

COMPARAÇÃO E ANÁLISE DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS COM CÉLULAS DE SILÍCIO CRISTALINO

Guilherme Pereira Araújo – gui_paraujo@hotmail.com
Luiza Ferreira da Costa Ramanauskas – ramanauskas.luiza@gmail.com
Izete Zanescio – izete@puccrs.br
Adriano Moehlecke – moehlecke@puccrs.br
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Escola de Ciências
Núcleo de Tecnologia em Energia Solar (NT Solar)

Resumo. A produção de energia elétrica a partir da energia solar está crescendo de forma exponencial no Brasil. Há 1,0 GW em sistemas de geração distribuída e centrais fotovoltaicas. Além disso, aproximadamente 90 % do mercado mundial corresponde à módulos com células solares de silício mono e multicristalino. O objetivo deste artigo é comparar e analisar as características elétricas dos módulos fotovoltaicos de silício cristalino etiquetados pelo INMETRO e identificar os fabricantes destes dispositivos no Brasil. Avaliou-se e comparou-se a potência, a corrente elétrica de curto-circuito (I_{sc}), a tensão de circuito aberto (V_{oc}) e a eficiência de módulos com células solares de silício mono e multicristalino. Também foram identificados os fabricantes dos dispositivos no Brasil em cada estado brasileiro. Constatou-se que 74 % dos módulos fotovoltaicos etiquetados pelo INMETRO foram produzidos com células solares de Si multicristalino (Si-mc) e 26 % com células de Si monocristalino. A potência média dos módulos com células de Si-mc é aproximadamente 2 % maior, porém a eficiência média é 0,4 % (absoluto) menor. Estes módulos também apresentaram a V_{oc} média um pouco menor, por outro lado, a I_{sc} média foi maior. A maioria (77 %) dos módulos com células de Si monocristalino apresentaram potência no intervalo de 200 W a 350 W enquanto que a potência de 80 % dos dispositivos com Si-mc foi de 225 W a 325 W. Para os dois tipos de módulos, a eficiência de mais que 80 % dos dispositivos está entre 14 % e 18 % e observou-se que quanto maior a potência maior a eficiência. No Brasil há nove fabricantes de módulos fotovoltaicos e 55 % das fábricas encontram-se no estado de São Paulo.

Palavras-chave: Módulos Fotovoltaicos, Parâmetros Elétricos, Módulos de Si Cristalino

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A irradiação solar no Brasil é uma das mais altas do mundo. Por exemplo, as regiões brasileiras com menores índices de irradiação solar são comparáveis às regiões de maiores índices na Alemanha (Filho *et al.*, 2015). Desde 2017, a produção de energia elétrica a partir da conversão da energia solar está crescendo de forma exponencial. Até o final de 2017, haviam sido instalados 164 MW em sistemas de geração distribuída e 935 MW em centrais fotovoltaicas, totalizando 1,1 GW. Este valor, representa menos de 0,02 % da potência elétrica no Brasil. Um marco para o crescimento da tecnologia fotovoltaica no Brasil foi a resolução normativa (RN) ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) 482/2012, atualizada na RN 687/2015, que trata da mini e micro geração distribuída (ANEEL, 2017).

A potência mundial instalada em sistemas e centrais fotovoltaicos atingiu o valor de 303 GW em 2016 (IEA, 2017) e aproximadamente 90 % do mercado é relativo à módulos com células solares fabricadas em lâminas de silício cristalino. A maioria das células solares produzidas pela indústria é fabricada em lâminas de silício multicristalino ou monocristalino crescido pelo método Czochralski (Si-Cz), tipo p, com campo retrodifusor formado por pasta de alumínio e difusão em forno de esteira. Outro tipo de substrato é o Si-Cz, tipo n. Três estruturas em substratos de silício tipo n estão sendo desenvolvidas industrialmente e são as células solares comercializadas de maior eficiência. Em substratos de silício cristalino crescido pela técnica da fusão zonal flutuante (Si-FZ), tipo n, células solares com contatos interdigitados na face posterior, denominadas de IBC (*interdigitated back contact*), estão sendo fabricadas pela empresa Sunpower Corporation. A eficiência alcançada foi de 24,2 % (Green *et al.*, 2016). Em substratos de Si-Cz tipo n, a máxima eficiência de 23,7 % foi obtida pela equipe da Sanyo Electric Corporation com dispositivos HIT (*heterojunction with intrinsic thin layer*) (Green *et al.*, 2016), (Song *et al.*, 2012). Em dispositivos de maior área, a empresa Yingli Green Energy desenvolveu células solares em lâminas de Si-Cz tipo n e atingiu a eficiência média em linha de produção de 19 % (Song *et al.*, 2012).

Para serem comercializados no Brasil, os módulos devem ser etiquetados pelo INMETRO (Instituto Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial), conforme portaria n° 004 de 2011. Em 2002, o INMETRO implantou o grupo de trabalho GT-FOT (grupo de trabalho de sistemas fotovoltaicos) para estabelecer as normas para etiquetagem dos componentes de sistemas fotovoltaicos, como parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) e a partir de um acordo entre o INMETRO e a ABEER (Associação Brasileira de Empresas de Energias Renováveis e Eficiência Energética) (Galdino *et al.*, 2005). O grupo de trabalho GT-FOT é constituído por representantes de órgãos governamentais, universidades, empresas e associações. Inicialmente a etiquetagem foi focada em módulos

fotovoltaicos de células solares de silício cristalino, inversores, controladores de carga e baterias para sistemas fotovoltaicos autônomos. Em relação aos módulos fotovoltaicos, um dos mais importantes testes implementados é a medição da curva da corrente elétrica em função da tensão aplicada (curva I-V) em condições padrão de medição, conforme a norma IEC 61215.

O objetivo geral deste trabalho é comparar e analisar as características elétricas dos módulos fotovoltaicos de silício cristalino etiquetados pelo INMETRO. Especificamente será avaliada a potência, a corrente elétrica de curto-circuito, a tensão de circuito aberto e a eficiência de módulos fotovoltaicos com células solares de silício mono e multicristalino bem como a relação entre a eficiência e a potência dos dispositivos. Além disso, serão identificados os fabricantes de módulos fotovoltaicos no Brasil.

2. METODOLOGIA

Um módulo fotovoltaico é caracterizado eletricamente por meio da curva da corrente elétrica em função da tensão aplicada (curva I-V), sob condições padrão de medição: irradiância de 1000 W/m^2 , espectro solar AM1,5G e temperatura do módulo fotovoltaico de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Para realizar a medição, geralmente utiliza-se um simulador solar tipo “flash” e um sistema de medição automatizado. Na Fig. 1 mostra-se a curva I-V típica de um módulo fotovoltaico.

A partir da curva I-V são determinados os parâmetros elétricos que caracterizam um módulo fotovoltaico: a tensão de circuito aberto (V_{OC}), a corrente de curto-circuito (I_{SC}), o fator de forma (FF), a eficiência (η), a potência máxima (P_{MP}) e a corrente elétrica (I_{MP}) e a tensão elétrica (V_{MP}) no ponto de máxima potência. Alguns destes parâmetros elétricos estão indicados na Fig. 1.

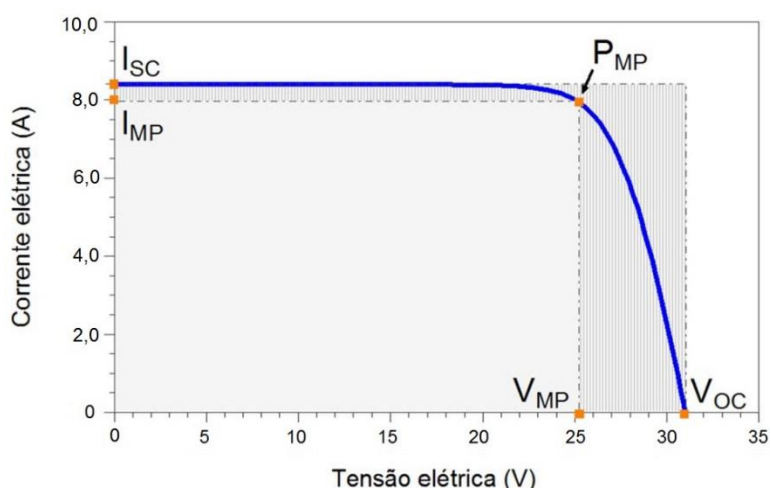


Figura 1 - Curva da corrente elétrica em função da tensão aplicada a um módulo fotovoltaico, medida em condições padrão.

A partir dos resultados divulgados pelo INMETRO até abril de 2017, os parâmetros elétricos dos módulos foram separados para dispositivos produzidos com células solares de silício mono e multicristalino. Foram obtidas características elétricas de 767 módulos fotovoltaicos, sendo 570 com células de silício multicristalino e 197 com células de silício monocristalino. Especificamente, avaliou-se e comparou-se a P_{MP} , I_{SC} , V_{OC} e eficiência. Também se discutiu o comportamento da eficiência dos dispositivos em função da potência. Além disso, identificaram-se as empresas fabricantes de módulos fotovoltaicos no Brasil a partir de células solares e demais insumos importados e avaliaram-se os parâmetros elétricos destes dispositivos.

Consideraram-se todos os dispositivos que foram etiquetados no INMETRO recentemente, com exceção de alguns módulos que apresentaram características elétricas incoerentes, especificamente eficiência menor que 7 % ou eficiência relativamente maior que a medida em outros centros internacionais de caracterização.

3. RESULTADOS E ANÁLISE

3.1 Módulos fotovoltaicos com células solares de silício monocristalino

Na Fig. 2 mostra-se o número de módulos fotovoltaicos (FV) para cada intervalo da potência máxima, da corrente de curto-circuito, da tensão de circuito aberto e da eficiência dos dispositivos com células solares de silício monocristalino etiquetados pelo INMETRO. Da Fig. 2(a) observa-se, que para estes módulos fotovoltaicos, as potências variaram de 10 W a 432 W e 77 % dos dispositivos possuem potência no intervalo de 200 W a 350 W. Como se pode ver na Fig. 2(b), a I_{SC} varia de 0,6 A a 11,8 A e 75 % dos módulos apresentam corrente de curto-circuito entre 8 A e 10

A. A menor corrente elétrica de 0,6 A corresponde à módulos de baixa potência (10 W), produzidos com células solares de pequena área. Neste caso, uma célula solar de 156 mm x 156 mm, padrão da indústria, foi dividida em 9 partes. A partir da Fig. 2(c) nota-se que a maioria (82 %) dos módulos fotovoltaicos possuem tensão de circuito aberto entre 35 V e 50 V e este parâmetro varia entre 21 V e 85,6 V. A eficiência é bastante variável, desde 9,5 % a 20,1 % e 84 % dos módulos fotovoltaicos apresentam eficiência entre 14 % e 18 %, como indica a Fig. 2(d). A eficiência média dos dispositivos com células solares de silício monocristalino etiquetados pelo INMETRO é de 15,7 %.

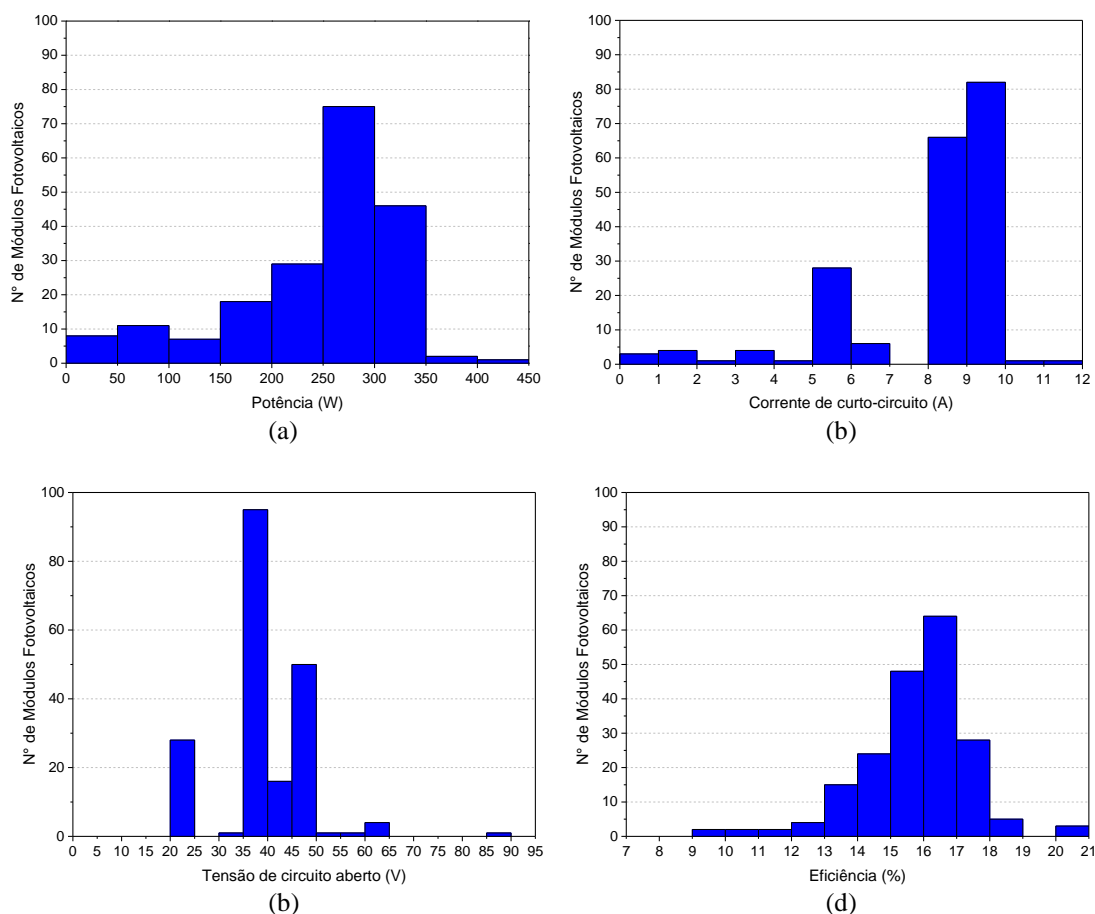


Figura 2 - Número de módulos fotovoltaicos com células solares de silício monocristalino em função da (a) potência máxima, (b) corrente de curto-circuito, (c) tensão de circuito aberto e (d) eficiência.

Na Fig. 2 (d) observa-se que a maior eficiência é da ordem de 20 %. Na Tab. 1 apresentam-se os parâmetros elétricos dos três dispositivos com esta eficiência. Estes módulos fotovoltaicos são da fabricante SunPower e as células solares são IBC, isto é, todos os contatos elétricos estão localizados na face posterior. Esta tecnologia resulta na alta eficiência.

Tabela 1 - Fabricante e características elétricas dos três módulos fotovoltaicos produzidos com células solares de silício monocristalino e com maior eficiência.

Marca	Módulo	V_{OC} (V)	I_{SC} (A)	P_{MP} (W)	η (%)
SunPower	SPR-E20-435-COM	85,60	6,43	432	20,0
SunPower	SPR-E20-327-COM	64,90	6,46	327	20,1
SunPower	SPR-E20-327	64,90	6,46	327	20,1

3.2 Módulos fotovoltaicos com células solares de silício multicristalino

A Fig. 3 apresenta os quatro parâmetros elétricos avaliados neste trabalho relativos aos módulos fotovoltaicos produzidos com células solares de silício multicristalino. Verifica-se da Fig. 3(a) que 80 % dos módulos possuem potência entre 225 W e 325 W e que este parâmetro varia de 5 W a 365 W. Novamente, destaca-se que os módulos de

menor potência são os dispositivos com menor área, produzidos com células solares de menor área. Consequentemente, a I_{SC} de alguns dispositivos também é baixa, como mostra a Fig. 3(b). Este parâmetro varia desde 0,31 A até 9,93 A, com 91 % dos módulos com corrente elétrica de curto-circuito entre 8 A e 10 A. Da Fig. 3(c) nota-se que a tensão de circuito aberto varia entre 3,75 V e 94,50 V, sendo que apenas um módulo apresentou V_{OC} de 94,50 V. Quase todos (99 %) os dispositivos apresentaram tensão de circuito aberto entre 20 V e 50 V. Em relação a eficiência, da Fig 3(d) observa-se que 90 % dos módulos possuem eficiência entre 14 % e 18 % e este parâmetro variou de 7 % a 19 %. Na Tab. 2 apresentam-se os parâmetros elétricos e os fabricantes dos dois módulos com maior eficiência.

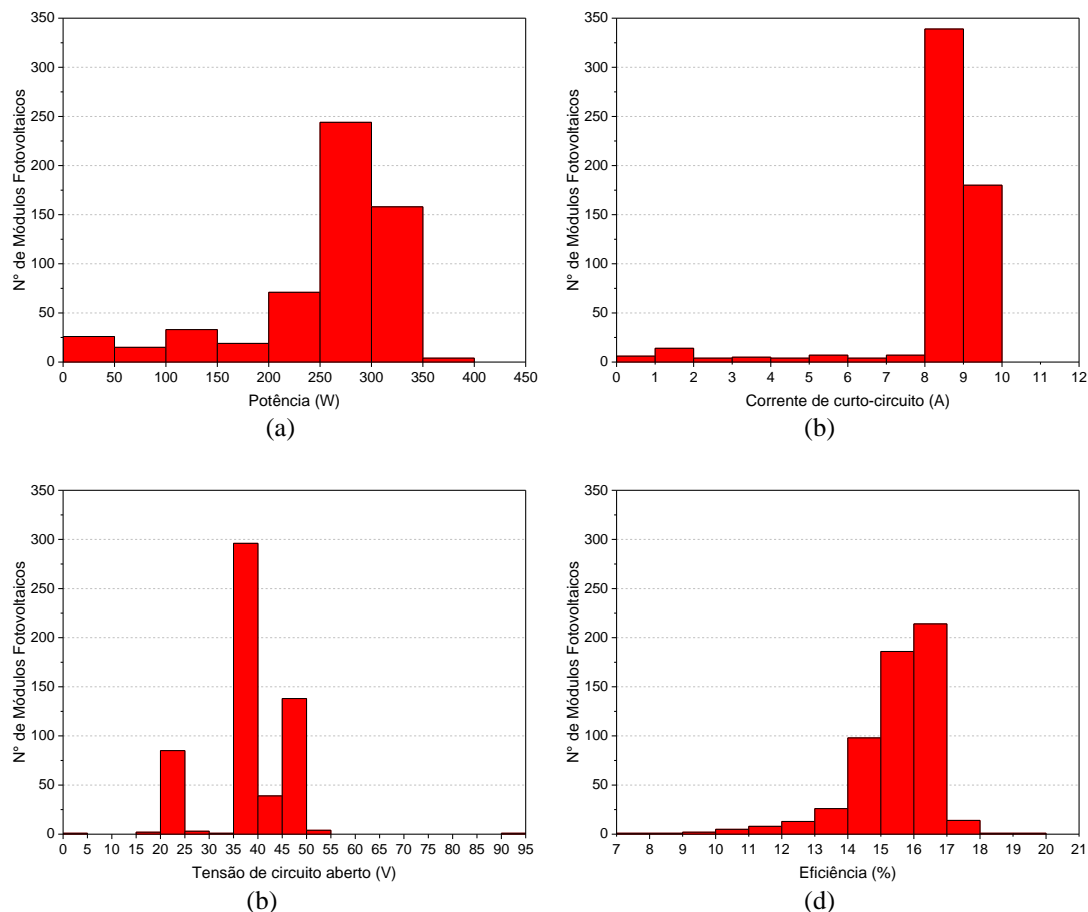


Figura 3 - Número de módulos fotovoltaicos com células solares de silício multicristalino em função da (a) potência máxima, (b) corrente de curto-circuito, (c) tensão de circuito aberto e (d) eficiência.

Tabela 2 - Fabricante e características elétricas dos dois módulos fotovoltaicos produzidos com células solares de silício multicristalino e com maior eficiência.

Marca	Módulo	V_{OC} (V)	I_{SC} (A)	P_{MP} (W)	η (%)
Era Solar	ESPMC 310	37,0	8,92	310	19,0
Trina Solar	TSM 350DD14A	46,9	9,60	350	18,0

4. COMPARAÇÃO DE MÓDULOS COM CÉLULAS SOLARES DE SILÍCIO MONO E MULTICRISTALINO

Na Fig. 4 mostra-se o comportamento da eficiência em função da potência de módulos fotovoltaicos produzidos com células solares de silício cristalino etiquetados pelo INMETRO. Para os dois tipos de módulos nota-se que a eficiência cresce em função da potência. Este resultado está relacionado com a menor área do módulo sem células solares para os dispositivos de maior eficiência. Especificamente, para os módulos de maior potência, que em geral possuem maior área ativa, a razão entre “área de célula e “área total” é maior, pois a área na borda do módulo é relativamente menor.

Comparando a Fig. 4(a) com a Fig. 4(b), nota-se que o comportamento da eficiência em função da potência é similar para os dois tipos de módulos e que a eficiência é maior para os dispositivos com células solares de silício monocristalino.

A comparação dos parâmetros elétricos dos módulos fotovoltaicos com diferentes tecnologias de células solares é apresentada na Tab. 3. Constata-se que o número de dispositivos com células solares de Si-mc etiquetados pelo INMETRO é quase três vezes maior que o número de módulos com células solares de silício monocristalino e que a potência média é aproximadamente 2 % maior. Também se confirma que a eficiência média dos módulos com células de Si-mc é da ordem de 0,4 % (absoluto) mais baixa. Estes dispositivos também apresentam a V_{OC} média um pouco menor. Por outro lado, os módulos de Si-mc possuem maior I_{SC} média, de aproximadamente 0,4 A.

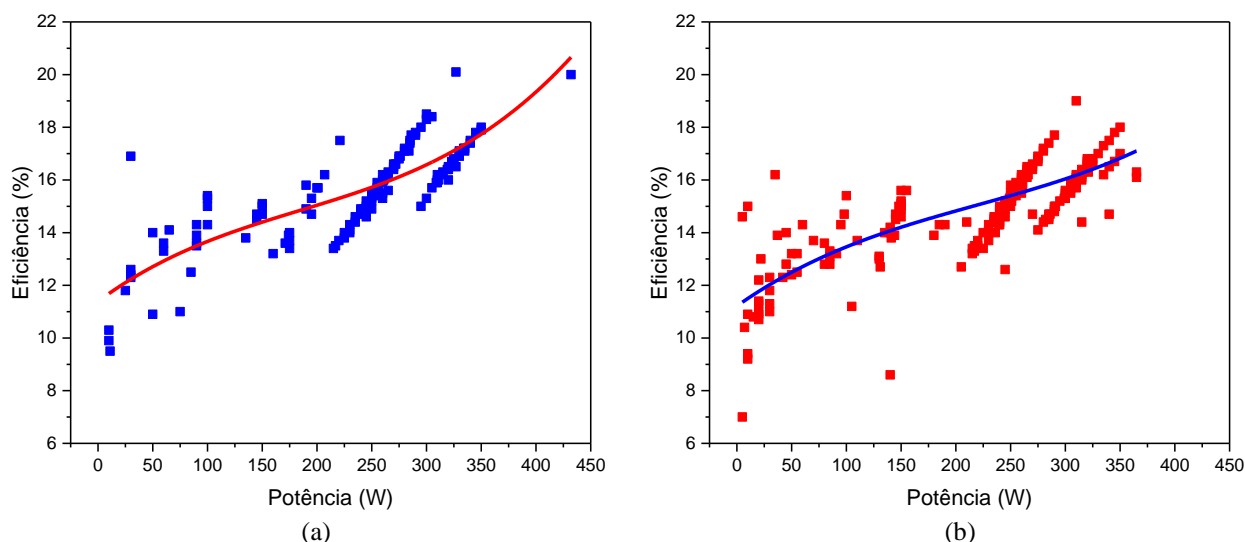


Figura 4 - Eficiência em função da potência para módulos fotovoltaicos produzidos com células solares de silício (a) monocristalino e (b) multicristalino.

A maioria dos módulos com células solares de Si-Cz apresentaram a potência em um maior intervalo, de 200 W a 350 W enquanto que para a maioria dos dispositivos com células de Si-mc a potência foi de 225 W a 325 W. Para as duas tecnologias de células solares, a eficiência da maioria dos módulos FV está entre 14 % e 18 %. O mesmo resultado foi encontrado para a I_{SC} e a maior parte dos dispositivos possuem corrente elétrica de curto-circuito no intervalo de 8 A a 10 A. Grande parte dos módulos com células de Si-Cz apresentaram V_{OC} entre 35 V e 50 V. Este intervalo é um pouco menor que o encontrado para dispositivos com células solares de Si-mc, que foi de 20 V a 50 V. Também se verificou que a temperatura nominal de operação (T_{NOCT}) dos módulos está entre 40 °C e 50 °C. No entanto, há valores da T_{NOCT} que não são adequados ou não correspondem aos valores divulgados internacionalmente na ficha de dados do modelo do módulo fotovoltaico.

Tabela 3 - Comparação entre os parâmetros elétricos de módulos fotovoltaicos com células solares de silício mono e multicristalino.

Tipo de célula solar	Silício Multicristalino			Silício Monocristalino		
	%	Intervalo	Média	%	Intervalo	Média
Nº de módulos		570			197	
Parâmetro elétrico	%	Intervalo	Média	%	Intervalo	Média
Potência	80	225 W a 325 W	247,3 W	77	200 W a 350 W	241,8 W
Voc	99	20 V a 50 V	37,7 V	82	35 V a 50 V	39,1 V
Isc	91	8 A a 10 A	8,39 A	75	8 A a 10 A	8,01 A
Eficiência	90	14 % a 18%	15,3 %	84	14 % a 18 %	15,7 %

Os módulos de maior potência (432 W) e eficiência (20 %) são constituídos de células solares de silício monocristalino. Este resultado está associado à tecnologia diferenciada para o processo de fabricação das células solares. Estes módulos fotovoltaicos são mais indicados para situações em que há limitação de área disponível para o arranjo fotovoltaico.

Na Fig. 4 observam-se dois grupos de módulos fotovoltaicos representados por pontos sobre retas com uma determinada declividade. Este fato é observado tanto para módulos com células solares de silício monocristalino quanto para os módulos com dispositivos de silício multicristalino. A reta que corresponde aos módulos fotovoltaicos com menor potência representa os dispositivos que foram fabricados com menor número de células solares, que geralmente é de 60. A outra reta representa os módulos com maior número de células solares, que atualmente é da ordem de 72. A declividade das retas é positiva pois os módulos de maior potência correspondentes a cada reta são fabricados com as células solares de maior eficiência, produzidas com a mesma tecnologia de cada fabricante.

5. COMPARAÇÃO DE MÓDULOS FABRICADOS NO BRASIL

A Tab. 4 e a Fig. 6 resumem as empresas fabricantes de módulos fotovoltaicos no Brasil bem como a localidade e estado em que estão instaladas. Há nove empresas brasileiras, sendo cinco no estado de São Paulo, duas em Minas Gerais, uma no Paraná e uma em Alagoas (SEBRAE, 2016).

Tabela 4 - Empresas fabricantes de módulos fotovoltaicos no Brasil e suas respectivas localizações.

Fabricante	Cidade - Estado
Balfar	Paranavaí – Paraná
BYD	Campinas – São Paulo
Canadian Solar	Sorocaba – São Paulo
DYA Energia Solar	Campinas – São Paulo
Globo Brasil	Valinhos – São Paulo
Minasol	Araguari – Minas Gerais
Multisolar	Osasco – São Paulo
Pure Energy	Marechal Deodoro – Alagoas
Sunew	Belo Horizonte – Minas Gerais

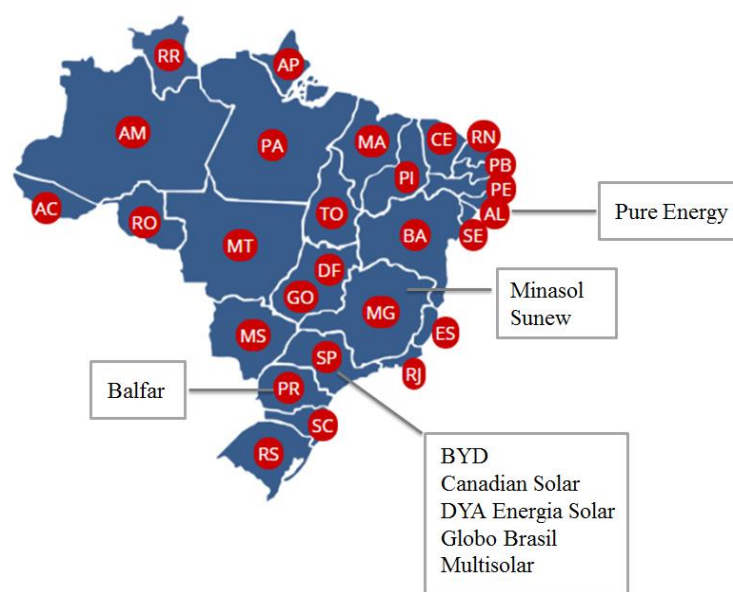


Figura 6 - Mapeamento dos fabricantes brasileiros de módulos fotovoltaicos.

Dos nove fabricantes, cinco possuem módulos fotovoltaicos etiquetados pelo INMETRO. Na Tab. 5 apresentam-se a potência e os demais parâmetros elétricos dos dispositivos produzidos no Brasil por estas cinco empresas. Verifica-se que a potência varia de 150 W a 340 W e que a eficiência média dos módulos, de 16,3 %, é próxima da média de todos

os dispositivos etiquetados no Brasil pelo INMETRO. A T_{NOCT} varia de 44 °C a 45 °C. O módulo BYD 340P6D-36 apresentou a maior eficiência, de 17,6 %, e também a maior potência, de 340 W.

Tabela 5 - Fabricante e parâmetros elétricos dos módulos fotovoltaicos produzidos no Brasil.

Marca	Módulo	Tipo	V_{OC} (V)	I_{SC} (A)	P_{MP} (W)	η (%)
BYD	BYD 310P6D-36	multicristalino	45,79	8,99	310	16,10
	BYD 315P6D-36		46,09	9,07	315	16,30
	BYD 320P6D-36		46,39	9,15	320	16,60
	BYD 325P6D-36		46,69	9,23	325	16,90
	BYD 330P6D-36		46,98	9,31	330	17,10
	BYD 335P6D-36		47,28	9,39	335	17,40
	BYD 340P6D-36		47,58	9,47	340	17,60
Canadian Solar	CS6U-320P	monocristalino	45,30	9,26	320	16,46
	CS6U-325P		45,50	9,34	325	16,72
	CS6U-330P		45,60	9,45	330	16,97
	CS6U-335P		45,80	9,54	335	17,23
Globo Brasil	GBR250P	multicristalino	37,70	8,65	250	15,40
	GBR255P		38,00	8,92	255	15,70
	GBR260P		37,65	9,11	260	16,00
	GBR265P		37,90	9,15	265	16,30
	GBR300P		45,21	8,91	300	15,50
	GBR305P		45,36	9,73	305	15,70
	GBR310P		45,44	9,79	310	16,00
	GBR315P		45,61	9,85	315	16,20
Minasol	MS 150	monocristalino	23,60	8,30	150	14,70
	MS 260	multicristalino	35,03	9,11	261	16,10
Multisolar	MSE-250P	multicristalino	36,95	9,07	250	15,40
	MSE-260P		38,19	8,86	260	16,10
	MSE-320P		44,99	9,16	320	16,70

6. CONCLUSÃO

Foram comparados os parâmetros elétricos dos módulos fotovoltaicos etiquetados pelo INMETRO e identificados os fabricantes no Brasil. Constatou-se que 74 % dos módulos fotovoltaicos etiquetados pelo INMETRO foram produzidos com células solares de Si multicristalino e 26 % foram fabricados com células de Si monocristalino.

Verificou-se que a potência média dos módulos fotovoltaicos com células de Si-mc foi aproximadamente 2 % maior, porém a eficiência média foi menor, da ordem de 0,4 % (absoluto). Estes dispositivos também apresentaram a V_{OC} média um pouco menor. Por outro lado, os módulos de Si-mc possuem maior I_{SC} média, de aproximadamente 0,4 A.

Setenta e sete por cento dos módulos com células solares de Si-Cz apresentaram potência no intervalo de 200 W a 350 W enquanto a potência foi de 225 W a 325 W para 80 % dos dispositivos com Si-mc. Para as duas tecnologias de células solares, a eficiência da maioria dos módulos FV foi de 14 % a 18 %. Da mesma forma, para a maior parte dos módulos fotovoltaicos, a corrente elétrica de curto-circuito foi de 8 A a 10 A. Aproximadamente 82 % dos módulos com células de Si-Cz apresentaram V_{OC} entre 35 V e 50 V e, para 99 % dos dispositivos com células solares de Si-mc, a V_{OC} foi de 20 V a 50 V. Para os dois tipos de módulos observou-se uma relação entre a eficiência e a potência e constatou-se que quanto maior a potência maior a eficiência.

Conforme esperado, os módulos com a maior potência, de 432 W, e maior eficiência, de 20 %, são constituídos de células solares IBC processadas em lâminas de silício monocristalino.

No Brasil há nove fabricantes de módulos fotovoltaicos e 55 % das fábricas encontram-se no estado de São Paulo. Os parâmetros elétricos dos módulos fabricados no Brasil são similares aos importados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à ITAIPU Binacional pela subvenção do projeto de P&D intitulado "Implantação de unidades de geração distribuída de energia elétrica a partir de módulos fotovoltaicos em propriedade rurais", Convênio nº 4500040746, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS).

REFERÊNCIAS

- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 31 outubro 2017.
- Filho, W. P. B., Ferreira, W. R., Azevedo, A. C. S., Costa, A. L., Pinheiro, R. B., 2015. Expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil: impactos ambientais e políticas públicas. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, Brasil, n. esp, pp. 628-642.
- Galdino, M. A., Lima, J. H., Novgorodcev, A., Zilles, R., Zanesco, I., Moehlecke, A., Krenzinger, A., Orlando, A. F., 2005. The Brazilian programme for labelling photovoltaic systems, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, vol. 1, pp. 3199-3202, Barcelona.
- Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., Dunlop, E.D. Solar cell efficiency tables (Versão 47). Progress in Photovoltaics: Research and Applications, v. 24, pp. 3-11, 2016. [DOI: 10.1002/pip.2728].
- IEA International Energy Agency. Snapshot of global photovoltaic markets. Report IEA PVPS T1-31:2017. Disponível em: <http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/statistics/IEA-PVPS_-_A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2016__1_.pdf>. Acesso em: 16 Outubro 2017.
- IEC 61215; Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval; Edition 2.0; International Electrotechnical Commission; 2005.
- IEC 61730-2; Photovoltaic (PV) module safety qualification- Part 2: Requirements for testing, International Electrotechnical Commission; 2004.
- SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Cadeia de Valor da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil, 2016. Disponível em: <<http://energygreenbrasil.com.br/wp-content/uploads/2017/06/apresentacao-estudo.pdf>>. Acesso em: 18 Outubro 2017.
- Song, D.; Xiong, J.; Hu, Z.; Li, G.; Wang, H.; An, H.; Yu, B.; Grenko, B.; Borden, K.; Sauer, K.; Roessler, T.; Cui, J.; Wang, H.; Bultman, J.; Vlooswijk, A. H. G.; Venema, P. R. Progress in n-type Si solar cell and module technology for high efficiency and low cost. In: 38th IEEE Photovoltaic Specialists Conference: 2012, Austin. Proceedings... New York: IEEE, 2012, pp. 3004-3008.

COMPARISON AND ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC MODULES WITH CRYSTALLINE SILICON CELLS

Abstract. *The production of electric energy from solar energy is growing exponentially in Brazil. There are 1.1 GW in distributed generation systems and photovoltaic (PV) plants. In addition, approximately 90 % of the PV modules are manufactured with mono and multicrystalline silicon solar cells. The objective of this article is to compare and analyze the electrical characteristics of the photovoltaic modules with crystalline silicon solar cells labelled by INMETRO and to identify the manufacturers of these devices in Brazil. The output power, short-circuit electric current (I_{sc}), open-circuit voltage (V_{oc}) and the efficiency of modules with mono and multicrystalline silicon solar cells were evaluated and compared. The manufacturers of the PV modules in Brazil in each Brazilian state were also identified. It was found that 74 % of photovoltaic modules were produced with multicrystalline Si solar cells (Si-mc) and 26% with monocrystalline Si cells. The average output power of Si-mc photovoltaic modules was around 2 % higher than that of monocrystalline devices, but the average efficiency was 0.4 % (absolute) lower. These modules also presented an average V_{oc} lower, but the average I_{sc} was higher. For 77 % of the PV modules with monocrystalline Si cells, the output power was in the range of 200 W to 350 W while the output power of 80 % of Si-mc devices was from 225 W to 325 W. For both types of modules, the efficiency of more than 80 % of the devices was between 14 % and 18 % and we observed that the higher the output power the greater the efficiency. In Brazil, nine manufacturers produced photovoltaic modules and 55 % of the manufacturers are installed in the state of São Paulo.*

Key words: *Photovoltaic Modules, Electrical Parameters, Crystalline Si Modules*