

# ESTUDO DE SUBSUPERFÍCIES SUSCETÍVEIS À CONTAMINAÇÃO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEOS EM SANTA CRUZ DO SUL

Júlio César Gall Pires<sup>1,2</sup>, Daniela Govoni Sotelo<sup>1,2</sup>, Gabriela Borges Soares<sup>1,2</sup>, Giovanna Ramos Garcez<sup>1,2</sup>, Adolpho Herbert Augustin<sup>1</sup>, Heldiane Souza dos Santos<sup>1</sup>, Vanessa da Conceição Osório<sup>1</sup>, Tales de Paula<sup>3</sup>, Cássio Stein Moura<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Instituto do Petróleo e dos Recursos Naturais, PUCRS, Porto Alegre (RS), ipr@pucrs.br

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, PUCRS, Porto Alegre (RS)

<sup>3</sup> Escola de Ciências – PUCRS

**Palavras-Chave:** Águas subterrâneas; sísmica de refração; velocidade da onda primária.

## INTRODUÇÃO

A investigação das camadas estratigráficas de subsuperfície pode revelar estruturas geológicas com potencial para o armazenamento hídrico. Uma das maneiras de se realizar esse estudo é pela sondagem por perfuração de poços na região (Michel et al, 2015). Porém, esse método deixa canais de entrada para contaminantes uma vez que as camadas confinantes de subsuperfície podem ser rompidas, além de ser economicamente desfavorável. Para minimizar esse risco podem ser utilizadas técnicas geofísicas baseadas em ondas elásticas, que permitem obter informações de maneira indireta das estruturas em subsuperfície (Gandolfo, 2014). As ondas sísmicas são vibrações mecânicas que se propagam nas camadas geológicas. Sua origem pode ser natural ou artificial. A propagação das ondas sísmicas obedece à lei de Snell-Descartes, segundo a qual, quando uma onda sísmica encontra uma interface, que separa dois meios com impedâncias acústicas diferentes, origina-se ondas refletidas e refratadas (Hagedoorn, 1959). A impedância acústica é definida como produto da densidade pela velocidade de propagação da onda no meio. Assim, uma onda ao passar de um meio com menor velocidade para um meio com maior velocidade, será refletida com o mesmo ângulo de chegada. Existe um ângulo de incidência para o qual toda a onda será refratada com ângulo de 90° em relação à normal à superfície. Nessa condição, a incidência é denominada crítica e a propagação da onda sísmica ocorre ao longo da interface de separação entre os dois meios. Caso os ângulos de incidência sejam maiores que 90° não existirá onda refratada. Para que ocorra a refração total, é necessário que a velocidade de propagação aumente para camadas mais profundas, o que é encontrado na maioria das situações geológicas (Anomohanran, 2013).

Este estudo aborda o comportamento da onda primária (P) de uma fonte sísmica, buscando revelar as velocidades de propagação da onda nos meios geológicos e, com isso, estimar sua composição e respectivas profundidades. Essas informações contribuem para relacionar diferentes estruturas geológicas e, por consequência, inferir o grau de suscetibilidade à contaminação de reservas hídricas subterrâneas.

## METODOLOGIA

O perfil sísmico mapeado no estudo foi corroborado com o perfil do poço local, posicionado a 3 m da linha sísmica e na direção transversal ao geofone 3.

O equipamento utilizado foi um sismógrafo multicanal da Seistronix, que possibilita montar arranjos com 12 geofones. Em nosso estudo, usamos um pulso sísmico artificial, produzido através de percussão mecânica com uma marreta de 8 kg, que é suficiente para arranjos (conjunto de geofones e cabo de ligação) de pequenas dimensões com comprimento de até 60 m.

O método empregado tem a capacidade de mapear refratores em subsuperfície. Para tanto, é fundamental escolher a geometria e as dimensões do arranjo. Tal procedimento garante que as chegadas das frentes de onda refratadas, na interface de subsuperfície, sejam detectadas por um mesmo segmento do arranjo.

Um levantamento sísmico utiliza na análise sismogramas, ou seja, uma representação gráfica da distância dos receptores pelo tempo de percurso do sinal até retornar à superfície a partir de dados coletados

em campanhas de campo. Com esse gráfico é possível traçar retas, que representam os tempos de trânsito da onda sísmica no meio geológico, os quais são comumente conhecidos como “*travel time*”.

Utilizou-se o método recíproco *Delay-Time* ou ABC (Hawkins, 1961), cujo processamento depende de 5 pontos de tiro, onde três deles são localizados dentro do *arranjo* e dois fora, com afastamento de pelo menos metade do comprimento do mesmo, que são conhecidos como tiro direto e tiro inverso. Cada ponto de tiro produz um sismograma. A Figura 1 apresenta uma representação do arranjo adotado em (I) e, em (II), apresenta um esquema do diagrama “*travel time*” mencionado. O processamento dos dados foi realizado com auxílio do software Winsism (Wgeosoft<sup>TM</sup>). Os resultados encontrados foram confrontados com perfis de poços artesanais do local.

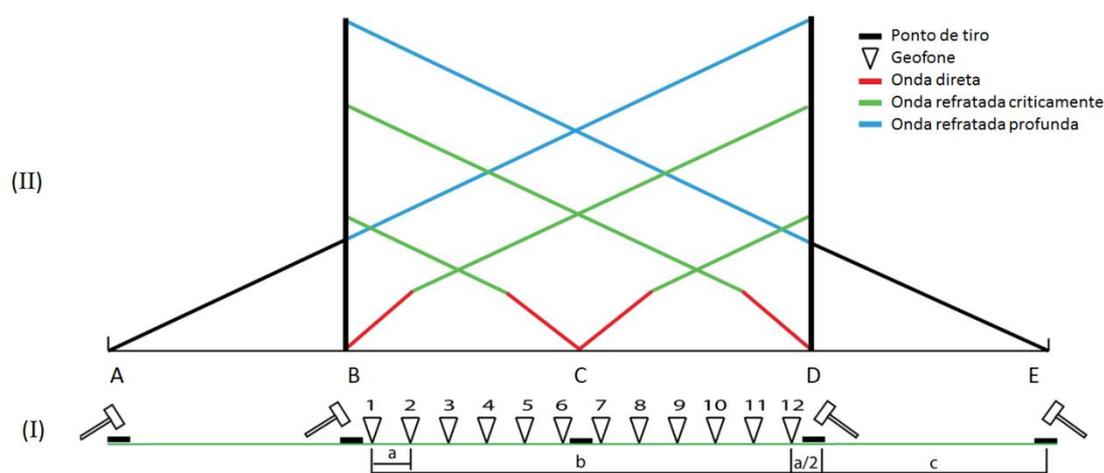


Figura 1. (I) Representação do arranjo adotado com as posições de tiro; (II) Representação dos tempos de trânsito das ondas em suas respectivas posições de tiro.

## RESULTADOS

O perfil apresentado da Figura 2 foi adquirido na região do município de Santa Cruz do Sul. Ele sugere a presença de argilito à aproximadamente 5 metros de profundidade.

A partir do processamento dos dados foi possível distinguir três camadas, com base nas velocidades de propagação das ondas P (600, 1200 e 2600 m/s). A primeira camada (azul escuro), constitui o manto de intemperismo, que atinge cerca de 2,5 m de profundidade de solo argiloso. A segunda camada (azul claro) apresenta uma transição de solo argiloso para argila, que vai até aproximadamente 4 m. Na terceira camada (multicolorida) é possível observar uma heterogeneidade da litologia, que possui uma velocidade de propagação comparável ao argilito. Também é possível interpretar como uma transição da argila para diferentes estados de compactação. Com essas condições, é possível inferir que este local apresenta uma boa proteção natural de suas águas subterrâneas.

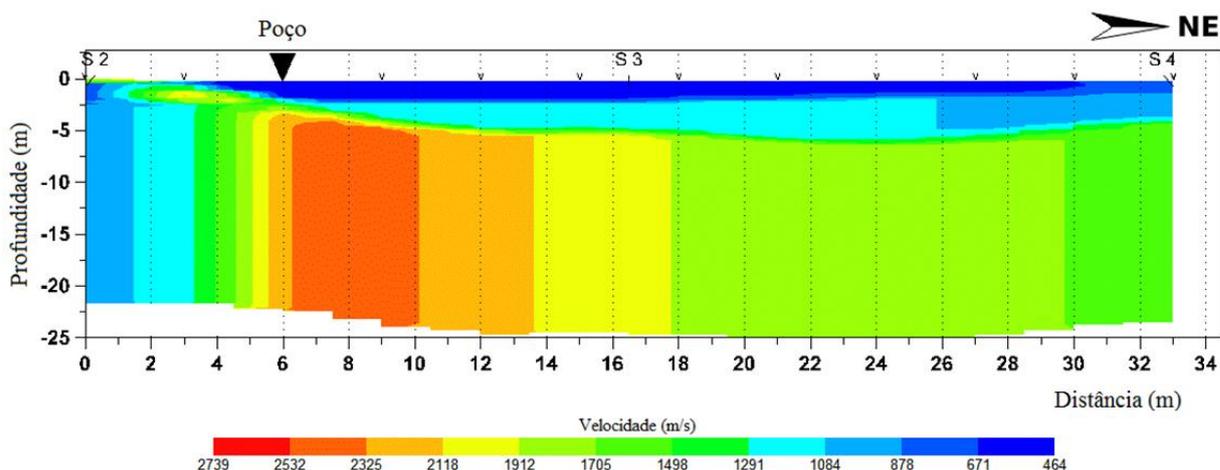


Figura 2. Perfil geológico da linha sísmica analisada na região de Santa Cruz do Sul

O perfil sísmico processado foi confrontado com um perfil litológico do poço artesiano local e verificou-se razoável concordância entre ambos. Evidenciando a sensibilidade de contraste do sismógrafo, diferentes velocidades de propagação na mesma camada foram observadas, devido a transições de diferentes estados de compactação. A Tabela 1 apresenta as medidas de profundidade encontradas no perfil do poço e também as medidas de profundidade obtidas com o processamento da linha sísmica.

Tabela 1. Profundidades do perfil sísmico processado e do respectivo poço

Perfil do poço (m)		Perfil processado (m)	
Profundidade	Litologia	Profundidade	Litologia
4	solo argiloso	2,5	solo argiloso
109	argilito	4	argila
> 109	arenito	> 4	argilito

## CONCLUSÃO

Com o método sísmico empregado foi possível identificar três diferentes litologias, embora o perfil do poço só apresente duas, até os 30 m. Isso acontece devido à diferenciação, pelo equipamento, das mudanças da velocidade de propagação no meio. Essas mudanças de velocidade podem ocorrer no mesmo material devido a alterações no grau de compactação, conforme aumenta a profundidade.

As profundidades encontradas após o processamento sísmico foram confrontadas com valores obtidos no perfil do poço artesiano local, fornecidos pela CORSAN, o que permitiu a corroboração dos valores encontrados. Isso possibilita uma validação da técnica, para seu emprego na investigação de diferentes camadas como foi presenciado por (Barsé, 2011). A profundidade máxima alcançada atinge cerca de metade do comprimento do arranjo.

O local apresentado no estudo revela uma proteção natural para o reservatório subterrâneo de água uma vez que sua litologia apresenta solo argiloso. Essa característica confere baixa permeabilidade ao solo, assim, águas contaminadas na superfície por algum herbicida ou pesticida serão impedidas de contaminá-lo.

## AGRADECIMENTOS

À CAPES pelo apoio financeiro; à EMATER-RS e à CORSAN pelo acesso ao poço estudado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Michel, G. P.; Kobiyama, M. *Estimativa da profundidade do solo: Parte 1 – Métodos de campo*. Revista Brasileira de Geografia Física. V. 08, N. 04, 1206-1224. 2015.

Gandolfo, O. C. B. *A determinação da profundidade do nível d'água pelo método da refração sísmica*. Sociedade Brasileira de Geofísica. VI Simpósio Brasileiro de Geofísica. 2014.

Anomohanran, O. *Seismic Refraction Method: a Technique for Determining the Thickness of Stratified Substratum*. American Journal of Applied Sciences 10, 857–862. 2013

Hawkins, L. V. *The reciprocal method of routine shallow seismic refraction investigations*. Geophysics, 26: 806-819. 1961.

Barsé, L.; Sentinger, F. M.; Gorelik, B. et al. *Determinação da espessura do manto de intemperismo utilizando sísmica de refração rasa na área de Seival – RS*. Departamento de Engenharia de Minas da UFRGS – RS. 2011.

Hagedoorn, J. G. *The plus-minus method of interpreting seismic refraction sections*. Geophysical prospecting , 7, 2: 158-182. 1959.