



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

ANÁLISE GEOFÍSICA E GEOQUÍMICA NA AVALIAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

*Júlio César G. Pires*¹; Daniela G. Sotelo^{1,2}; Gabriela B. Soares^{1,2}; Giovanna R. Garcez^{1,1}; Tales F. Paula;¹
Heldiane S. Santos^{1,2}; Vanessa Osório^{1,2}; Adolpho H. Augustin¹; Luiz Frederico Rodrigues¹; Clarissa L. Melo¹; Roberto
Heemann¹; Cássio S. Moura¹*

Resumo – O Estado do Rio Grande do Sul (RS), cuja economia está baseada na agricultura e na pecuária, tem enfrentado estiagens prolongadas. Propõe-se o uso de métodos geofísicos e análise química para caracterizar reservatórios subterrâneos. Técnicas de eletrorresistividade e sísmica de refração permitem identificar materiais geológicos encontrados em subsuperfície. Levantamentos geofísicos e coleta de água foram executados no município de Santa Cruz do Sul/RS. O método da eletrorresistividade foi executado em uma linha de investigação de 80 m, com espaçamento mínimo dos eletrodos de 5 m, aplicando-se o arranjo dipolo-dipolo. A sísmica de refração multicanal foi realizada ao longo de um arranjo de 12 geofones sobre uma linha reta de 60 m, com pulso sísmico gerado por uma marreta de 8 kg. Amostras de água foram coletadas do poço artesiano de 180 m de profundidade. Através dos métodos geofísicos foram identificadas camadas de solo argiloso e arenito. Acredita-se que a camada de arenito tenha potencial para armazenar água. Os parâmetros físico-químicos e concentração de ânions analisados estão de acordo com legislação vigente, expressando boa qualidade da água. Espera-se comparar informações geofísicas aos dados de outros poços, para realizar uma calibração e incluir no estudo regiões onde ainda não há poços perfurados.

Palavras-Chave – Águas subterrâneas, métodos geofísicos, análise química.

GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL ANALYSIS FOR UNDERGROUND WATER EVALUATION

Abstract – State of Rio Grande do Sul (RS), whose economy is based on agriculture and livestock, has faced prolonged droughts. It is proposed the use of geophysical methods and chemical analysis to characterize underground reservoirs. DC resistivity and refraction seismic techniques allow the identification of geological materials found in subsurface. Geophysical surveys and water collection were performed in Santa Cruz do Sul city. The DC resistivity method was performed in a line with 80 m long, with a unit electrodes spacing of 5 m, applying the dipole-dipole array. Multichannel refraction seismic was performed along an array of 12 geophones, along a straight line of 60 m, with a seismic pulse generated by an 8 kg hammer. Samples of water were collected from the artesian well of 180 m depth. Through the geophysical methods, layers of clay soil and sandstone were identified. It is believed that the sandstone layer has the potential to store water. Physical-chemical parameters and concentration of anions analyzed are according to current legislation, expressing good water quality. It is expected to compare geophysical information to data from other wells to perform a calibration and to include in the study regions where there are no wells drilled so far.

Keywords – ground water, geophysical methods, chemical analysis.

¹Instituto do Petróleo e dos Recursos Naturais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 90619-900.

²Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PUCRS, Porto Alegre, Brasil, 90619-900

*gallpires@hotmail.com



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

INTRODUÇÃO

As alterações climáticas e o crescimento cada vez mais acelerado da demanda por água exercem forte pressão sobre os recursos hídricos disponíveis no planeta e estão aumentando a probabilidade de eventos extremos, tais como as secas (PNUD, 2011; WWDR4, 2012). Somente a produção agrícola é responsável por 92% da pegada hídrica global (Hoekstra e Mekonnen, 2012). De acordo com estudo recente (UFSC, 2016), entre 1995 e 2014, o Brasil perdeu R\$ 182,8 bilhões com desastres naturais. Assim, governo e sociedade necessitam incluir em suas agendas um planejamento estratégico para a gestão responsável da água.

O Estado do Rio Grande do Sul (RS) tem enfrentado estiagens prolongadas. Em 2012, quando a pior seca dos últimos 60 anos atingiu o estado, 145 municípios declararam estado de emergência (Agência Brasil, 2012). A economia do RS é baseada na agricultura e na pecuária. Alterações no padrão pluviométrico levam à quebra de safras e à diminuição na produção, resultando no empobrecimento da população e do Estado. A redução da quantidade de água disponível leva as indústrias a buscarem outras regiões para instalação, resultando em desindustrialização do Estado e desemprego. Uma opção para mitigar a escassez hídrica no RS é a utilização da água subterrânea, através da exploração de poços. Para realizar o monitoramento dos mesmos, propõe-se o uso de métodos geofísicos e análises químicas, especialmente em zonas de recarga, onde se encontram conglomerados urbanos e atividades agropecuárias, que apresentam grande necessidade de água e elevada vulnerabilidade. Uma maneira prática para investigar estruturas geológicas com potencial de armazenamento hídrico é a sondagem de poços. Porém, além do custo elevado, essa técnica deixa portas abertas para contaminantes, uma vez que camadas confinantes são rompidas na investigação. Nesse contexto, métodos geofísicos, como o da eletrorresistividade e a varredura sísmica de refração, além de análises químicas, ganham destaque, por não serem invasivos.

Os diferentes tipos de materiais geológicos encontrados em subsuperfície têm como uma de suas propriedades características a resistividade elétrica, que apresenta uma faixa de variação bastante extensa: rochas ígneas, por exemplo, apresentam resistividades mais elevadas, enquanto que solos formados predominantemente por areia e argila são mais condutivos, ou seja, menos resistivos. Portanto, o método da eletrorresistividade (ER) serve para identificar esses materiais através do estudo do potencial elétrico nos campos elétricos naturais, já presentes na crosta terrestre, e também no potencial elétrico dos campos induzidos de maneira artificial. Assim, a configuração usual em campo para execução do método da ER consiste em acoplar no solo quatro eletrodos ao longo de uma linha reta, denominados A, B, M e N. O par de eletrodos AB é utilizado para injetar a corrente elétrica no subsolo, enquanto o par MN serve para mensurar a diferença de potencial gerada entre eles, como resultado da passagem da corrente. Diversos arranjos de desenvolvimento de campo podem ser adotados, conforme a complexidade e objetivo do levantamento. Esses procedimentos dizem respeito à disposição dos eletrodos e conferem grande versatilidade ao método.

As ondas sísmicas são vibrações mecânicas que se propagam nas camadas geológicas. Podem ser de origem natural ou artificial. A propagação das ondas sísmicas obedece à lei de Snell-Descartes, segundo a qual, quando uma onda mecânica encontra uma interface que separa dois meios com impedâncias acústicas diferentes, originam-se ondas refletidas e refratadas (Anomohanra, 2013). A impedância acústica é, por definição, o produto da densidade do meio pela velocidade de propagação da onda no meio. Assim, uma onda ao passar de um meio com menor



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

velocidade para um meio com maior velocidade, será parcialmente refletida e parcialmente refratada. Dependendo do ângulo de incidência, pode-se atingir uma refração a 90° com relação à normal da superfície, levando à refração total da onda. Nessas condições, a incidência é denominada crítica e a propagação da onda sísmica ocorre ao longo da interface de separação entre os dois meios. Além disso, a ocorrência da refração total necessita que as velocidades de propagação sejam maiores à medida que as ondas atinjam maiores profundidades. Essa constatação parece revelar uma limitação do método empregado. Porém o fato de que na maioria das situações geológicas essa combinação de velocidades ocorre, permite ao método um grande número de aplicações.

A técnica auxilia a revelar características acústicas do meio geológico, tais como, velocidade de propagação da onda primária (P) para, com isso, estimar-se o tipo de rocha que constitui a subsuperfície. A determinação das espessuras das camadas encontradas também depende das velocidades estimadas na análise de dados (Kearey *et al.*, 2012). Essas informações contribuem para determinar o grau de vulnerabilidade de reservas hídricas subterrâneas pois, uma vez que, o manto de intemperismo seja raso, as zonas de recarga de aquíferos ficam também próximas à superfície.

Existem inúmeras fontes que podem influenciar as características hidrogeológicas de águas subterrâneas, incluindo a permeabilidade do solo, sua declividade, a cobertura vegetal e contaminações por agentes externos (Betiollo, 2006), além da composição das rochas (na interação água e rocha por milhares de anos) e pelos interfluxos com água de superfície, ou ainda pela renovação da água em zona de recarga. Grande quantidade de íons pode estar presente, devido ao contato constante com as rochas (Souza, 2013). A qualidade da água é verificada através das análises físico-químicas e é de fundamental importância para garantir seu uso adequado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Levantamentos geofísicos e coleta de água foram executados em uma Escola Agrícola no município de Santa Cruz do Sul/RS. O município está situado dentro da região geomorfológica denominada Depressão Central Gaúcha, e inclui ainda parte da borda do Planalto das Araucárias. As unidades aflorantes são encontradas na porção sudeste da Bacia do Paraná: o Grupo Rosário do Sul, representado pelo Membro Alemoa, da Formação Santa Maria, pela Formação Caturrita, e o Grupo São Bento, composto pelas Formações Botucatu e Serra Geral (Noronha *et al.*, 2012). O intemperismo e a pedogênese nessa região contribuem para formarem um perfil de solo conhecido como regolito (Teixeira *et al.*, 2009).

Para analisar a região a partir de mapeamentos estratigráficos foram aplicados dois métodos: sondagem por eletrorresistividade e varredura sísmica de refração. Para execução das medidas de eletrorresistividade, utilizou-se o arranjo dipolo-dipolo, em que o espaçamento “a” entre os eletrodos de corrente (AB) é igual ao espaçamento entre os eletrodos de potencial (MN). A profundidade de investigação cresce à medida que o par MN é deslocado ao longo da linha de investigação. O valor de resistividade elétrica aparente é medido em um ponto da subsuperfície situado na intersecção das retas que partem num ângulo de 45° do centro dos dipolos, ou seja, localiza-se no ponto médio entre eles. O arranjo dipolo-dipolo é considerado um dos mais tradicionais, importantes e precisos dentro das investigações geoeletricas. Apresenta como principal vantagem uma boa resolução horizontal. Isso significa que seu padrão de contorno é quase-vertical,

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

ou seja, é mais sensível a mudanças horizontais de resistividade, o que torna a configuração adequada para mapear estruturas verticais. O método da eletrorresistividade foi aplicado em uma linha de investigação de 80 metros de comprimento. O espaçamento mínimo dos eletrodos foi de 5 metros. As medidas de tensão e corrente foram obtidas com um eletrorresistivímetro de dois canais Xtal Control (Autoenergia). Após a aquisição dos dados em campo, os mesmos foram processados com auxílio do *software* Res2Dinv[®], que emprega o método dos mínimos quadrados para obter modelos por inversão (Loke, 1999).

A sísmica de refração multicanal necessita a emissão de um pulso sísmico através de percussão mecânica. Esse pulso é detectado ao longo de um arranjo de 12 geofones por uma linha reta de 60 m e foi gerado utilizado-se uma marreta de 8 kg. O método empregado tem a finalidade de mapear refratores em subsuperfície. Para tanto, é fundamental escolher a geometria e as dimensões mais adequadas do arranjo. A Tabela 1 apresenta os parâmetros de aquisição adotados.

Tabela 1 – Parâmetros de aquisição adotados na varredura sísmica de refração

PARÂMETROS	ARRANJO “A”	ARRANJO “B”
Número de receptores	12	12
Espaçamento dos receptores	5 m	3 m
Comprimento da linha sísmica (<i>spread</i>)	60 m	33 m
Distância entre os tiros internos do <i>spread</i> (<i>end shot</i>)	30 m	18 m
Distância entre os tiros externos do <i>spread</i> (<i>off set</i>)	30 m	18 m
Geofones	Vertical de 10 Hz	Vertical de 10 Hz
Fontes com acoplador de metal para o impacto	Marreta de 8 kg;	Marreta de 8 kg;
Acoplamento dos geofones	Ponteira de 0,08 m	Ponteira de 0,08 m
Intervalo de amostragem	0,125 ms	0,125 ms
Comprimento do registro	1000 ms	1000 ms

Um levantamento sísmico baseia-se na análise de sismogramas, ou seja, uma representação gráfica da distância dos receptores pelo tempo de percurso do sinal até retornar à superfície. Com esse gráfico é possível traçar retas, que representam os tempos de trânsito da onda sísmica no meio geológico (Schuster e Quintus-Bosz, 1993). Utilizou-se o método recíproco ABC, que se utiliza de 5 pontos de percussão. Eles são conhecidos como tiro direto e tiro inverso, respectivamente. A disposição dos pontos de tiro permite varrer por inteiro o refrator e, com isso, possibilita a utilização do método Phantom Arrival (Hagedoorn, 1958). O sismógrafo usado foi um aparelho multicanal da Seistronix com comprimento de linha máximo de 120 m e 12 geofones.

Amostra de água foi coletada diretamente do poço artesiano após 10 minutos de purga e os seguintes parâmetros físico-químicos foram determinados *in situ* com a célula de fluxo MP20 MicroPurge[®]: temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH e salinidade. Esse poço possui 180m de profundidade e está a 211m de altitude. A amostra foi condicionada em vidro âmbar de um litro e mantida a temperatura de 4°C até a análise. A determinação dos ânions fluoreto (F⁻), cloreto (Cl⁻), nitrato (NO₃⁻), fosfato (PO₄⁻³) e sulfato (SO₄⁻²) foi feita com a técnica de cromatografia iônica com o equipamento ICS 5000 (Thermo Fischer Scientific, EUA). A amostra foi passada em filtro de membrana de tamanho de poro <0,22 µm. Foi determinada a área de contagem de cada ânion na amostra e comparados com a curva de calibração linear para determinar suas respectivas concentrações para a obtenção dos resultados.

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
 26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
 Florianópolis- SC

RESULTADOS

A inversão dos dados obtidos pelo método da eletrorresistividade é mostrada na Figura 1.

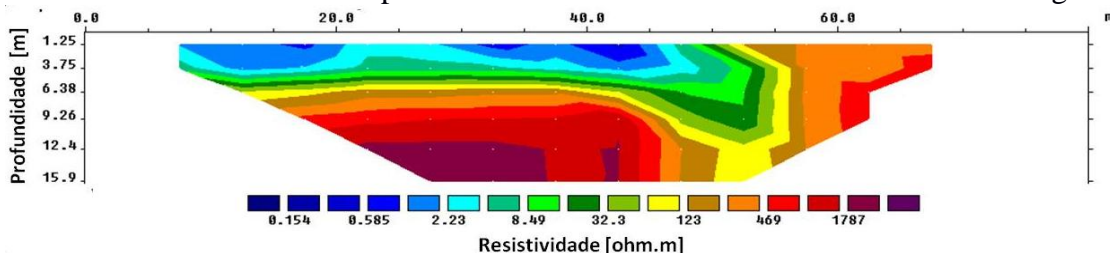


Figura 1 – Mapeamento geofísico empregando-se o método da eletrorresistividade

A Figura 1 representa qualitativamente a distribuição espacial das resistividades elétricas aparentes em subsuperfície e admite a interpretação geofísica descrita a seguir. Até aproximadamente 4 metros de profundidade, observa-se a presença de zonas de baixa resistividade, indicando um solo predominantemente argiloso. Em regiões um pouco mais profundas, entre 4 e 7 metros de profundidade, são apresentados valores maiores de resistividade, que possivelmente correspondem a um solo argilo-arenoso mais seco. Nas camadas inferiores, entre cerca de 7 e 12 metros de profundidade, são encontradas zonas cuja resistividade é ainda mais elevada, sugerindo a presença de rocha sedimentar arenítica. Nos níveis mais profundos de investigação, que alcançam aproximadamente 16 metros, verificam-se as zonas de maior resistividade do perfil, o que provavelmente indica uma formação basáltica.

A Figura 2 apresenta a inversão dos dados da varredura sísmica dos dados referentes a 5 percussões usando o arranjo “A”. Nele, é possível distinguir três camadas horizontais com diferentes velocidades de propagação da onda sísmica. Com base nas velocidades de propagação das ondas P encontradas (800, 1700 e 3200 m/s) é possível estimar uma possível formação geológica local. Assim, a primeira formação é constituída por uma camada mais solta que sofre ação do tempo e apresenta 5 m de espessura, seguida por uma de solo argiloso que chega até 10 m, a qual é um bom confinador para água subterrânea. Por fim, encontra-se uma camada de arenito como sugere a velocidade de propagação da onda P. Essa camada estende-se de 10 m em diante e, conforme se vê na Figura 1 é bem homogênea. Cabe salientar que os limites de profundidade das últimas camadas analisadas não representam as espessuras dessas camadas, e sim, o limite de aquisição do arranjo adotado. A essa camada dá-se o nome de semi-infinita.

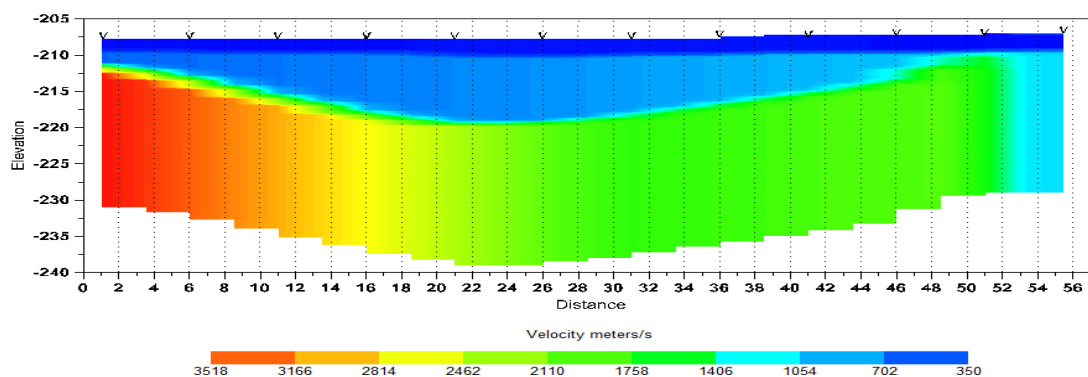


Figura 2 – Mapeamento de subsuperfície usando metodologia ABC.

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

No que se refere às análises químicas e físico-químicas, a Tabela 3 apresenta os resultados dos parâmetros encontrados na amostra medida *in situ* através da célula de fluxo MP20 MicroPurge[®], enquanto que a Tabela 4 apresenta os resultados obtidos em laboratório das concentrações dos ânions juntamente aos valores máximos permitidos (VMP) para os ânions estipulados pela Portaria 2914/2011 e pela Resolução Conama 396/2008 para a água de consumo humano.

Tabela 3 – Parâmetros físico-químicos

Amostra	Temperatura (°C)	Oxigênio dissolvido (OD) (mg/L)	Condutividade (mS/cm)	pH	Salinidade (g/kg)
SEM 01	20,9	6,80	0,070	6,78	0,04

Conforme a Resolução CONAMA 357/05 o pH (potencial hidrogeniônico) próprio para consumo humano deve variar entre 6,00 e 9,50, logo, a amostra está dentro desses limites. A amostra apresentou 6,80 mg.L⁻¹ de oxigênio dissolvido. Em águas subterrâneas geralmente sua quantidade é pequena, pois, a maioria do oxigênio dissolvido é consumida na oxidação da matéria orgânica durante a percolação da água na zona de aeração (Magalhães, 2006). Esse parâmetro não é estipulado pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde e nem pela resolução CONAMA 396/2008. A condutividade elétrica é proporcional à quantidade de sólidos dissolvidos sob a forma de íons e representa a medida da facilidade da água em conduzir corrente elétrica (Magalhães, 2006). A salinidade encontrada foi baixa: 0,04 g/kg.

Tabela 4 – Concentração de ânions (mg L⁻¹) e seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMP)

Amostra	F ⁻	Cl ⁻	*NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻³
Seminário	0,05	2,60	1,03	2,40	0,09
VMP (mg L ⁻¹)	1,5	250	10	250	NA

NA - não apresenta

De acordo com a comparação entre os resultados e os Valores Máximos Permitidos apresentados na Tabela 4, é possível afirmar que todos os ânions estão presentes em quantidades consideravelmente inferiores ao VMP, expressando, assim, a boa qualidade da água analisada. É comum a presença de cloretos em águas subterrâneas originados de fontes como silvita (KCl) e halita (NaCl). Já os sulfatos normalmente são oriundos da dissolução de sulfato de cálcio e/ou de magnésio presentes em rochas ou solos (Souza, 2013). A quantidade de nitrato normalmente é associada com a dissolução em rochas, pela oxidação de matéria orgânica e, inclusive, com a utilização indiscriminada de fertilizantes (Melo, 1988). O fluoreto e o fosfato foram os ânions menos encontrados nessa água. A presença de fluoreto ocorre naturalmente em águas subterrâneas. O fosfato também pode estar relacionado a processos naturais como dissolução de solos e rochas, porém, quando encontrado em altas concentrações pode indicar interferência antropogênica, como uso de agroquímicos ou descarga de esgotos (Parron, 2011).

CONCLUSÃO

Dispondo dos resultados das análises da água do poço, podemos indicá-la como sendo de boa qualidade para consumo humano. Todos os parâmetros analisados se encontraram dentro dos padrões de potabilidade tanto para Portaria 2914/2011 (que estipula o padrão de potabilidade de água para consumo humano) quanto para as Resoluções CONAMA 396/2008 e 357/2005 (que classificam águas subterrâneas para consumo humano).



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

Com base na análise sísmica realizada encontramos três camadas refratoras, que, conforme as velocidades sugerem trata-se da existência de uma formação geológica mais densa na parte mais profunda visualizada. O local possui um manto de intemperismo relativamente raso. O método da eletrorresistividade também revelou três camadas geológicas, de acordo com as diferentes faixas de resistividade elétrica. Na superfície tem-se um solo argiloso, que possivelmente se torna mais arenoso e seco com o aumento da profundidade. Em seguida, sugere-se a presença de rocha arenítica, seguida de uma formação basáltica. Acredita-se que a camada de arenito detectada por ambos os métodos geofísicos tenha potencial para armazenar água. Essa característica permite a recarga do reservatório, mas deixa evidente sua vulnerabilidade a contaminantes externos. A composição química da rocha também poderá influenciar na qualidade da água, uma vez que pode ser rica em fluoretos e outros ânions, que em excesso podem caracterizar contaminação, e até mesmo inviabilidade para o consumo humano.

A metodologia empregada mostrou-se adequada para estudar estruturas geológicas rasas. Espera-se comparar informações geofísicas aos dados de outros poços localizados no município de Santa Cruz do Sul, com a finalidade de realizar uma calibração e incluir no estudo regiões onde não há poços perfurados. Assim, pretende-se descrever processos hidráulicos relacionados ao fluxo de águas subterrâneas e obter informações que auxiliem no desenvolvimento de tecnologia brasileira na área de prevenção e mitigação da seca.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo apoio financeiro; ao Eng. Agrônomo Assilo Martins Correa Júnior, representante da EMATER-RS, pela indicação do ponto de interesse e à Escola Agrícola pela permissão da coleta.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASIL (2012). Após maior seca dos últimos 60 anos, Rio Grande do Sul tem previsão de chuva nos próximos dias. Disponível em <http://memoria.etc.com.br/agenciabrasil/noticia/2012-05-30/apos-maior-seca-dos-ultimos-60-anos-rio-grande-do-sul-tem-previsao-de-chuva-nos-proximos-dias>. Acesso em out 2015.
- ANOMOHANRAN, O. (2013). Seismic Refraction Method: a Technique for Determining the Thickness of Stratified Substratum. *American Journal of Applied Sciences* 10 (8): 857-862.
- BETIOLLO, L. M. (2006) Caracterização Hidrogeológica e Hidroquímica dos Sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral no Nordeste do Rio Grande do Sul. Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em geociências. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 117p
- CONAMA - Resolução n. 357 de 17 de março de 2005, Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília.
- CONAMA - Resolução n. 396 de 3 abril de 2008, Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília.
- HAGEDOORN, J.G. (1958). The plus-minus method of interpreting seismic refraction sections. *Geophysical prospecting*, 7 (2): 158-182.
- HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. (2012). The water footprint of humanity. *PNAS*. Vol. 109, No. 9, PP. 3232-3237.



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS
26 de novembro a 01 de dezembro de 2017
Florianópolis- SC

- KEAREY, P; BROOKS, M; HILL, I. (2002). *An Introduction to Geophysical Exploration*. Science LTD, Oxford, UK.
- LOKE, M.H. (1999). Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies. A practical guide to 2-D and 3-D surveys.
- MACHADO, J. L. F. (2005). Compartimentação espacial e arcabouço hidroestratigráfico do Sistema Aquífero Guarani no Rio Grande do Sul. Tese. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, 254p.
- MAGALHÃES, V. S. (2006) Hidroquímica e Qualidade das Águas Superficiais e Subterrâneas em Áreas sob Influência de Lavras Pegmatíticas nas Bacias dos Córregos Água Santa e Palmeiras, Município de Coronel Murta (MG). Dissertação de mestrado. Programa de pós-graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais-BH.
- MELO, J. G. (1988) Avaliação dos riscos de contaminação e proteção das águas subterrâneas de Natal. Zona Norte. Companhia de Águas e Esgotos do RGN (CAERN), Natal. Relatório interno.
- MINISTÉRIO DA SAÚDE - Portaria 2914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União. Brasília. 2011.
- NORONHA, F. D. L.; MIZUSAKI, A. M.; BRESSANI, L. A. O mapeamento geológico-geomorfológico como uma ferramenta para obtenção de informações geotécnicas preliminares: estudo de caso na área urbana de Santa Cruz do Sul (RS, Brasil). **Pesquisas em Geociências**, v. 39, n. 2, p. 127–145, 2012.
- PARRON, Lucilia Maria; Muniz, Daphe Heloisa de Freitas; Pereira, Claudia Mara, (2011) Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. ISSN 1980-3956. EMBRAPA.
- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (2011). Relatório do Desenvolvimento Humano de 2011: **Sustentabilidade e Equidade: Um Futuro Melhor para Todos**. Disponível em: http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2011_pt_complete.pdf. Acesso em 20 fev 2017.
- SCHUSTER, G.T.; QUINTUS-BOSZ, A. (1993). Wave path eikonal travel time inversion: Theory. *Geophysics*, 58 (9): 1314-1323.
- SOUZA, M. do C. F. B. (2013). Aspectos hidrodinâmicos e qualidade das águas subterrâneas nas sub-bacias do Rio Verde Grande, Jequitai e Pacuí – MG. Dissertação de mestrado. 179 p. Programa de pós-graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte.
- TEIXEIRA, W.; FAIRCHILD, T. R.; TOLEDO, M.; MOTTA, C.; TAIOLI, F. (2009). *Decifrando a Terra*. Companhia Editora Nacional. São Paulo-SP.
- United Nations World Water Development Report 4: **Managing Water under Uncertainty and Risk** (Vol. 1) (2012). Disponível em: unesdoc.unesco.org/images/0021/002156/215644e.pdf. Acesso em 14 fev 2017.
- Universidade Federal de Santa Catarina (2016). Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Relatório de danos materiais e prejuízos decorrentes de desastres naturais no Brasil: 1995 – 2014**. Florianópolis: CEPED UFSC, 230 p.