na sala de aula**. 6. ed. São Paulo: Ática, 1999.

MELLO, S. Q. **O ensino de matemática e a educação profissional: a aplicabilidade dos números complexos na análise de circuitos elétricos**. 2005. 159f. Dissertação (Mestrado). Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2005.

MELLO, S. Q.; SANTOS, R. P. O ensino de Matemática e a educação profissional: a aplicabilidade dos números complexos na análise de circuitos elétricos. **Acta Scientiae**, Canoas/RS, v. 7, n. 2, jul./dez. 2005.

MELO, C. A. *et al.* Utilização do *software* Kahoot no ensino da Matemática: um relato de experiência. In: COLÓQUIO LUSO-BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO, 3., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Faculdade de Educação da UDESC, 2017.

MENDONÇA, M. C. D. **Problematização: um caminho a ser percorrido em Educação Matemática**. 1993. 307f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, 1993.

MONTEIRO, B. S. *et al.* Metodologia de desenvolvimento de objetos de aprendizagem com foco na aprendizagem significativa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO, 7., 2006, Brasília. **Anais...** Brasília, 2006.

MONZON, L. W. **Números complexos e funções de variável complexa no ensino médio uma proposta didática com uso de objeto de aprendizagem**. 2012. 134f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MORAES, R. Da noite ao dia: tomada de consciência de pressupostos assumidos dentro das pesquisas sociais. In: LIMA, V. M. R.; HARRES, J. B. S.; PAULA, M. C. (Org.). **Caminhos da pesquisa qualitativa no campo da educação em ciências: pressupostos, abordagens e possibilidades**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2018.

MORAES, R. Realidade, Teoria e Prática. In: BORGES, R. M. R. (Org.). **Filosofia e história da ciência no contexto da educação em ciências: vivências e teorias**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. **Análise textual discursiva**. 3. ed. ver. e ampl. Ijuí: Ed. Unijuí, 2016.

MORAIS, R. S.; ONUCHIC, L. R. Uma Abordagem Histórica da Resolução de Problemas. In: ONUCHIC, L. R. *et al.* (Org.). **Resolução de Problemas: teoria e prática**. Jundiaí: Paco Editorial, 2014.

MORALES, A.; PUHL, C. S.; LIMA, I. G. Números complexos e corrente alternada: um contexto interdisciplinar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 41., 2013, Gramado. **Educação na era do conhecimento**. Gramado: UFRGS, 2013.

MORAN, J. M. A Culpa não é do Online – Contradições na educação evidenciadas pela crise atual. **Educação Transformadora**. 2020a. Disponível em: <http://www2.eca.usp.br/moran/?p=1506>. Acesso em: 31 dez. 2020.

MORAN, J. M. Ensino e aprendizagem inovadores com tecnologias audiovisuais e telemáticas. In: MORAN, J. M.; MASETTO, M. T.; BEHRENS, M. A. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. 5.ed. Campinas, SP: Papirus, 2002.

MORAN, J. M. O vídeo na sala de aula. **Comunicação & Educação**, n. 2, jan./abr. 1995.

MORAN, J. M. Transformações na Educação impulsionadas pela crise. **Educação Transformadora**. 2020b. Disponível em: <http://www2.eca.usp.br/moran/wp-content/uploads/2020/05/Transforma%C3%A7%C3%B5es.pdf>. Acesso em: 31 dez. 2020.

MORAN, J. M.; MASETTO, M. T.; BEHRENS, M. A. **Novas tecnologias e mediação pedagógica**. 21. ed. Campinas, SP: Papirus, 2013.

MOREIRA, A. A. **Motivação para o ensino e aprendizagem dos números complexos: uma abordagem com aplicações**. 2018. 110f. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

MOREIRA, J. A.; SCHLEMMER, E. Por um novo conceito e paradigma de educação digital *onlife*. **Revista UFG**, v. 20, 2020.

MOREIRA, M. A. A teoria da Aprendizagem Significativa segundo Ausubel. IN: MASINI, E. A. F. S.; MOREIRA, M. A (Org.). **Aprendizagem significativa: condições para ocorrência e lacunas que levam a comprometimentos**. São Paulo: Vetor, 2008a.

MOREIRA, M. A. Aprendizaje significativo: un concepto subyacente. In: ENCUESTRO INTERNACIONAL SOBRE EL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO, 2., 1997, Burgos. **Actas...** Burgos (Espanha), 1997.

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa. In: MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Livraria de Física, 2011a.

- MOREIRA, M. A. Organizadores previos y aprendizaje significativo. **Revista Chilena de Educación Científica**, v. 7, n. 2, p. 23-30, 2008b.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. 2. ed. ampl. São Paulo: EPU, 2011b.
- MOREIRA, M. A. Unidades de enseñanza potencialmente significativas - UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista/ Meaningful Learning Review**, Rio Grande do Sul, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011c.
- MOREIRA, M. A.; MASINI, E. A. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. 2. ed. São Paulo: Centauro, 2006.
- MORETTO, V. P. **Planejamento: planejando a educação para o desenvolvimento de competências**. 4. ed. Petrópolis: Vozes, 2009.
- MORETTO, V. P. **Prova: um momento privilegiado de estudo, não um acerto de contas**. Rio de Janeiro: Lamparina, 2007.
- MORGADO, J. C. **O estudo de caso na investigação em educação**. Santo Tirso – Portugal: De facto editores, 2012.
- MORIN, E. **A cabeça bem feita: repensar a reforma, reformar o pensamento**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004a.
- MORIN, E. **Os sete saberes necessários à educação do futuro**. 9. ed. São Paulo: Cortez, 2004b.
- MOYSÉS, L. **Aplicações de Vygotsky à educação matemática**. 2.ed. Campinas, SP: Papyrus, 2000.
- MUNHOZ, A. S. **Objetos de aprendizagem**. Curitiba: Ibplex, 2012.
- NASCIMENTO, A. C. A. Objetos de Aprendizagem: a distância entre a promessa e a realidade. In: PRATA, C. L.; NASCIMENTO, A. C. A. **Objetos de Aprendizagem: Uma Proposta de Recurso Didático**. Brasília: MEC, SEED, 2007.
- NETO, R. M. R. **Alternativa Metodológica para o Ensino e Aprendizagem de Números Complexos: Uma Experiência com Professores e Alunos**. 2009. 142f. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.
- NETO, R. V. O ensino de números complexos. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 11., 2013, Curitiba. **Anais...** Curitiba/PR, 2013.
- NOBRE, W. R. **Números complexos e algumas aplicações**. 2013. 54f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2013.
- NORDLANDER, M. C.; NORDLANDER, E. **On the concept image of complex numbers**. Gävle, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/0020739X.2011.633629>. Acesso em: 19 de março de 2020.
- NOVAK, J. D. **Uma teoria de educação**. São Paulo: Pioneira, 1981.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. F.; FERREIRA, S. B. L. **Guia de Referência em Acessibilidade Web**. Rio de Janeiro: UNIRIO, 2010. Disponível em: <http://acessibilidadelegal.com/13-guia.php>. Acesso em: 15 mar. 2020

OLIVEIRA, W. G. A. **Estudo e Aplicações dos Números Complexos: O uso dos Números Complexos na Análise de Circuitos Elétricos**. 2018. 66f. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

ONRUBIA, J. Ensinar criar zonas de desenvolvimento proximal e nelas intervir. In: COLL, C. *et al.* **O construtivismo na sala de aula**. 6. ed. São Paulo: Ática, 1999.

ONUCHIC, L. R. Ensino-aprendizagem de Matemática através da resolução de problemas. In: BICUDO, M. A. V. (Org.). **Pesquisa em Educação Matemática**. São Paulo: Editora UNESP, 1999.

ONUCHIC, L. R.; ALLEVATO, N. S. G. Novas reflexões sobre o ensino-aprendizagem de matemática. In: BICUDO, M. A. V.; BORBA, M. C. (Org.). **Educação matemática: pesquisa em movimento**. São Paulo: Cortez, 2004.

ONUCHIC, L. R.; ALLEVATO, N. S. G. Pesquisa em Resolução de Problemas: caminhos, avanços e novas perspectivas. **Boletim de Educação Matemática**, Rio Claro, v. 25, n. 41, p. 73-98, dez. 2011.

PAIVA, M. R. F. *et al.* Metodologias ativas de ensino-aprendizagem: revisão integrativa. **Sanare**, Sobral, v. 15, n. 2, 2016.

PALIS, G. L. R. A transição do Ensino Médio para o Ensino Superior. In: ENCONTRO NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 10., Salvador. **Anais...** Salvador, 2010.

PANAOURA, A.; ELIA, I.; GAGATSI, A.; GIATILIS, P. Geometric and algebraic approaches in the concept of complex numbers. **International Journal of Mathematical Education in Science and Technology**, v. 37, n. 6, 2006.

PAPERT, S. **A máquina das crianças: repensando a escola na era da informática**. Edição revisada. Porto Alegre: Artmed, 2008.

PAULA, A.; HARRES, J. Teoria e prática no “Educar pela Pesquisa”: análise de dissertações em educação em ciências. **Revista Contexto & Educação**, v. 30, n. 96, p.156-192, fev. 2016.

PEÑA, M. D. J. O aprender e ensinar na era digital: uma experiência significativa. In: MASINI, E. F. S.; PEÑA, M. D. J. (Org.). **Aprendendo significativamente: uma construção colaborativa em ambientes de ensino presencial e virtual**. São Paulo: Vetor, 2010.

PEREIRA, F. O. **Números Complexos na Educação Básica**. 2016. 127f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

PIAGET, J. **A equilibração das estruturas cognitivas: problema central do desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

PIAGET, J. **Epistemologia genética**. São Paulo: Martins Fontes, 1990.

PIAGET, J. Fundamentos científicos para a educação do amanhã. In: PIAGET, J. *et al.* **Educar para o futuro**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1974.

PIAGET, J. **Relações entre a afetividade e a inteligência no desenvolvimento mental da criança**. Rio de Janeiro: Wak Editora, 2014.

PINTO, J. E. **Objeto de aprendizagem para o ensino de Números Complexos com aplicações na área técnica em Eletroeletrônica**. 2015. 112f. Dissertação (Mestrado Profissional). Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 2015.

PINTO, J. E.; LAUDARES, J. B. Objeto de Aprendizagem de Números Complexos com aplicações na área técnica em eletroeletrônica. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa/PR, v. 9, n. 3, maio/ago. 2016.

POLYA, G. **Como resolver problemas**. Lisboa: Gradiva, 2003.

POLYA, G. O ensino por meio de problemas. **Revista do Professor de Matemática**. São Paulo, SBM, n. 7, p. 11-16, 1985.

POLYA, G.; ARAÚJO, H. L. **A arte de resolver problemas**: um novo aspecto do método matemático. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

PORTOLAN, J. **A importância do ensino de números complexos no Ensino Médio, na visão dos professores de matemática, em alguns municípios da região oeste do Paraná**. 2017. 96f. Dissertação (Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

POZO, J. I.; ANGÓN, Y. P. A solução de problemas como conteúdo procedimental da educação básica. In: POZO, J. I. *et al.* (Org.). **A solução de problemas**: aprender a resolver, resolver para aprender. Porto Alegre: Artmed, 1998.

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências**: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

PRATA, C. L.; NASCIMENTO, A. C. A.; PIETROCOLA, M. Políticas para fomento de produção e uso de objetos de aprendizagem. In: PRATA, C. L.; NASCIMENTO, A. C. A. (Org.). **Objetos de aprendizagem**: uma proposta de recurso pedagógico. Brasília: MEC, Seed, 2007.

PRENSKY, M. **Digital Natives, Digital Immigrants**. 2001. Disponível em: [www.marcprensky.com/writing](http://www.marcprensky.com/writing). Acesso em: 31 dez. 2020.

PUHL, C. S. *et al.* Modelando funções: em busca de uma metodologia interdisciplinar ativa e potencialmente significativa. In: ENCONTRO NACIONAL DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, 5., 2014, Belém. **Anais...** Belém, 2014.

PUHL, C. S. **Números complexos**: interação e aprendizagem. 2016. 244f. Dissertação (Mestrado Profissional). Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016.

PUHL, C. S.; FELTES, C. M. Um organizador prévio para a aprendizagem de Geometria Plana. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 9, n. 4, p. 8-24, dez. 2017.

PUHL, C. S.; LIMA, I. G. Compreendendo os números complexos por meio de uma estratégia didática para promover a Aprendizagem Ativa. **VIDYA**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 237-256, jan./jun. 2018a.

PUHL, C. S.; LIMA, I. G. Educational object for the learning of complex numbers. In: **ACTIVE LEARNING IN ENGINEERING EDUCATION WORKSHOP**, 2014, Caxias do Sul. **Attracting young people to engineering**. Brasília: ABENGE, 2014a.

PUHL, C. S.; LIMA, I. G. Interagindo com os Números Complexos: o problema das raízes sofisticas. **Perspectivas da Educação Matemática**, v. 10, n. 24, p. 834-850, 2017a.

PUHL, C. S.; LIMA, I. G. Na busca de desenvolver uma aprendizagem significativa de números complexos. In: **JORNADA NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA**, 5., 2014, Passo Fundo. **Educação Matemática: o que ensinar? Por que aprender?** Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2014b.

PUHL, C. S.; LIMA, I. G. Números complexos: um objeto de aprendizagem para ensinar e aprender. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 11, n. 3, p. 312-328, set./dez. 2018b.

PUHL, C. S.; LIMA, I. G. Números Complexos: um subsunçor para a construção de um novo número. In: **ENCONTRO GAÚCHO DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA**, 12., 2015, Porto Alegre. **Inovar a prática valorizando o Professor**. Porto Alegre: PUCRS, 2015.

PUHL, C. S.; LIMA, I. G. Um objeto de aprendizagem para o ensino de números complexos. **Revista de Educação, Ciências e Matemática**, Duque de Caxias, v. 7, n. 1, jan./abr. 2017b.

PUHL, C. S.; LIMA, I. G. Uma abordagem geométrica para a compreensão da unidade imaginária. In: **CONGRESSO INTERNACIONAL DE ENSINO DE MATEMÁTICA**, 7., 2017, Canoas. **Anais do VII CIEM**. Canoas: ULBRA, 2017c.

PUHL, C. S.; LIMA, I. G. Uma atividade potencialmente significativa: diferenciando números reais dos números complexos. **Revista Caderno Pedagógico**, Lajeado, v. 13, n.1, p. 58-76, maio 2016.

PUHL, C. S.; LIMA, I. G.; MÜLLER, T. J. Ensino de números complexos no Ensino Médio, Técnico e Superior: um mapeamento de produções brasileiras. **Abakós**, v. 9, n. esp., p. 40-58, mar. 2021.

PUHL, C. S.; MÜLLER, T. J. Mapeamento em anais de eventos: a busca por objetos de aprendizagem para o ensino de números complexos na Engenharia Elétrica. **Revista Eletrônica de Matemática (REMAT)**, Bento Gonçalves, v. 3, n. 2, dez. 2017.

PUHL, C. S.; MÜLLER, T. J.; LARA, I. C. L. Mapeamento de objetos de aprendizagem para o ensino de números complexos na Engenharia Elétrica. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática (REnCiMa)**, v. 11, n. 4, 2020.

PUHL, C. S.; MÜLLER, T. J.; LIMA, I. G. As contribuições de David Ausubel para os processos de ensino e de aprendizagem. **Revista Dynamis**, v. 26, n. 1, 2020a.

PUHL, C. S.; MÜLLER, T. J.; LIMA, I. G. Contribuições teóricas da Teoria de Aprendizagem Significativa e do ensino por meio da resolução de problemas para qualificar o processo de ensino. **Debates em Educação**, v. 12, n. 27, maio/ago. 2020b.

PUHL, C. S.; MÜLLER, T. J.; LIMA, I. G. Interagindo com os números complexos: proposta para o Ensino Superior. In: Congresso Ibero-Americano de Docência Universitária, 2019, Porto Alegre. **Anais do X Congresso Ibero-Americano de Docência Universitária (CIDU)**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2019a.

PUHL, C. S.; MÜLLER, T. J.; LIMA, I. G. Lacunas de aprendizagem de números complexos: um estudo de caso com acadêmicos de engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 47., 2019, Fortaleza. **Anais...** Brasília: ABENGE, 2019b.

PUHL, C. S.; MÜLLER, T. J.; LIMA, I. G. Operações com números complexos: análise de erros cometidos por acadêmicos de Engenharia. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 16, n. 36, jul. 2020c.

PUHL, C. S.; MÜLLER, T. J.; VIALI, L.; LAHM, R. A. Uma experiência com o Google Earth: em busca de uma aprendizagem ativa e ao comprometimento social de estudantes do Ensino Fundamental. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 19-32, ago. 2018.

PUHL, C. S.; VIALI, L. Um Perfil do Consumo de Bebidas Alcoólicas por Estudantes do Ensino Fundamental de uma Escola Pública. **Perspectivas da Educação Matemática**, v. 13, p. 1-13, 2020.

PUHL, C. S.; VIGANO, V. C. R. Atividades significativas para a aprendizagem de trigonometria. In: JORNAL NACIONAL DE EDUCAÇÃO MATEMÁTICA, 6., 2016, Passo Fundo. **Quais os rumos da Educação Matemática?**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2016.

RABER, D. A. *et al.* Aprendizagem significativa na educação em ciências: uma proposta com potencial interdisciplinar. In: ENCONTRO NACIONAL DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, 5., 2014, Belém. **Anais...** Belém, 2014.

REIS, A. C. M. **A Aplicação dos Números Complexos aos Circuitos de Corrente Alternada no Ensino Técnico**: Uma análise no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI). 2009. 98f. Dissertação (Mestrado). Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2009.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social**: métodos e técnicas. 3. ed., rev. e ampl. São Paulo: Atlas, 1999.

SÁ FILHO, C. S.; MACHADO, E. C. O computador como agente transformador da educação e o papel do objeto de aprendizagem. In: SEMINÁRIO NACIONAL ABED DE EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA, 1., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABED, 2003.

SABBATINI, M. Reflexões críticas sobre o conceito de objeto de aprendizagem aplicado ao ensino de ciências e matemática. **EM TEIA – Revista de Educação Matemática e Tecnológica Iberoamericana**, v. 3, n. 3, 2012.

- SALCEDO, T. P.; ALFONSO, B. G. La enseñanza y el aprendizaje de los números complejos. In: SIMPOSIO DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE EDUCACIÓN MATEMÁTICA (SEIEM), 9., 2005, Córdoba – Espanha. **Actas...** Córdoba – Espanha, 2005.
- SANDE, D.; SANDE, D. Uso do Kahoot como ferramenta de avaliação e ensino-aprendizagem no ensino de microbiologia industrial. **HOLoS**, ano 34, v. 1, 2018.
- SANTAROSA, L. M. C. (Org.). **Tecnologias digitais acessíveis**. Porto Alegre: JSM Comunicação Ltda., 2010.
- SANTOS, N. S. R. S. Construção de objetos de aprendizagem. In: TAROUCO, L. M. R. *et al.* (Org.). **Objetos de Aprendizagem: teoria e prática**. Porto Alegre: Evangraf, 2014.
- SECRETARIA DE EDUCAÇÃO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL (Seduc). **Regimento Referência das Escolas de Ensino Médio Politécnico da Rede Estadual**. 2011. Disponível em: [http://www.educacao.rs.gov.br/dados/ens\\_med\\_regim\\_padrao\\_em\\_Politec\\_II.pdf](http://www.educacao.rs.gov.br/dados/ens_med_regim_padrao_em_Politec_II.pdf). Acesso em: 20 jan. 2015.
- SILVA FILHO, R. L. L.; MONTEJUNAS, P. R.; HIPÓLITO, O.; LOBO, M. B. C. M. A Evasão no Ensino Superior Brasileiro. **Cadernos de Pesquisa**. v. 37, n. 132, 2011.
- SILVA, M. A. Da teoria à prática: uma análise histórica do desenvolvimento conceitual dos números complexos e suas aplicações. **Revista Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 1, jan-jun 2011.
- SILVA, N. A. **Uma situação didática para ensino de números complexos com foco em eletricidade pela via da Engenharia Didática**. 2016. 226f. Dissertação (Mestrado). Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.
- SILVA, R. M. G.; FERNANDEZ, M. A. Recursos informáticos projetados para o ensino de Ciências: bases epistemológicas implicadas na construção e desenvolvimento de objetos de aprendizagem. In: PRATA, C. L.; NASCIMENTO, A. C. A. **Objetos de Aprendizagem: Uma Proposta de Recurso Didático**. Brasília: MEC, SEED, 2007.
- SINGO, F. Objetos de aprendizagem multimodais. In: LIMA, J. V. *et al.* (Org.). **Objetos de aprendizagem multimodais: projetos e aplicações**. Barcelona: Editorial UOC, 2014.
- SOARES, E. M. S.; SAUER, L. Z. Um novo olhar sobre a aprendizagem de matemática para a engenharia. In: CURY, H. N. (Org.). **Disciplinas matemáticas em cursos superiores: reflexões, relatos, propostas**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2004.
- SOARES, M. B. **Alfabetização no Brasil: o estado do conhecimento**. Brasília: INEP/MEC, 1989.
- SOLÉ, I. Disponibilidade para a aprendizagem e sentido da aprendizagem. In: COLL, C. *et al.* **O construtivismo na sala de aula**. 6. ed. São Paulo: Ática, 1999.
- SOLÉ, I.; COLL, C. Os professores e a concepção construtivista. In: COLL, C. *et al.* **O construtivismo na sala de aula**. 6. ed. São Paulo: Ática, 1999.

SOUZA JÚNIOR, A. J.; LOPES, C. R. Saberes docentes e o desenvolvimento de objetos de aprendizagem. In: PRATA, C. L.; NASCIMENTO, A. C. A. **Objetos de Aprendizagem: Uma Proposta de Recurso Didático**. Brasília: MEC, SEED, 2007.

SPINELLI, W. Nem tudo é abstrato no reino dos complexos. **Seminários de Ensino da Matemática**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.nilsonjosemachado.net/sema20091027.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2018.

STAKE, R. E. **The art of case study research**. Thousand Oaks: SAGE Publications, 1995.

STECANELA, N. A escolha do método e a identidade do pesquisador. In: STECANELA, N. (Org.). **Diálogos com a educação: a escolha do método e a identidade do pesquisador**. Caxias do Sul: Educs, 2012.

STOODI (São Paulo). **Quem somos e como aprender conosco**. Disponível em: <http://www.stoodi.com.br/quem-somos/>. Acesso em: 22 jan. 2021.

STUMP, S. M.; ABAR, C. A. A. P. Objetos de aprendizagem para ensino de circuitos elétricos em regime estacionário com o uso de números complexos em um curso de engenharia elétrica. In: CONGRESSO INTERNACIONAL EM EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA E COMPUTAÇÃO, 8., 2013, Luanda – Angola. **Anais...** Luanda – Angola, 2013.

TAJRA, S. F. **Informática na educação: novas ferramentas pedagógicas para o professor na atualidade**. 9. ed., rev., atual. e ampl. São Paulo: Érica, 2012.

TANG, S.; HANNEGHAN, M.; EL RHALIBI, A. Introduction to Game-based learning. In: CONNOLLY, T.; STANSFIELD, M.; BOYLE, L. (Orgs.), **Games-based learning advancements for multi-sensory human computer interfaces: Techniques and effective practices**. New York: Information Science Reference, 2009.

TAROUCO, L. M. R. **Avaliação de objetos de aprendizagem**. 2004. Disponível em: <http://penta2.ufrgs.br/edu/objetosaprendizagem/>. Acesso em: 2 jul. 2018.

TAROUCO, L. M. R. *et al.* Multimídia Interativa: Princípios e Ferramentas. **Renote - Revista Novas Tecnologias em Educação**, v. 7, n. 1, 2009.

TAROUCO, L. M. R.; FABRE, M. C. J. M.; TAMUSIUNAS, F. R. Reusabilidade de objetos educacionais. **Renote - Revista Novas Tecnologias em Educação**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, 2003.

TERRA, V. **O que é Metodologia Ativa e por que ela é tão importante em uma graduação**. 2016. Disponível em: <http://fappes.edu.br/blog/carreira/metodologia-ativa-na-graduacao/>. Acesso em 13 fev. 2018.

TORREZANN, C. A. W; BEHAR, P. A. Parâmetros para a construção de materiais educacionais digitais do ponto de vista do design pedagógico. In: BEHAR, P. A. (Org.). **Modelos pedagógicos em educação a distância**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

UNITED STATES. **Common Core State Standards Initiative: preparing America's students for college & career**. 2013. Disponível em: <http://www.corestandards.org/Math/Content/HSN/CN/>. Acesso em: 19 mar. 2020.

VALENTE, J. A. Informática na educação no Brasil: análise e contextualização histórica. In: VALENTE, J. A. (Org.). **O Computador na Sociedade do Conhecimento**. Campinas: UNICAMP, 1999.

VALENTE, J. A. O uso inteligente do computador na educação. **Revista Pátio**. Porto Alegre, ano 1, n. 1, p. 19-21, 1997.

VARRIALE, M. C.; TREVISAN, V. Novos Conteúdos e Novas Abordagens. In: BÚRIGO, E. Z. *et al.* (Org.). **A matemática na escola: novos conteúdos, novas abordagens**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2012.

VASCONCELLOS, C. S. **Avaliação: concepção dialética-libertadora do processo de avaliação escolar**. 13. ed. São Paulo: Libertad, 2001.

VELOSO, T. C. M. A.; ALMEIDA, E. P. Evasão nos cursos de graduação da Universidade Federal de Mato Grosso, campus universitário de Cuiabá – um processo de exclusão. **Série-Estudos - Periódico do Programa de Pós-Graduação em Educação da UCDB**, nov. 2013.

VILAS BOAS JUNIOR, V. P. **Números Complexos: Interpretação geométrica e aplicações**. 2014. 58f. Dissertação (Mestrado Profissional). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

WADSWORTH, B. J. **Inteligência e afetividade da criança na teoria de Piaget: fundamentos do construtivismo**. 5. ed. São Paulo: Pioneira, 1997.

WILEY, D. **The instructional use of learning objects**, 2000. Disponível em: <http://reusability.org/read/>. Acesso em: 21 maio 2017.

WOOD, E. J. Problem-Based Learning: Exploiting Knowledge of how People Learn to Promote Effective Learning. **Bioscience Education**, Leeds, v. 3, n. 1, 2004.

YAZAN, B. Três abordagens do método de estudo de caso em educação: Yin, Merriam e Stake. **Revista Meta: Avaliação**, v. 8, n. 22, p. 149-182, maio 2016.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZORZAN, A. S. L. **Ensino-aprendizagem: algumas tendências na educação matemática**. 2007. Disponível em: <http://revistas.fw.uri.br/index.php/revistadech/article/viewFile/303/563>. Acesso em: 10 ago. 2018.

### APÊNDICE A – Informações da busca por periódicos

Área	Periódico	Qualis	Quantidade
MAT	Bolema	A1	23
MAT	Revista Brasileira de História da Matemática	B1	12
CIE	Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia	A2	9
MAT	Educação Matemática em Revista	A2	3
MAT	Educação e Matemática: Revista da Associação de Professores	B1	2
CIE	Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias	A2	1
MAT	Acta Scientiae	A2	1
MAT	Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas	A2	1
MAT	Educação Matemática em Revista-RS	A2	1
MAT	PNA: Revista de Investigación en Didáctica de la Matemática	A2	1
MAT	Revista Dynamis	A2	1
MAT	RELIME: Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa	A2	1
MAT	Vidya	A2	1
CIE	Experiências em Ensino de Ciências	B1	1
CIE	Tecné, Episteme y Didaxis: Revista de la Facultad De Ciencia y Tecnologia	B1	1
INF_ED	Renote: Revista Novas Tecnologias na Educação	B1	1
MAT	Perspectivas da Educação Matemática	B1	1
MAT	Tendências em Matemática Aplicada e Computacional	B1	1
CIE	Ensaio. Pesquisa em Educação em Ciências	A1	0
CIE	Enseñanza de las Ciencias	A1	0
CIE	Revista de Educacion de las Ciencias	A1	0
CIE	Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias	A1	0
CIE	Revista Areté: Revista Amazônica de Ensino de Ciências	A2	0
CIE	Anais da Academia Brasileira de Ciências	A2	0
CIE	Enseñanza de las Ciencias de la Tierra	A2	0
CIE	Investigações em Ensino de Ciências	A2	0
CIE	Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	A2	0
CIE	Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	A2	0

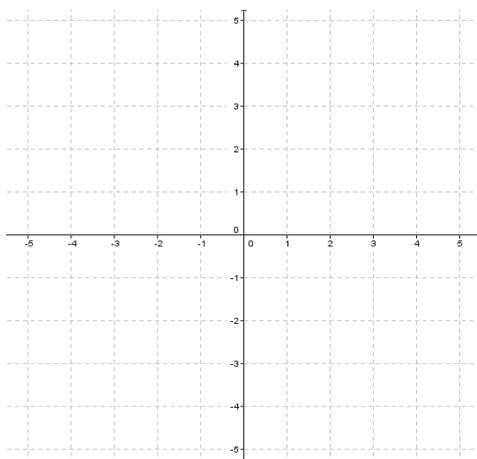
INF_ED	Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa	A2	0
MAT	Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia	A2	0
MAT	Educação Matemática Pesquisa	A2	0
MAT	Jornal Internacional de Estudos em Educação Matemática	A2	0
MAT	REDIMAT: Revista de Investigación en Didáctica de las Matemáticas	A2	0
MAT	Revista de Ensino de Ciências e Matemática	A2	0
MAT	REVEMAT: Revista Eletrônica de Educação Matemática	A2	0
MAT	Revista de Educação, Ciências e Matemática	A2	0
MAT	Zetetike	A2	0
MAT	REVEDUC	A2	0
CIE	Archivos de Ciencias de la Educación	B1	0
CIE	Gondola: Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias	B1	0
CIE	Ensino de Ciências e Tecnologias em Revista	B1	0
CIE	Revista Ciências & Ideias	B1	0
CIE	Revista de Ciências da Educação	B1	0
CIE	Unopar Científica. Ciências Humanas e Educação	B1	0
CIE	Ciência & Ensino	B1	0
CIE	Revista Brasileira de Educação em Ciência da Informação	B1	0
CIE	Revista Ciência e Tecnologia	B1	0
CIE	Tear: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia	B1	0
INF_ED	Revista Educação & Tecnologia	B1	0
INF_ED	Revista Iberoamericana de Ciencia Tecnología y Sociedad	B1	0
INF_ED	Revista Tecnologia e Sociedade	B1	0
INF_ED	Tecnologia Educacional	B1	0
INF_ED	Revista Tecnologias na Educação	B1	0
INF_ED	Informática na Educação	B1	0
MAT	Boletim Online de Educação Matemática	B1	0
MAT	Em Teia: Revista de Educação Matemática e Tecnológica Iberoamericana	B1	0
MAT	Revista Paranaense de Educação Matemática	B1	0

Fonte: Elaborado pelo autor com dados dos periódicos selecionados.

## APÊNDICE B – Exercícios para os acadêmicos

1) Represente os seguintes números complexos como vetores no plano Argand-Gauss.

$$z_1 = 2 + 3j; z_2 = 3 - 2j; z_3 = -1 - 4j; z_4 = 3j; z_5 = -3; z_6 = -2 + j; z_7 = -5j$$



Caso queira, essa atividade pode ser desenvolvida no aplicativo do GeoGebra ([https://www.geogebra.org/classic?lang=pt\\_PT](https://www.geogebra.org/classic?lang=pt_PT)).

2) Considerado os números complexos representado no plano Argand-Gauss, responda:

- Qual deles pode representar o valor de um resistor?
- Qual deles pode representar o valor da reatância de um capacitor?
- Qual deles pode representar o valor da reatância de um indutor?
- Qual deles pode representar o valor da impedância total de um resistor com um capacitor?
- Qual deles pode representar o valor da impedância total de um resistor com um indutor?

3) Associe os números complexos que são equivalente, da forma algébrica para a forma polar.

$$\begin{aligned} z &= 2 + 3j \\ z &= 3 - 2j \\ z &= -1 - 4j \\ z &= -3 \\ z &= -3j \\ z &= 3j \\ z &= -2 + j \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} z &= 3 \mid 0^\circ \\ z &= 3 \mid +90^\circ \\ z &= 2,236 \mid +153,4^\circ \\ z &= 3,605 \mid +56,31^\circ \\ z &= 3,605 \mid -33,7^\circ \\ z &= 3 \mid -90^\circ \\ z &= 4,123 \mid -104,1^\circ \end{aligned}$$

4) Preencha as lacunas com as seguintes palavras:

positiva – negativa – somam – subtraem – algébrica – polar – adiantada – atrasada – nula

- a) A reatância indutiva possui a corrente \_\_\_\_\_ de  $90^\circ$  em relação à tensão, sendo assim a diferença de fase entre eles é \_\_\_\_\_.
- b) A reatância capacitiva possui a corrente \_\_\_\_\_ de  $90^\circ$  em relação à tensão, sendo assim a diferença de fase entre eles é \_\_\_\_\_.
- c) No resistor, a corrente e a tensão estão em fase, sendo assim a diferença de fase entre eles é \_\_\_\_\_.
- d) Ao multiplicar os números complexos na forma \_\_\_\_\_, multiplicam-se os módulos e se \_\_\_\_\_ as fases (ângulos). E na divisão, dividem-se os módulos e se \_\_\_\_\_ as fases (ângulos).
- e) Na adição e na subtração de números complexos na forma \_\_\_\_\_, realizam-se as respectivas operações efetuando as partes semelhantes.

5) Considerando os números complexos abaixo, realize as operações indicadas:

$$z_1 = 5 + 2j; z_2 = 3 - 4j; z_3 = -1 - 4j; z_4 = 3j; z_5 = -3;$$

$$z_6 = 3 \angle -30^\circ; z_7 = 5 \angle -90^\circ; z_8 = 2 \angle +45^\circ.$$

**Observação:** Lembre-se que adição e subtração ficam mais fáceis de serem resolvidas pela forma algébrica; e a multiplicação e a divisão na forma polar. Cuidado na subtração de números complexos para inverter o sinal da parte real e da parte imaginária.

- |                      |                      |                                    |
|----------------------|----------------------|------------------------------------|
| a) $z_1 + z_2$       | i) $z_1 \cdot z_3$   | o) $\frac{1}{z_7} + \frac{1}{z_6}$ |
| b) $z_1 - z_3$       | j) $z_7 \cdot z_2$   |                                    |
| c) $z_4 + z_5$       | k) $\frac{z_7}{z_8}$ |                                    |
| d) $z_6 - z_8$       | l) $\frac{z_6}{z_7}$ |                                    |
| e) $z_2 - z_7$       |                      |                                    |
| f) $z_5 + z_7 + z_4$ | m) $\frac{z_4}{z_1}$ |                                    |
| g) $z_6 \cdot z_7$   | n) $\frac{1}{z_2}$   |                                    |
| h) $z_6 \cdot z_8$   |                      |                                    |

**APÊNDICE C – Questionário aos professores de Engenharia**

1. Você ministra ou ministrou disciplinas onde aparecem números complexos? Qual(is) e em que época?
2. Você sabe qual(ais) disciplina(s) da Engenharia Elétrica utilizam conceitos de números complexos?
3. Em que contextos/conteúdos se aplicam números complexos?
4. Quais conhecimentos sobre números complexos o aluno precisaria saber para cursar essa(s) disciplina(s)?
5. O que os alunos, em geral, conhecem ou sabem fazer sobre esses números?
6. Sobre os conhecimentos prévios importantes sobre números complexos, o que você propõe para sanar as dificuldades?
7. Quais conhecimentos de Física ou de outras disciplinas da Elétrica, o aluno precisaria saber para cursar a disciplina?
8. Quais desses conhecimentos os alunos, aparentemente, dominam?
9. Quando os alunos não têm esses conhecimentos, o que você propõe para sanar essa defasagem?
10. Que outros conhecimentos, de Matemática, Física ou de alguma disciplina específica da Elétrica são fundamentos básicos para saberá(s) sua(s) disciplina(s)?
11. Qual(is) conceito(s) é(são) difícil(eis) de ser(em) compreendido(s) e aplicado(s) pelos alunos?
12. Em relação às avaliações, como tem sido o aproveitamento dos alunos em atividades de avaliação que utilizam os números complexos? Acredita que se os alunos já tivessem esse conhecimento, eles teriam um aproveitamento melhor?
13. Você consideraria a possibilidade de utilizar um material virtual de apoio para verificar e suprir as defasagens ou lacunas dos alunos sobre os conceitos de números complexos?
14. Você acharia importante abordar outros conhecimentos básicos nesse material de apoio?
15. Você tem alguma sugestão, que considera relevante, sobre o conteúdo desse material virtual de apoio?
16. Assinale abaixo quais características são relevantes para a utilização de um material virtual de apoio para os alunos:

( ) Acessibilidade

- ( ) Dinamicidade
- ( ) Caráter Lúdico
- ( ) Construção Geométrica (Gráficos)
- ( ) Historicidade de Números Complexos
- ( ) Operações algébricas de Números Complexos
- ( ) Exercícios de Números Complexos
- ( ) Explicação dos componentes dos circuitos elétricos
- ( ) Exercícios de Análise de circuitos elétricos
- ( ) Situações-problema de circuitos elétricos
- ( ) Outro(s):

## APÊNDICE D – Questionário aos acadêmicos

Prezado acadêmico,

Sou doutorando do Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática da PUCRS e estou desenvolvendo um projeto de pesquisa sobre a aplicação dos números complexos na análise de circuitos elétricos de corrente alternada. Dessa forma, convido você a responder esse questionário, que é um instrumento elaborado para se obter informações que colaborem no ajuste de um material didático que auxilie na aprendizagem e compreensão de conceitos e operações com números complexos. As suas respostas são extremamente importantes para o decorrer da investigação e serão usados exclusivamente para fins de pesquisa científica. Muito obrigado, por sua participação e colaboração.

1. Em qual(is) escola(s) você cursou o Ensino Médio?

**Pública Estadual**             **Pública Federal**             **Privada (Particular)**

2. Sobre números, você conhece, já viu ou estudou números como, por exemplo,  $z_1 = 1 + 2i$ ,  $z_2 = -2i$  ou  $z_3 = 4 - 5i$ , chamados de números complexos?

**Sim, estudei na escola**             **Sim, estudei na universidade**             **Não**

**Sim, estudei em outro ambiente. Qual?** \_\_\_\_\_

➤ SE VOCÊ RESPONDEU **NÃO**, PULE AS SEGUINTE E VÁ PARA A **QUESTÃO 9**.

3. Você sabe efetuar operações com tais números?

**Sim**             **Não**

3.1. Se você lembra, efetue as operações, que seguem.

Para  $z_1 = 1 + 2i$ ,  $z_2 = -2i$  e  $z_3 = 4 - 5i$ , no que resulta:

4. Há uma representação geométrica para esses números no plano de Argand-Gauss, que é o plano cartesiano onde, no eixo horizontal, se representa a parte real e, no vertical, a parte imaginária de um número complexo. Você reconhece está representação? Vamos ver, mostre o lugar geométrico dos números  $z_1 = 1 + 2i$ ,  $z_2 = -2i$  ou  $z_3 = 4 - 5i$ .

5. Associando um número complexo,  $z = a + bi$ , a um vetor, o ponto  $(a, b)$  é a extremidade do vetor.

5.1. Represente, no plano cartesiano, essa ideia, de um vetor qualquer associado ao número  $z = a + bi$ , como  $z_4 = 2 + 3i$ .

5.2. Na representação feita em 5.1, efetue, observe e procure explicar qual transformação geométrica ocorre ao multiplicar um número complexo por  $i$ , que é a unidade imaginária.

---



---



---

6. Os números complexos podem ser representados na forma trigonométrica. Por exemplo, o número  $z = 1 + i$  pode ser escrito como  $\sqrt{2} \text{cis } 45^\circ$  ou  $\sqrt{2} e^{i45^\circ}$ . Você reconhece alguma dessas formas?

Não  Sim, as duas

Sim, a  Sim, a

6.1. Se respondeu sim, qual o significado do valor da  $\sqrt{2}$ , considerando o número  $z$  dado?

---

6.2. Se respondeu sim, da mesma forma, qual o significado do valor de  $45^\circ$  ou  $\frac{\pi}{4}$ ?

---

7. O número  $z = 1 + i$  pode ser representado também na sua forma polar:  $\sqrt{2} \text{cis } 45^\circ$ . Você reconhece o número escrito assim?

Não  Sim

7.1. Se respondeu sim, qual é o significado da  $\sqrt{2}$ ?

---

7.2. Se respondeu sim, qual é o significado do  $45^\circ$ ?

---

8. Os conceitos e as operações, abordados anteriormente, são fundamentais para fazer a análise de circuitos elétricos de corrente alternada. Assim, qual ideia, conceito ou operação com números complexos você considera mais difícil de compreender ou efetuar?

---

---

9. Precisando utilizar números complexos em algumas disciplinas da Engenharia, vai fazer isso:

( ) sem nenhuma dificuldade

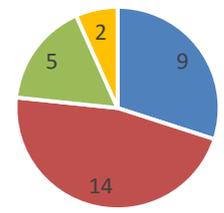
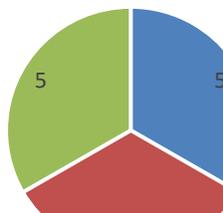
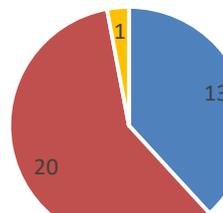
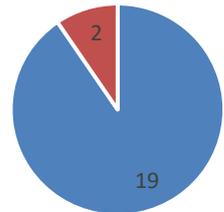
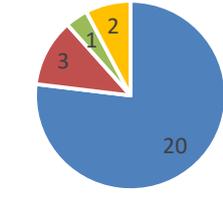
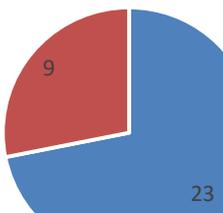
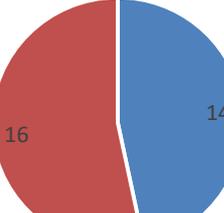
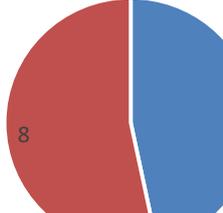
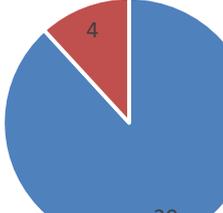
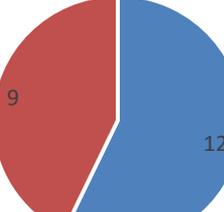
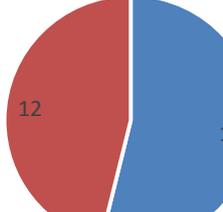
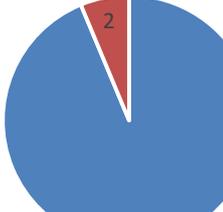
( ) com muita dificuldade, não conheço estes número

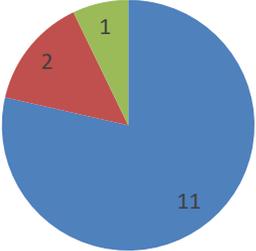
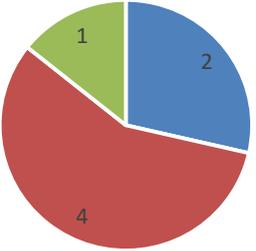
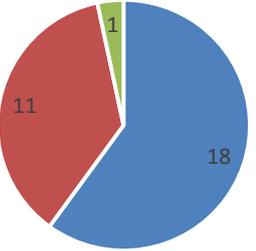
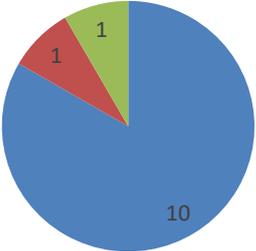
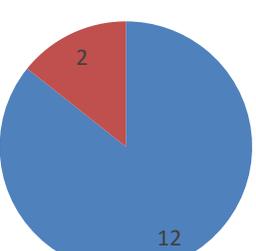
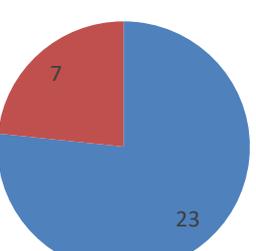
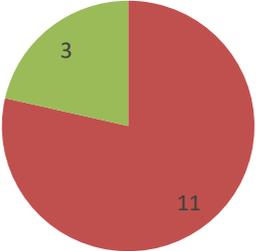
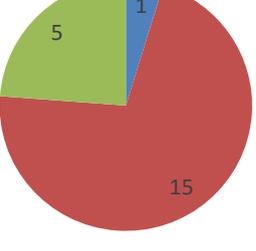
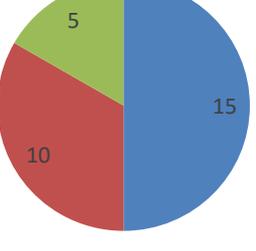
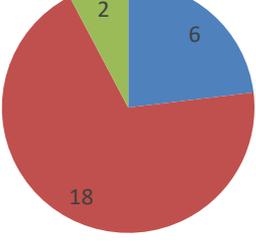
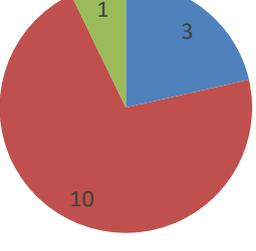
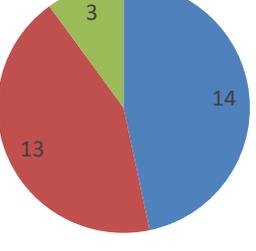
( ) com algumas dificuldades, pois \_\_\_\_\_

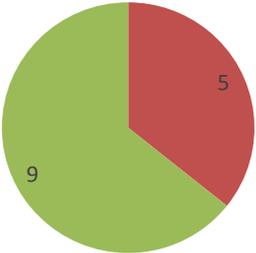
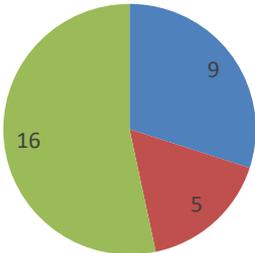
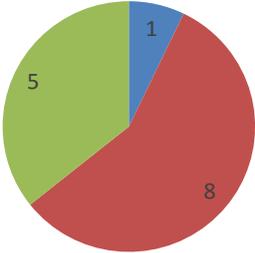
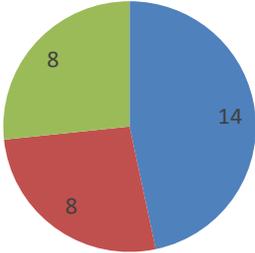
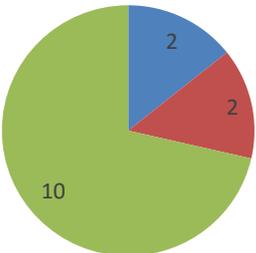
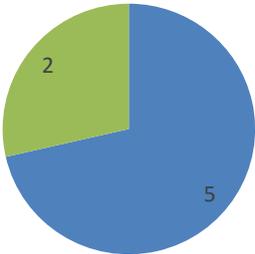
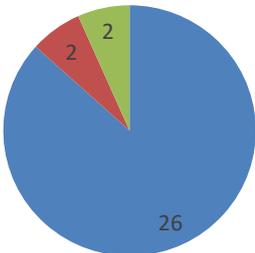
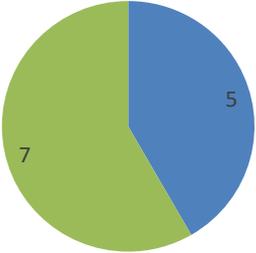
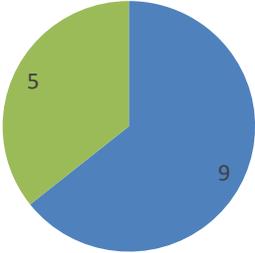
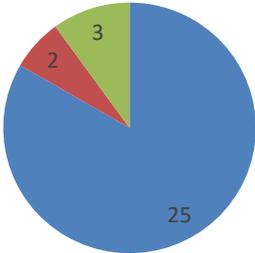
---

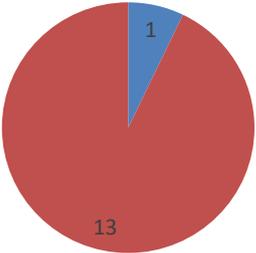
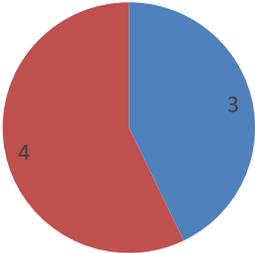
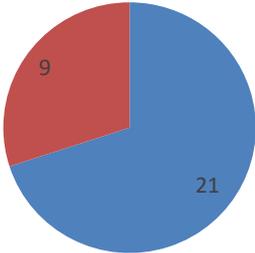
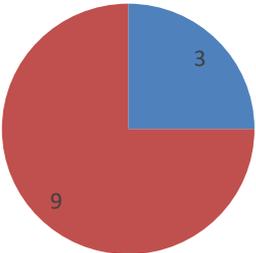
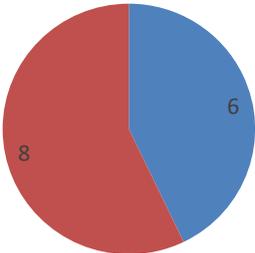
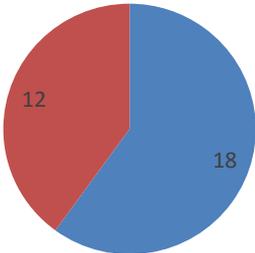
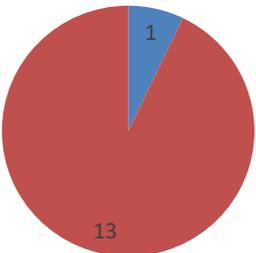
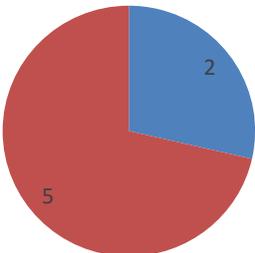
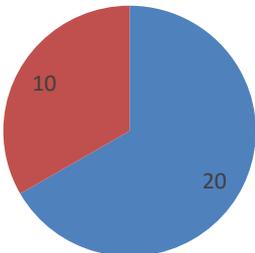
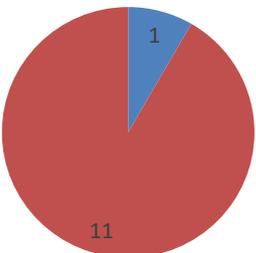
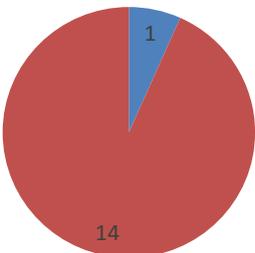
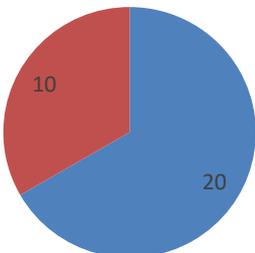
Muito obrigado pela sua colaboração!

### APÊNDICE E – Comparação entre os tipos de escola

		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Local onde estudaram sobre os números complexos	Público	 <p>■ Escola ■ Universidade ■ Desconhece o assunto ■ Outros</p>	 <p>■ Escola ■ Universidade ■ Desconhece o assunto</p>	 <p>■ Escola ■ Universidade ■ Outros</p>
	Privado	 <p>■ Escola ■ Universidade</p>	 <p>■ Escola ■ Universidade ■ Desconhece o assunto ■ Outros</p>	 <p>■ Escola ■ Universidade</p>
	Público	 <p>■ Sim ■ Não</p>	 <p>■ Sim ■ Não</p>	 <p>■ Sim ■ Não</p>
	Privado	 <p>■ Sim ■ Não</p>	 <p>■ Sim ■ Não</p>	 <p>■ Sim ■ Não</p>

		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	
Operação da adição e da subtração	Público	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>	
	Privado	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>	 <p>■ Correto ■ Errado</p>	 <p>■ Correto ■ Errado</p>	
	Operação da multiplicação	Público	 <p>■ Errado ■ Não fez</p>	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>
		Privado	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>

		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Operação da divisão	Público	 <p>■ Errado ■ Não fez</p>	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>
	Privado	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>
Representação no plano de Argand-Gauss	Público	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>	 <p>■ Correto ■ Não fez</p>	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>
	Privado	 <p>■ Correto ■ Não fez</p>	 <p>■ Correto ■ Não fez</p>	 <p>■ Correto ■ Errado ■ Não fez</p>

		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Reconhecimento do número na forma trigonométrica	Público	 <p>■ Sim ■ Não</p>	 <p>■ Sim ■ Não</p>	 <p>■ Sim ■ Não</p>
	Privado	 <p>■ Sim ■ Não</p>	 <p>■ Sim ■ Não</p>	 <p>■ Sim ■ Não</p>
Reconhecimento do número na forma polar	Público	 <p>■ Sim ■ Não</p>	 <p>■ Sim ■ Não</p>	 <p>■ Sim ■ Não</p>
	Privado	 <p>■ Sim ■ Não</p>	 <p>■ Sim ■ Não</p>	 <p>■ Sim ■ Não</p>