



Levantamento do nível do lençol freático da área urbana dos bairros Querência e Atlântico Sul, Balneário Cassino - RS, a partir de dados de georadar

Survey of the groundwater table of the urban area of the quarters Querência and Atlântico Sul, Balneário Cassino – RS, from georadar data

N. D. Carvalho¹; M. G. Albuquerque^{1,2*}; D. C. Leal Alves¹; J. M. A. Espinoza¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul,
96201-460, Rio Grande - RS, Brasil.

²Universidade Federal do Rio Grande (FURG), 96201-900, Rio Grande - RS, Brasil.

*migueldaguia@gmail.com

(Recebido em 09 de janeiro de 2017; aceito em 13 de novembro de 2017)

Esse estudo visa caracterizar o comportamento do lençol freático na área urbana do balneário Cassino, Rio Grande do Sul, nos bairros Querência e Atlântico Sul. A partir de dados de altimetria do terreno (obtidos com GNSS-RTK), composição do solo, pluviosidade, GPR (*Ground Penetration Radar*) e medição da profundidade do lençol freático foram possíveis medir as diferentes profundidades da franja capilar superior e inferior do lençol freático e estimar as zonas com maior suscetibilidade a alagamentos. As posições de nível do lençol freático superficial obtido com GPR corroboraram com os valores medidos *in situ* através da escavação de poços de observação com uso de trado manual. O lençol freático apresentou um caráter superficial, com valor médio de 0,59 m de profundidade e aeração pouco espessa. Para o lençol freático profundo, o nível médio estimado foi de 1,37 m. Através da modelagem foi possível observar que o solo apresenta um maior índice de vazios nas regiões onde o lençol freático é mais profundo. Nas localidades onde o solo apresenta uma menor capacidade de absorção da água da chuva há uma maior suscetibilidade a alagamentos. A saturação do solo, como consequência o alagamento de uma região, ocorre quando o aporte de água corresponde ao volume livre do solo, que no caso da área de estudo, apresentou limiar de saturação na ordem de 108,78 mm. O conhecimento do comportamento do lençol freático é fundamental para que os gestores municipais disponham de ferramentas para o devido planejamento das localidades suscetíveis a alagamentos no balneário Cassino.

Palavras-chave: GPR, áreas de alagamentos, volume livre do solo, geotecnologias.

This study aims characterize the behavior of the groundwater in the Cassino beach, Rio Grande do Sul state, at the Querência and Atlântico Sul regions. Using altimetry data (collected by GNSS-RTK), soil composition, rainfall data and depth measurement of groundwater table, it was possible estimate the locals with major and minor susceptibility to floods. The level positions of groundwater table, both shallow and deep, obtained with GPR (*Ground Penetration Radar*), was corroborated with the values measured *in situ* obtained through the excavation of observations wells, using manual survey, in points distributed along the sample mesh. The groundwater table showing superficial characteristics with means value of 0.59 m in depth. From the depth groundwater, the meantime values estimated by GPR were 1.37 m. According data generated by statistical models, its possible show that the soil presents a major void index in the regions where the groundwater it's more deep. The locals where the soil has presented a minor rainwater absorption capacity has there occur a major susceptibility to floods, if consider just the variable depth of groundwater table. The soil saturation, with flood consequence in the region, occur when the water supply have a correspondence with the free soil volume. To the study area this flood threshold is 108.78 mm. According this condition can be occur the surface water accumulation and the occurrence of flooded areas. The knowledge about groundwater behavior it's important for municipal managers to generated subsidies and tools for the planning and management of localities susceptible to flood.

Keywords: GPR, flooding areas, free soil volume, geotechnologies

1. INTRODUÇÃO

Estudos pautados na caracterização hidrogeológica do solo tem fornecido subsídios que podem ser utilizados para auxiliar na gestão territorial, bem como na preservação dos recursos hídricos subterrâneos [1], principalmente em ambientes urbanizados. Atualmente, a técnica mais utilizada para a coleta de dados de nível freático é a partir de poços de observação *in situ* ou mesmo poços piezométricos fixos. Entretanto, essas técnicas são vistas como invasivas, pois causam impactos diretos a infraestrutura em ambientes urbanos, por exemplo, além de serem dispendiosas temporalmente e financeiramente, o que limita o número de amostras a serem coletadas. Técnicas geofísicas de superfície como o GPR (*Ground Penetration Radar*), também conhecido como georadar, são mais aconselháveis já que o mesmo opera através da propagação de ondas eletromagnéticas no solo, coletando dados tanto em profundidade como em extensão lateral de forma não invasiva, rápida, contínua e com alta resolução através de imageamento subsuperficial do solo [2] ampliando assim o número de amostras, bem como seu recobrimento espacial.

O método GPR se baseia na transmissão, reflexão e recepção das ondas eletromagnéticas em uma frequência de mega-hertz específica [3]. Por ser muito versátil o GPR pode ser usado em diversos ambientes tais como: superfície do solo, em túneis, poços de perfuração, entre outros locais [4]. As antenas transmissoras e receptoras são os dispositivos de limitação de largura de banda e, normalmente, se o equipamento foi estruturado adequadamente, os receptores e transmissores eletrônicos podem ser usados com diversas antenas. Os campos eletromagnéticos são gerados por uma antena transmissora dipolar que é posicionada sobre a superfície da terra. A partir de uma diferença de potencial elétrico, a antena passa a emitir ondas eletromagnéticas para o meio que se está analisando. Outra antena, também posicionada na superfície terrestre denominada antena receptora, capta as informações refletidas pelas estruturas do meio [2]. Importante destacar que a escolha da antena depende do alcance e da resolução desejada [4].

No que diz respeito ao monitoramento do lençol freático, as zonas costeiras estão entre as províncias hidrológicas mais ameaçadas se for levado em conta à forma como ocorre à extração das águas subterrâneas ao redor do globo e em especial no Brasil [5]. A zona costeira brasileira está dividida em subprovíncias que são caracterizadas como bacias sedimentares de pequenas dimensões e com espessuras variáveis. No caso da Região Hidrográfica Atlântico Sul e da província hidrogeológica da planície costeira do Rio Grande do Sul [6] uma série de fenômenos, tais como a atividade tectônica, o clima, e o nível do mar podem ser identificados para a caracterização e oscilação do nível freático.

De acordo com estudos prévios realizados na região sul do Rio Grande do Sul [7], com a elevação do nível do mar em função de fatores meteorológicos e oceanográficos, há uma constante interferência no comportamento do lençol freático, o qual apresenta mudança no sentido e intensidade de escoamento das águas subterrâneas conforme a sazonalidade. Os índices pluviométricos, por exemplo, em períodos de intensa precipitação refletem na elevação gradual do nível do lençol freático e, com o seu aumento, condições de saturação do solo arenoso típico da planície costeira do Rio Grande do Sul, são promovidas condições capazes de potencializar o impacto das marés meteorológicas [8].

Para o balneário Cassino, foco desse trabalho, estudos realizados anteriormente na região indicam que o lençol freático é pouco profundo, apresentando uma estreita zona vadosa que oscila principalmente sob efeito de intensa pluviosidade [8, 9, 10], característica típica dos meses de inverno na região sul do Brasil. Tais trabalhos fizeram uso de poços de monitoramento, tendo como foco a porção subaérea do sistema praial, enquanto os resultados aqui expostos buscam ampliar o conhecimento sobre o comportamento freático da região do pós-duna e da planície arenosa atualmente urbanizada através de métodos indiretos.

Cabe ainda destacar que estudos pautados na caracterização do comportamento das águas subterrâneas de aquíferos livres têm fornecido subsídios para a gestão urbana de áreas costeiras, em especial sobre os impactos negativos associados a exploração intensa da água, a contaminação por meio de efluentes domésticos e por processos de salinização [11], além da sobrecarga dos sistemas de drenagem urbano. Nesse sentido, o presente estudo visa iniciar um acompanhamento do nível do lençol freático nos bairros Atlântico Sul e Querência, ambos localizados na área urbana do balneário Cassino (Rio Grande – RS), com uso de GPR. Tal iniciativa busca, além do

próprio monitoramento técnico-científico, um futuro apoio à gestão urbana do balneário, visto que o mesmo é anualmente impactado pelo excesso de chuvas, principalmente nos meses de inverno, o que leva a inúmeras ocorrências de alagamentos nas vias da localidade em questão.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O balneário Cassino está situado no extremo sul do Rio Grande do Sul. Seu processo de ocupação teve início em 1890 e desde então vem acompanhado de um crescente processo de expansão. A localidade possui aproximadamente 30.000 habitantes com residência fixa, mas durante os meses de verão ocorre um significativo aumento devido ao turismo que pode alavancar temporariamente o número de habitantes para 150.000 [12]. Para o presente trabalho, a área de estudo (Figura 1) compreende os bairros Querência e Atlântico Sul, situados na orla marítima do município do Rio Grande, RS, coordenadas $32^{\circ} 12' 21''$ S e $52^{\circ} 10' 56''$ W [10]. A área urbanizada para os dois bairros perfaz um total de 720m², sendo limitado a nordeste pela parte central do balneário Cassino; a sudoeste pela localidade do Campo do Leopoldo; a sudeste pelo campo de dunas defrontante ao Oceano Atlântico; e a noroeste pelos campos e banhados do interior do município do Rio Grande.

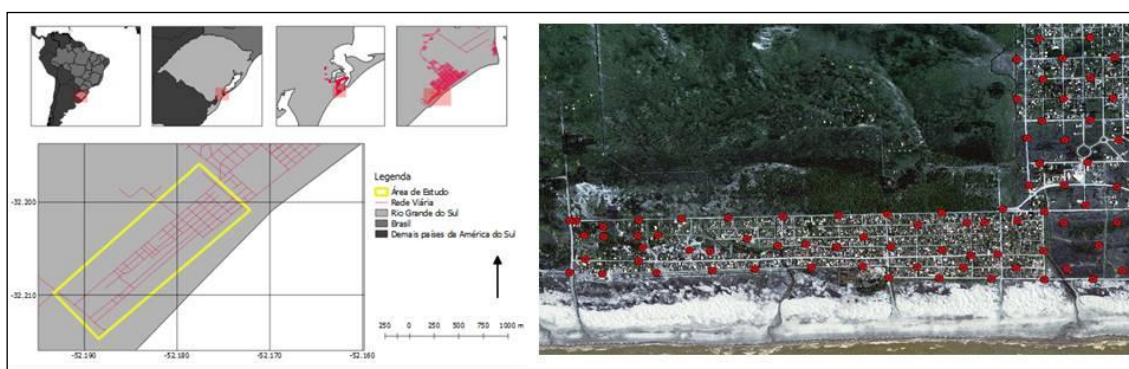


Figura 1: A esquerda, a localização da área de estudo. A direita, a distribuição de pontos onde foram realizadas as amostragens.

Segundo as estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, com base no Censo 2010, juntos os dois bairros representavam um total de pouco mais de 2.000 habitantes, representando aproximadamente 7% da população do Balneário Cassino, distribuídos em 1.722 domicílios [13]. A localidade apresenta sazonalmente diversos episódios de alagamentos devido à intensa precipitação associada a uma morfologia naturalmente suscetível, com diversos pontos críticos principalmente nos meses de inverno [14]. A área também foi escolhida em virtude de já existir um levantamento topográfico detalhado das vias [14, 15].

3. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados meteorológicos de pluviosidade medidos em milímetros para os meses de inverno e primavera de 2016 foram obtidos através da estação automatizada A802 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizada no interior do campus da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), a fim de realizar uma análise da frequência e intensidade da precipitação local. Já para a aquisição dos dados de nível do lençol freático foi utilizado um equipamento GPR (Figura 2B) da marca italiana IDS (*Ingenieria del Sistemi*) com antena polarizada na frequência de 400 MHz, a qual tem capacidade de penetração no solo de até 2 metros de profundidade. A escolha dessa frequência se deu pelo fato de a mesma cumprir os requisitos de profundidade associados à altura estimada do perfil da área de estudo, observado em trabalhos pretéritos. O equipamento foi posicionado sobre as vias de circulação em uma malha regular onde em cada ponto foi coletado um perfil de 4 m de comprimento vertical.

O princípio de coleta dos dados de profundidade do lençol freático consiste no envio de um pulso eletromagnético para o solo, por parte da antena, que é refletido pelas camadas do solo e captado pela antena receptora. Para validação das profundidades obtidas junto ao GPR foram feitos poços de observação em campo com uso de um trado manual (Figura 2A), os quais tinham por objetivo validar os dados obtidos com georadar, além de auxiliar no processo de calibração. A profundidade do lençol freático nos poços de observação foi medida a partir da superfície com uso de uma trena milimetrada (Figura 2C).



Figura 2: A- abertura dos poços de observação escavados com uso de um trado manual; B- Sistema georadar; C- Medição da profundidade dos poços de observação com trena.

3.1. Tratamento dos dados em laboratório

Os dados de georadar (Figura 3A) foram tratados no *software* Gred 3D[®], o qual possibilitou a retirada de eventuais ruídos constantes das informações coletadas, além de propiciar uma melhor resolução vertical dos mesmos. Os dados coletados foram submetidos a um conjunto de filtros disponíveis na interface do *software*: *Move start time* (Figura 3B), para mover o início do dado, *Background Removal* (Figura 3C), para retirar o fundo, *Vertical Bandpass Filter* (Figura 3D), para salientar os dados verticais, *Linear Gain* (Figura 3E), *Smoother Gain* (Figura 3F), para suavizar os dados, *Vertical Bandpass Filter* (Figura 3G) e *Hilbert Transform* (Figura 3H). Após o processo de filtragem, foi realizada a tabulação dos dados, com a união dos valores de profundidade e as coordenadas X (latitude) e Y (longitude) coletadas previamente, fornecendo assim o georreferenciamento das informações mediante o datum WGS84. Em seguida, foi realizada a interpolação dos mesmos através do *software* ArcGis[®] pelo método do Inverso do Quadrado da Distância (IDW) de forma que fosse possível utilizar os valores conhecidos (X, Y, Z altimétrico e de profundidade das camadas do freático) para se gerar valores estimados para outros pontos não cobertos pelo levantamento.

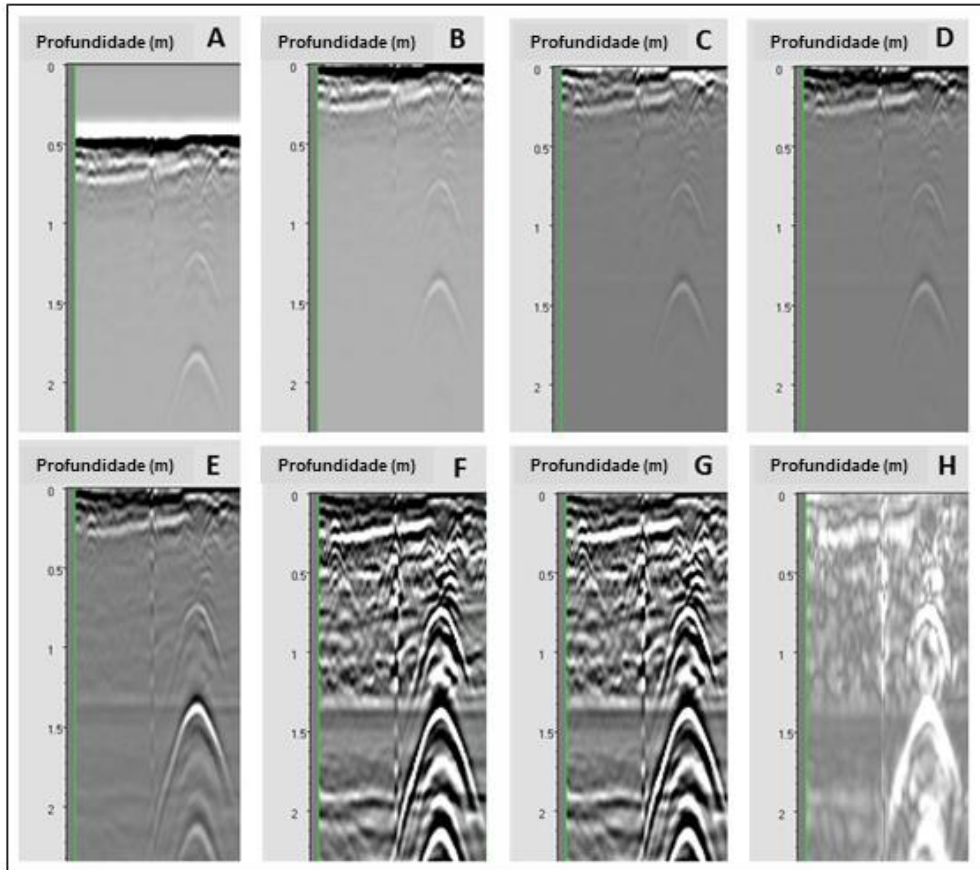


Figura 3: A- dado bruto obtido com GPR; B- aplicação do filtro “move start time”; C- aplicação do filtro “Background Removal”; D- aplicação do filtro “Vertical Bandpass Filter”; E- aplicação do filtro “Linear Gain”; F- aplicação do filtro “Smoother Gain”; G- aplicação do filtro “Vertical Bandpass Filter” e H- aplicação da Transformação de Hilbert.

Por fim, foram gerados os perfis tridimensionais do nível do lençol freático no *software* ArcScene®, onde os mesmos foram analisados levando em consideração o nível d’água (NA), os índices de pluviosidade do dia da coleta dos dados e os dados de altimetria já disponíveis [14, 15] com a finalidade de traçar um comparativo entre os mesmos e calcular o nível médio do lençol freático.

3.2. Cálculo do volume livre do solo

O volume livre do solo, que se refere ao volume de cada unidade de representação espacial (*pixel*) ao longo do perfil vertical, considerando o espaço livre entre os grãos do solo, indica o espaço a ser ocupado pela água. Para determiná-lo foram calculados os valores para o índice de vazios do solo. Esse cálculo leva em conta a área da unidade de representação (A), a diferença vertical entre o nível do solo e o nível do lençol (h) e o percentual de vazios (ν_V) para o tipo de solo presente na região estudada. O volume livre do solo é dado pela Equação 1.

$$Volume_{livre} = A \times h \times \nu_V \quad (1)$$

A área de representação espacial corresponde à área de interesse, e foi obtida a partir de um polígono pré-definido como área de estudo. A diferença entre o nível do solo e o nível do lençol freático foi obtida a partir dos dados de GPR. Por fim, o volume de vazios foi estimado a partir da granulometria média do solo local (areia fina), considerando o volume de vazios como o espaço entre os interstícios dos grãos do solo. Os pontos de amostragem de solo foram selecionados de

forma distribuída em uma malha regular, preservando uma distância média entre os locais de coleta de entorno de 50 m.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de GPR possibilitaram uma estimativa, de forma não invasiva ao solo, da posição do nível da água (N.A) (Figuras 4A, 4B e 4C). As posições de nível do lençol freático, tanto superficial quanto profundo, corroboraram com os valores medidos *in situ* obtidos através da escavação de poços de observação, com uso de trado manual e trena, em pontos distribuídos ao longo da malha amostral. Esse procedimento de validação dos dados foi necessário tendo em vista que a área estudada possui um solo composto predominantemente por areia fina, mas devido aos constantes aterros nas vias, que buscam minimizar os efeitos dos alagamentos, a composição do solo também apresenta correspondentes de areia média, saibro e até mesmo restos de construção civil, materiais estes que possuem uma permissividade dielétrica e condutividade elétrica com valores diferentes. Esses parâmetros têm relação direta com a atenuação e propagação das ondas emitidas. Para altas frequências, [16] destacam que a permissividade dielétrica é dominante. Porém, vale ressaltar que quanto maior o conteúdo de água presente no solo, maior é a atenuação da onda, ou seja, maior é a permissividade dielétrica do material.

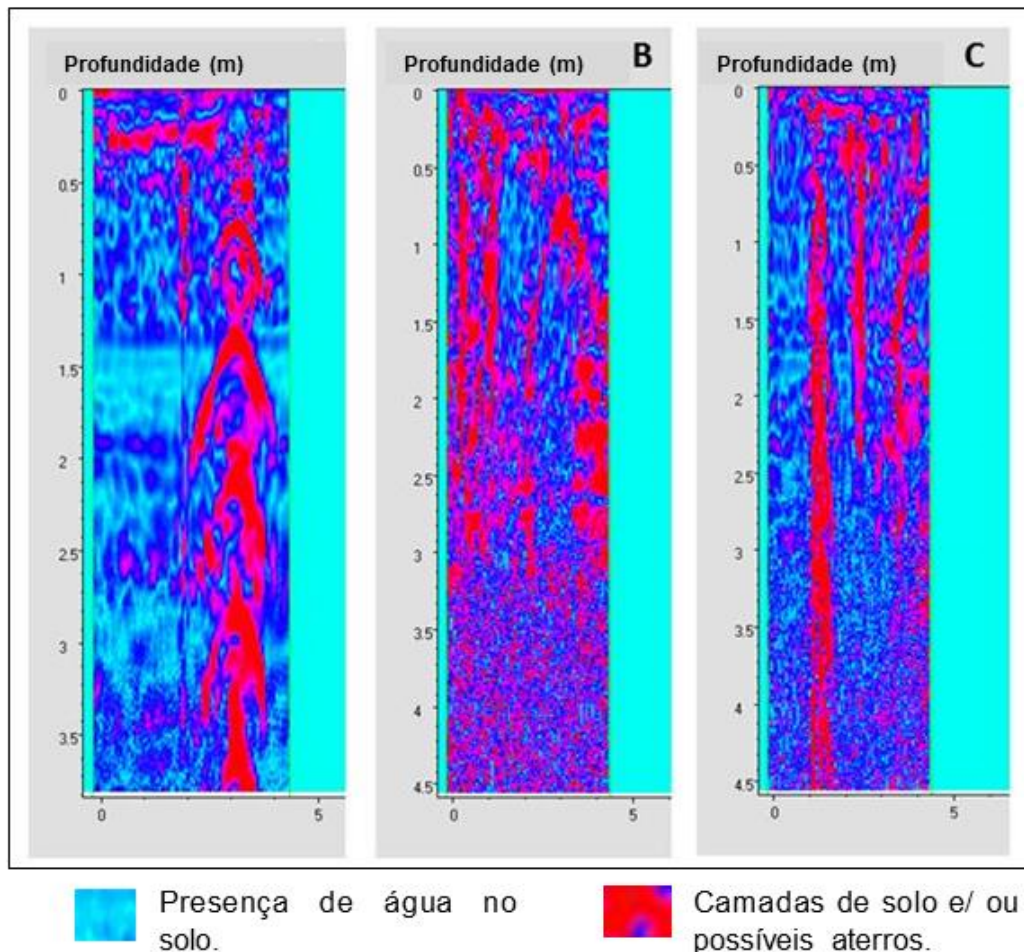


Figura 4: A- Perfil do lençol freático visível; B- Perfil do lençol freático saturado e C- Perfil do lençol freático elevado.

A partir das interpolações dos valores de altitude do terreno e níveis do lençol freático raso e profundo com uso do método IDW, foi possível gerar mapas sobre o comportamento do lençol freático ao longo da localidade. O IDW se baseia em um modelo determinístico de efeito local, onde cada ponto da superfície é definido utilizando a interpolação dos pontos mais adjacentes na

malha amostral [15]. A escolha do interpolador IDW ocorreu em virtude do mesmo preservar os valores coletados, ao gerar novos dados através de médias ponderadas dos pontos mais próximos. De acordo com os modelos gerados foi observado que o lençol freático possui um caráter superficial, ou seja, o limite entre a porção vadosa do solo e a zona saturada está localizado muito próximo da superfície do terreno apresentando valores médios da ordem de apenas 0,59 m de profundidade (Figura 5B). Para o lençol freático profundo, porção completamente saturada do solo, o nível médio estimado através do GPR foi de 1,37 m (Figura 5C). Nesse último caso, devido a limitação de sondagem empregada neste estudo, não foi possível aferir diretamente através dos poços de observação *in situ* tais valores, tendo apenas a medição indireta obtida por meio do georadar.

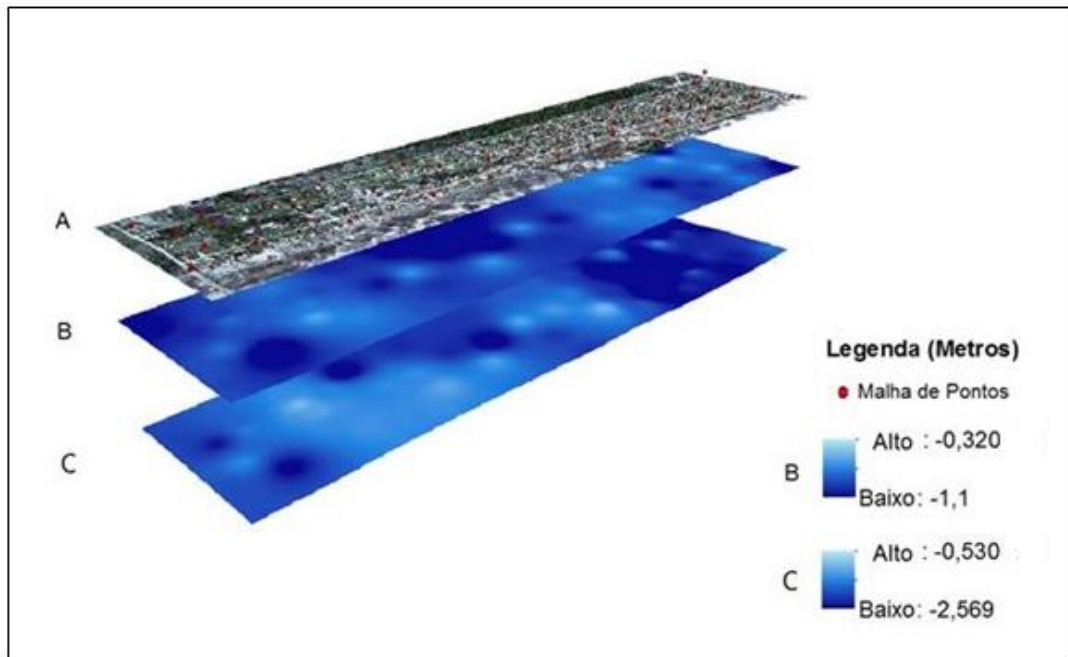


Figura 5: A- imagem de satélite da área de estudo; B- Interpolação de dados de profundidade do lençol freático raso e C- Interpolação de dados de profundidade do lençol freático profundo.

De acordo com estudos prévios realizados na região sul do Rio Grande do Sul, com a elevação do nível do mar em função de fatores meteorológicos, pode ocorrer alterações no comportamento do lençol freático, o que pode também ocasionar mudanças no sentido do escoamento das águas subterrâneas. A propagação do sinal eletromagnético depende da frequência do sinal transmitido e das propriedades elétricas dos materiais, as quais são principalmente dependentes do conteúdo de água presente no solo [17]. Quanto maior o conteúdo de água no solo, maior será a atenuação do sinal da onda eletromagnética, o que torna o GPR um equipamento ideal para monitoramento de lençóis freáticos.

Porém, como não se sabe como as propriedades elétricas dos materiais em que os campos elétricos e magnéticos atuam, é necessário substituir os valores das propriedades elétricas e magnéticas do material no processo de tratamento dos dados. Vale levar em consideração o fato de que os índices pluviométricos refletem na elevação gradual do nível do lençol freático. Até novembro de 2016, o volume médio acumulado de chuvas foi de 133,6 mm e, o volume acumulado para 15 dias anteriores à coleta dos dados foi de 33 mm. Os índices pluviométricos refletem na elevação gradual do nível do lençol freático e, com o aumento do nível do lençol freático, condições de saturação do solo da praia são promovidas, capazes de potencializar o impacto das marés meteorológicas [8].

Em relação à capacidade de absorção de água pelo solo, foi gerado um modelo com base em dados de altitude, volume livre do solo e profundidade do lençol freático raso. A partir dos dados modelados foi possível observar que o solo apresenta um maior índice de vazios nas regiões onde o lençol freático é mais profundo. Em contrapartida, as localidades onde o solo apresenta uma

menor capacidade de absorção da água da chuva há uma maior suscetibilidade a alagamentos, se for levada em consideração apenas a variável profundidade do lençol freático (figura 6).

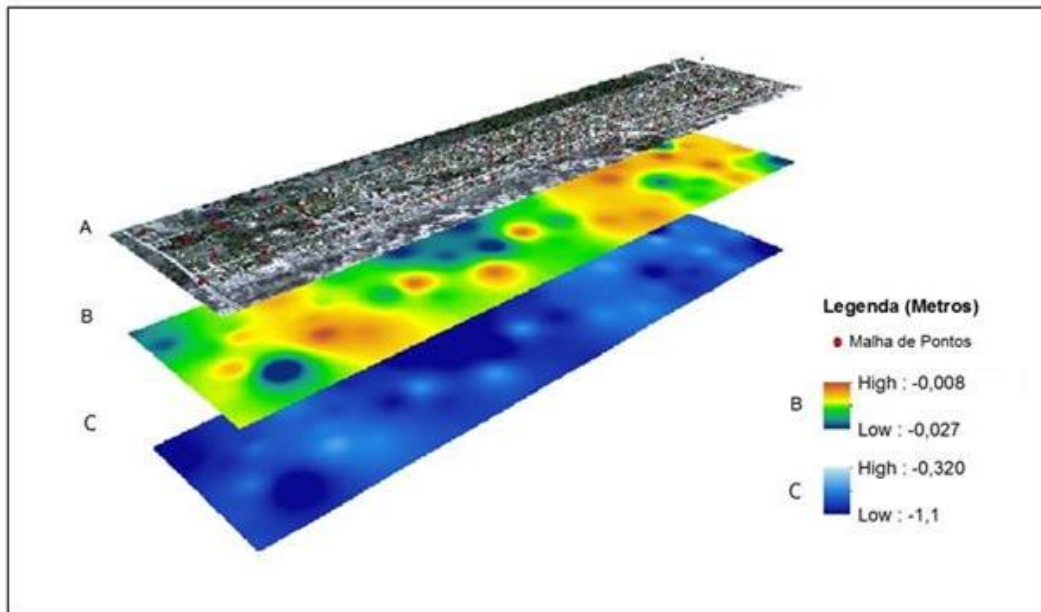


Figura 6: Modelagem contendo as interpolações dos níveis freáticos raso e profundo.

A saturação do solo (redução brusca da zona vadosa ou de aeração) como consequência do alagamento de uma região, ocorre quando o aporte de água corresponde ao volume livre do solo. Para o volume livre do solo, os dados apresentam um limiar de alagamento de 108,78 mm. Esse valor reflete, a partir do solo presente na área de estudo e características como altitude do terreno e profundidade do lençol, qual a capacidade máxima de absorção de água do solo. Para a localidade em questão, um acúmulo pluviométrico acima desse limiar configura uma situação de alta suscetibilidade a alagamento generalizado. A partir dessa condição surge o acúmulo superficial de água e a formação das zonas alagadas, primeiramente nas áreas de topografia mais baixa, principalmente em vias mais baixas ou planas, onde a competência da drenagem é naturalmente comprometida.

5. CONCLUSÃO

Para a localidade estudada, os dados de georadar corroboraram com os valores de nível médio do lençol freático superficial, obtidos a partir de escavações com trado manual e aferição através de trena em pontos de observação ou pontos de controle. Com o uso do GPR também foi possível estimar a profundidade do lençol freático profundo, inacessível através da sondagem simples promovida pelos poços. Para as regiões próximas ao campo de dunas, tanto o lençol freático raso quanto profundo apresentaram um nível muito superficial. Em contrapartida, as localidades próximas a banhados apresentaram um lençol freático mais profundo. Cabe destacar que esses resultados estão limitados ao período em que foram realizados, ou seja, a descarga e escoamento dos canais hidrográficos, além do próprio deslocamento subsuperficial da água estão condicionados ao recorte temporal desta análise sendo altamente recomendável uma série de dados que comporte outros períodos e sazonalidades para uma efetiva caracterização do comportamento da zona vadosa e de eventuais oscilações do lençol freático.

No que diz respeito aos índices de vazios, as localidades que apresentaram um lençol freático mais profundo apresentaram também um maior índice de vazios. As localidades que apresentaram uma menor capacidade de absorção da água da chuva apresentaram uma maior suscetibilidade a alagamentos. A saturação do solo ocorre quando o aporte de água corresponde ao volume livre do solo. Para as regiões estudadas, o limiar de alagamento encontrado foi da ordem de 108,78mm de chuva.

Os conceitos de lençol freático e sedimentos estão diretamente ligados ao de drenagem urbana, de modo que este estudo se torna relevante para a identificação de áreas mais suscetíveis a alagamentos, ao inferir o nível médio do lençol freático e o espaço presente no solo referente a absorção da água em episódios de intensa precipitação. Nesse sentido, a geração de perfis e mapas de subsuperfície serve de suporte para estudos futuros, principalmente aqueles que visam à gestão do escoamento das águas e implantação de sistemas de drenagem no balneário Cassino a fim de minimizar os impactos negativos oriundos dos alagamentos.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Campus Rio Grande, pelo apoio logístico e financeiro dado ao projeto.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Souza RT. Aspectos fundamentais a compreensão da hidrogeologia costeira em uma área de Pontal do Sul – PR [dissertação]. Curitiba (PR): Universidade Federal do Paraná; 2010. 98 p.
2. Souza MM. Uso de georadar (GPR) em investigações ambientais [dissertação]. Rio de Janeiro (RJ): Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; 2005. 105 p.
3. Neal A, Pontee NI, Pye K, Richards J. Internal structure of mixed sand and gravel beach deposits revealed using ground-penetrating radar. *Sedimentology*. 2002;49:789-804.
4. Davis JL, Annan A. Ground penetration radar for high resolution mapping of oil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*. 1989;37:531-551.
5. Rebouças AC. Água doce no mundo e no Brasil. In: Rebouças AC et al., editores. *Águas doces no Brasil – capital ecológico, uso e conservação*; 2002, São Paulo, SP; 2ª edição.
6. Ferreira ANP, Lima CF, Cardoso FBF, Kettelhut JT. Águas subterrâneas um recurso a ser reconhecido e protegido. *Secretária de Recursos Hídricos e Ambiente*; 2007.
7. Serpa CG. Morfodinâmica praial relacionada à presença de corpos de água intermitentes em duas praias da costa do Rio Grande do Sul, Brasil [tese]. Rio Grande (RS): Universidade Federal do Rio Grande; 2013. 131 p.
8. Serpa CG, Fontoura JAS, Calliari LJ, Albuquerque MG, Baldez AL. Resultados preliminares do monitoramento em regime de alta frequência de um sangradouro da praia do Cassino, Brasil – gênese e extinção. *Anais do seminário de Engenharia Oceânica*, 2008; Rio Grande, RS. p. 1-14.
9. Ávila CL. Estudo do comportamento do fluxo subterrâneo, sua interação com a intrusão salina e com os fenômenos atmosféricos típicos da região - aplicação à praia do Cassino, Brasil. *Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica da Universidade Federal do Rio Grande – FURG*; 2012. 86 f.
10. Serpa CG, Romeu MAR, Fontoura JAS, Albuquerque MG, Baldez AL. Study of the responsible factors for the closure of an intermittent washout during a storm surge, Rio Grande do Sul, Brazil. *Journal of Coastal Research*. 2011;64(SI):2068-2073.
11. Ferguson G, Gleeson T. Vulnerability of coastal aquifers to groundwater use and climate change. *Nature Climate Change*, vol. 2, 2012. 4 p.
12. Site da Prefeitura Municipal do Rio Grande. Disponível em: <<http://www.riogrande.rs.gov.br/pagina/index.php/atrativos-turisticos/detalhes+403b,,praia-do-cassino.html>>. Acesso em: 19 de Ago. de 2016.
13. Site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados do Censo 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/>>. Acesso em: 28 de Out. de 2017.
14. Leal Alves DC. Análise da vulnerabilidade dos bairros Querência - Atlântico Sul e Hermenegildo (RS) a partir de indicadores geomorfológicos e antrópicos [dissertação]. Rio Grande (RS): Universidade Federal do Rio Grande; 2013. 104 p.
15. Leal Alves DC, Gandra TBR, Albuquerque MG, Espinoza JMA, Göbel CF. Metodologia de coleta e tratamento de dados topográficos para elaboração de modelos digitais de elevação do terreno em áreas urbanas. *Scientia Plena*. 2015;11(2):1-7.
16. Ward SH, Hohmann GW. Electromagnetic theory for geophysical applications. In: Nagighian MN, editor. *Electromagnetic methods in applied geophysics, society of exploration geophysicists*, 1987, Oklahoma; p. 131-311.
17. Topp GC, Davis JL, Annan AP. Eletromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research*. 1980;16(3):574-582.