

Nível freático e caracterização do solo em área de expansão imobiliária no município de Pelotas-RS

Márcio da Fonseca Martins⁽¹⁾,
Luis Eduardo Akiyoshi Sanches Suzuki⁽²⁾,
Idel Cristiana Bigliardi Milani⁽³⁾,
Fabrício de Araújo Pedron⁽⁴⁾ e
Marcelo Adriano Duart⁽⁵⁾

Data de submissão: 31/3/2024. Data de aprovação: 20/8/2024.

Resumo – Em uma obra de engenharia, muitas vezes é necessário conhecer, além das características físicas e químicas do solo, a posição e a dinâmica do lençol freático diante das precipitações pluviométricas. Neste sentido, o objetivo do presente estudo foi avaliar o nível freático, estabelecendo relações com as precipitações pluviométricas e com o tipo de solo em uma área sob construção civil no município de Pelotas, Rio Grande do Sul. Para tanto, foram feitos três furos de sondagem em pontos distintos do canteiro de obras, instalando tubo de policloreto de vinila (PVC) para medição do nível freático. As precipitações pluviométricas foram obtidas a partir dos dados do Boletim Climatológico Mensal da Embrapa Clima Temperado. A análise do solo foi feita pela descrição morfológica e a caracterização física e hídrica foi realizada sob as amostras coletadas em trincheiras. A partir dos resultados observados, constatou-se que o nível freático sofreu variação em decorrência das precipitações nos três furos de sondagem. Identificou-se que o lençol freático é superficial e o solo é hidromórfico. As informações apresentadas neste trabalho podem fornecer subsídios ao gerenciamento das águas subterrâneas no município e ao adequado ordenamento da expansão imobiliária, como forma a não comprometer as águas subterrâneas, contribuir para a recarga destas águas e evitar os alagamentos na região.

Palavras-chave: Banhado. Lençol freático. Precipitação pluviométrica. Solo hidromórfico.

Groundwater level and soil characterization in an area of building expansion in the municipality of Pelotas/RS

Abstract – In an engineering project, it is often necessary to know, beyond the physical and chemical properties of the soil, the position and dynamics of the groundwater according to the rainfall. In this sense, the objective of this study was to monitor the groundwater level, establishing relationships with rainfall and soil type in an area under construction in Pelotas city, Rio Grande do Sul. To this end, three boreholes were drilled at different points on the building site and polyvinyl chloride (PVC) pipes were installed to measure the water table. The rainfall was realized using the Climatological Monthly Bulletin of Embrapa Clima Temperado. The soil analysis was realized by morphological description and physical and water characterization was carried out on the samples collected in trenches. From the observed results, it is possible to conclude that the groundwater level varied as a result of precipitation in the

¹ Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria. [*marciofm88@gmail.com](mailto:marciofm88@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9847-177X>.

² Professor doutor do curso de Engenharia Hídrica da Universidade Federal de Pelotas. [*dusuzuki@gmail.com](mailto:dusuzuki@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4149-5583>.

³ Professora doutora do curso de Engenharia Hídrica da Universidade Federal de Pelotas. [*idelmilani@gmail.com](mailto:idelmilani@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1468-0356>.

⁴ Professor doutor do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Santa Maria. [*fapedron@uol.com.br](mailto:fapedron@uol.com.br). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5756-0688>.

⁵ Professor doutor do Instituto Federal de Santa Catarina. [*marcelo.duart@ifsc.edu.br](mailto:marcelo.duart@ifsc.edu.br). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9256-5580>.

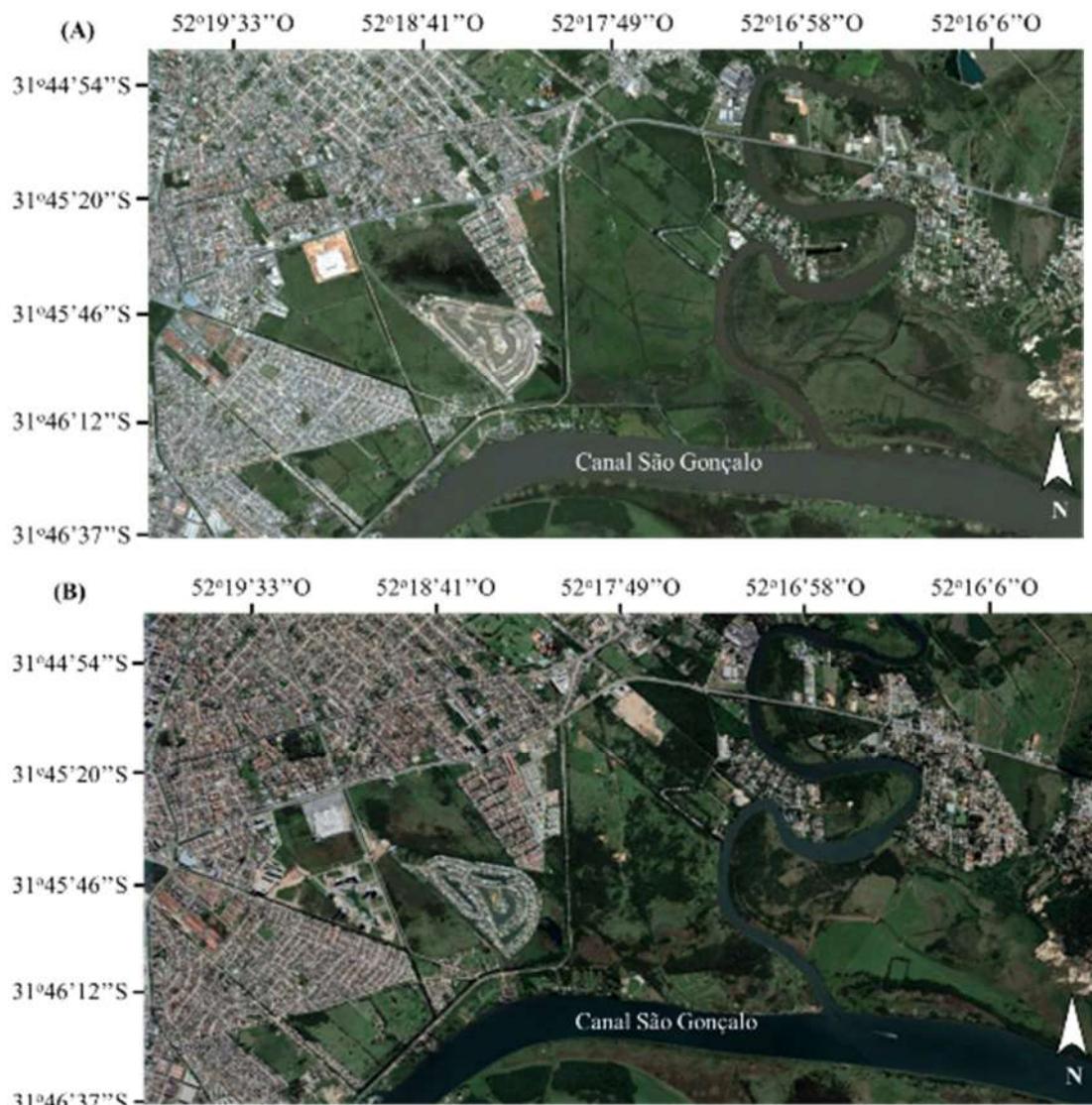
three boreholes. It was identified that the water table is shallow and the soil is hydromorphic. The information presented in this research may provide subsidies for the management of groundwater in the city, and the appropriate ordering of civil expansion, as a way to not compromise the groundwater, contribute to the recharge of this water, and avoid flooding the region.

Keywords: Bathed. Groundwater. Rainfall. Hydromorphic soil. Freatic level.

Introdução

Assim como em outras regiões do Brasil, o município de Pelotas, situado no Sul do Estado do Rio Grande do Sul, vem passando por uma significativa expansão imobiliária, e uma das regiões mais valorizadas é às margens do Canal São Gonçalo (Figura 1). Apesar do crescimento imobiliário nessa região, com a construção de um shopping center, condomínios residenciais e empreendimentos comerciais, ainda há extensas áreas não ocupadas, e há necessidade de avaliação de critérios técnicos e legislação para verificar tal possibilidade.

Figura 1 - Imagens da área urbana de Pelotas às margens do Canal São Gonçalo, demonstrando o uso e ocupação do solo em 24/10/2012 (A) e 01/04/2022 (B). Imagens do Google Earth. Sem escala.



Fonte: Google Earth (2012 e 2022)

Nesse sentido, o licenciamento ambiental será necessário quando houver intenção de instalar empreendimento ou desenvolver atividade que cause algum impacto ambiental (alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente), e dessa forma, o local em que se pretende instalar o empreendimento será avaliado para que ocorra a menor degradação ao meio ambiente (Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - FEPAM, s.d.). A resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente - CONSEMA 372/2018, que dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul (CONSEMA, 2018a), inclui diversas atividades, dentre elas o parcelamento do solo para fins residenciais. Dentro deste contexto estão as áreas de preservação permanente, que são locais de importância ecológica que devem receber tratamento e proteção especial, como por exemplo as áreas de banhado (FEPAM, s.d.).

Em 2018 foi publicada a resolução CONSEMA nº 380/2018, que dispõe sobre os critérios para identificação e enquadramento de banhados em imóveis urbanos (CONSEMA, 2018b). Em seu artigo 3º está disposto que nos imóveis urbanos são considerados banhados as extensões de terras que apresentem de forma simultânea as seguintes características:

- I – solos hidromórficos naturalmente alagados ou saturados de água por período não inferior a 150 dias ao ano, contínuos ou alternados, excluídas as situações efêmeras, as quais se caracterizam pelo alagamento ou saturação do solo por água apenas durante ou imediatamente após os períodos de precipitação;
- II – afloramento da zona de saturação do aquífero na superfície do terreno, observando o período do inciso I;
- III – ocorrência do horizonte glei nos primeiros 50 centímetros do solo.

(CONSEMA, 2018b, p. 1).

Dentre outras características, horizonte glei, citado na resolução acima, é caracterizado por redução de ferro e prevalência do estado reduzido devido, principalmente, à água estagnada, sendo um horizonte influenciado pelo lençol freático e por regime de umidade redutor (Santos *et al.*, 2018). No mapa de solos, disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Pelotas (PMP, 2019), são observadas as classes de solos presentes às margens do Canal São Gonçalo, tendo sido identificado um complexo de Gleissolo Melânico, Gleissolo Háplico, Organossolo Tiomórfico e Gleissolo Sálico, ou seja, o predomínio de solos hidromórficos.

No Plano Diretor Municipal de Pelotas, publicado em 2008 (PMP, 2008), sobre as áreas especiais de interesse do ambiente natural, consta o que segue:

Art. 51 - Áreas com atributos especiais de valor ambiental, especialmente quanto a características de relevo, solo, hidrologia, vegetação, fauna e ocupação humana, protegidas por instrumentos legais ou não, nas quais o poder público poderá estabelecer normas específicas de utilização para garantir sua preservação e conservação.

Parágrafo único: Estas áreas apresentarão diferentes níveis de proteção, com restrição ou limitação ao uso do solo e preservação de seus recursos naturais, com usos proibidos ou limitados, manejo controlado com áreas destinadas preferencialmente a pesquisa científica, ao lazer, recreação, eventos culturais, turismo e educação.

(PMP, 2008, p. 15).

Isso significa que áreas de banhado, devido as suas características, devem ser protegidas. Essas áreas, às margens do Canal São Gonçalo, possuem um importante papel na absorção da água das chuvas, evitando os alagamentos, que são intensificados pela impermeabilização do solo. No entanto, a pressão imobiliária para ocupação dessas áreas é muito grande.

Além das questões já levantadas, para execução de qualquer obra de engenharia, independentemente de suas dimensões, é necessário o conhecimento das diferentes características do solo onde ela será construída, a fim de evitar problemas futuros à obra. Nesse contexto, outro importante aspecto a se considerar é a profundidade do lençol freático no local.

Com base nas características geotécnicas de um local, é possível definir, controlar ou evitar o uso e ocupação do solo através da identificação de áreas de riscos, como aquelas suscetíveis à erosão e deslizamento, e locais com lençol freático superficial (Scheidt *et al.*, 2010).

Em obras de engenharia é importante conhecer a posição do lençol freático e suas variações de acordo com as precipitações e outros fatores climáticos (Victorino *et al.*, 2003), pois verificando que haverá interferência na obra, medidas corretivas como o rebaixamento do nível freático devem ser realizadas, para não ocorrer problemas de infiltração de água nas construções, alagamentos e rebaixamento do solo. Conforme Müller (2004), no projeto e execução de obras subterrâneas, tais como túneis, acessos, subsolos, entre outras, é fundamental conhecer o nível do lençol freático, para não haver interferência negativa durante e após o término da obra. Além disso, tendo-se um conhecimento prévio do nível do lençol freático, pode-se prever os métodos para execução da escavação e da fundação e, quando necessário, o rebaixamento do lençol freático.

A profundidade do lençol freático é uma característica que deve ser observada com critério, devido aos efeitos de contaminação e degradação da água subterrânea, além do risco de instabilidade nas edificações e obras de terraplenagem, quando o seu nível é raso ou aflorante (Nascimento, 2008). Os riscos de contaminação do lençol freático por líquidos percolados (chorume) são maiores em áreas onde ele se encontra mais próximo à superfície, pois a distância de deslocamento do contaminante até a água é menor, facilitando a contaminação. Tal situação pode ocorrer, por exemplo, em áreas próximas a cemitérios (Neira *et al.*, 2008), em lixões (Lima, 2003) e em aterros sanitários (Coelho *et al.*, 2002).

Diante do exposto, objetivou-se, com o presente estudo, monitorar o nível freático, estabelecendo relações dessa variável com as precipitações pluviométricas e com as características do solo em uma área de expansão imobiliária no município de Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

Materiais e métodos

O presente estudo foi realizado em uma área no bairro Areal, município de Pelotas, estado do Rio Grande do Sul, durante a etapa de construção de uma edificação de finalidade comercial. No período de 22/06/2012 a 21/09/2012 monitorou-se o nível freático e, em áreas adjacentes ao empreendimento, realizou-se a descrição morfológica do solo e coleta de amostras para análises em laboratório. Em 2022, dez anos após a primeira fase do estudo, ele foi retomado em outra área próxima aos pontos de monitoramento do nível freático. A área de estudo situou-se dentro das coordenadas geográficas 31°45'34"S e 31°45'58"S e, 52°19'25"O e 52°18'54"O.

Para o monitoramento do nível freático foram feitos três furos de sondagem, em três pontos distintos do canteiro de obras, distanciados cerca de 100 m um do outro, utilizando uma broca perfuratriz manipulada por um guincho acoplado a um caminhão. Em cada furo, a broca perfurou o solo até atingir o nível freático. As cotas de nível do terreno para cada furo de sondagem, que correspondeu ao poço de monitoramento, foram obtidas com auxílio de estação total. A cota obtida para o primeiro poço foi de 3,60 m, para o segundo, 2,25 m, e para o terceiro, 2,20 m.

A profundidade do nível freático variou de um poço para o outro. O nível freático do primeiro poço foi encontrado a 3,36 m de profundidade, a do segundo a 5,07 m e a do terceiro a 5,5 m. A área onde foram feitos os poços de monitoramento foi aterrada com mais de um metro de solo para construção da obra devido às características do solo (Figura 2), e os poços foram instalados com o aterramento.

Figura 2. Imagens da construção do empreendimento sobre aterramento de solo laterítico. Imagens de julho de 2012 (A) e junho de 2013 (B).



Fonte: Autores (2012 e 2013)

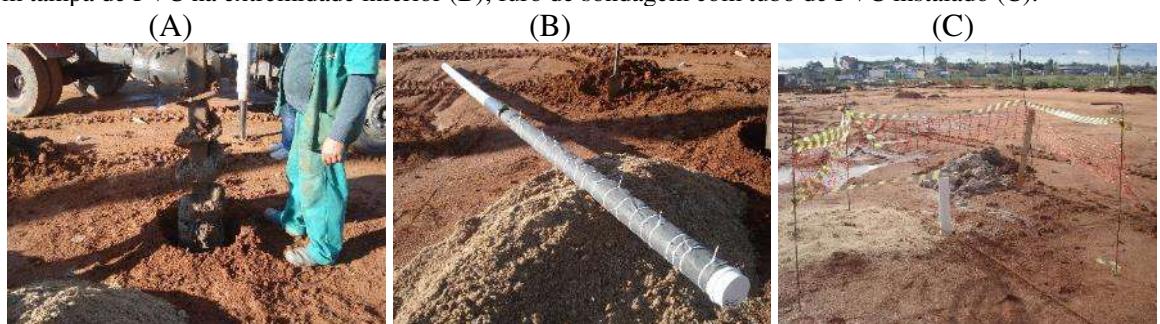
Em cada furo de sondagem foi introduzido um tubo de policloreto de vinila (PVC), de 100 mm de diâmetro e 6 m de comprimento. A extremidade inferior dos tubos foi vedada colando-se uma tampa de PVC. Foram feitas ranhuras para permitir a entrada de água em quase toda a extensão dos tubos, exceto na sua parte superior. Em seguida, os tubos foram envolvidos com manta geotêxtil, para impedir a passagem de solo pelas ranhuras.

Após a introdução dos tubos no solo, estes foram cortados de modo que cada um deles ficasse com a parte superior 0,50 m acima do nível do terreno com o aterramento. Dessa forma, o tubo do primeiro furo de sondagem ficou com 3,86 m de comprimento, o segundo, com 5,57 m, e o terceiro não foi cortado, permanecendo com 6 m de comprimento.

Com os tubos devidamente instalados dentro de cada furo de sondagem, preencheu-se o espaço entre o tubo e a parede do furo com uma extensa camada de areia média lavada, a fim de servir como filtro, e executou-se o selo de bentonita. Em decorrência da extensa camada de areia, o selo acabou finalizando o preenchimento do furo, não havendo necessidade de completar com material de preenchimento. Por fim, os tubos tiveram sua extremidade superior vedada com tampa de PVC, a fim de evitar a entrada das precipitações pluviométricas e resíduos.

A Figura 3 mostra como foi feita a perfuração dos furos de sondagem (Figura 3A), como ficou o tubo de PVC após a aplicação do geotêxtil (Figura 3B) e, por fim, como ficou um dos poços depois de pronto (Figura 3C).

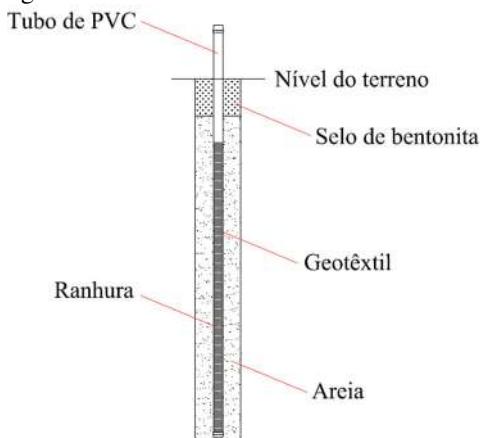
Figura 3 - Broca perfuratriz executando um dos furos de sondagem (A); tubo de PVC envolvido com geotêxtil com tampa de PVC na extremidade inferior (B); furo de sondagem com tubo de PVC instalado (C).



Fonte: Autores (2012)

A Figura 4 ilustra os detalhes construtivos do medidor utilizado para avaliar o nível do lençol freático.

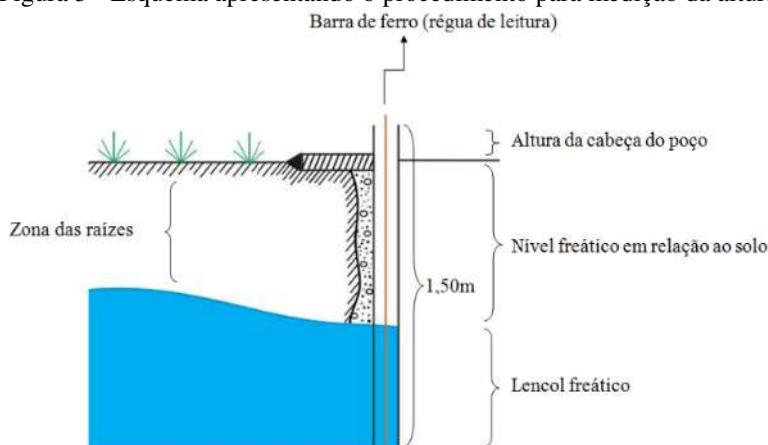
Figura 4 - Detalhes construtivos do medidor do nível freático.



Fonte: Autores (2024)

O medidor utilizado para avaliar o nível freático funcionou da seguinte forma: a água subterrânea atravessava o filtro de areia e penetrava no tubo pelas ranhuras, estabilizando-se em relação ao nível freático como um vaso comunicante. Desse modo, o nível de água no poço coincidia com o nível d'água subterrâneo. O procedimento para medição da altura do nível freático, ilustrado na Figura 5, foi feito empregando-se uma barra de ferro de 7 m de comprimento que, a cada medição, era introduzida no poço de monitoramento e retirada após alguns segundos para que se pudesse efetuar, com uso de trena, a leitura do nível de água.

Figura 5 - Esquema apresentando o procedimento para medição da altura do nível freático.



Fonte: Autores (2024)

O monitoramento do nível freático foi realizado no período de 22/06/2012 a 21/09/2012, totalizando 51 medições. O período de medição ocorreu durante a estação do inverno. As medições foram realizadas diariamente, no período da tarde, exceto aos sábados e domingos.

A fim de estabelecer uma relação entre a variável nível freático e as precipitações pluviométricas ocorridas no período considerado, consultou-se para o município de Pelotas o Boletim Climatológico Mensal da Embrapa Clima Temperado (Estação Agroclimatológica de Pelotas, s.d.). Segundo esse boletim, a estação do ano de 2012 que acumulou a maior precipitação pluviométrica foi o inverno.

Em duas áreas adjacentes (perfil 1 e perfil 2), próximas aos pontos de monitoramento do nível freático, foi aberta uma trincheira em cada área para coleta de solo para análises físicas e hídricas e descrição morfológica do solo. As áreas possuíam como vegetação campo e plantas espontâneas. As avaliações no perfil 1 foram realizadas em 07/08/2012, dentro do período em que o nível freático estava sendo monitorado, enquanto o perfil 2 foi avaliado em 01/04/2022,

dez anos após a primeira fase do estudo. A retomada do estudo em 2022 ocorreu pela observação do avanço dos empreendimentos imobiliários na região próxima ao perfil 1 (avaliado em 2012).

A descrição morfológica do solo dos perfis foi realizada de acordo com o “Manual de descrição e coleta de solo no campo” (Santos *et al.*, 2005). Foram analisados os seguintes aspectos morfológicos do solo: grau de transição, forma da transição, cor úmida, cor seca, estrutura, cerosidade, consistência seca, consistência úmida, plasticidade, pegajosidade e presença de mosqueados.

Na trincheira, amostra de solo com estrutura alterada foi coletada em cada horizonte definido no perfil de solo no campo, armazenadas em sacos plásticos e encaminhadas ao laboratório para análise da distribuição das partículas do solo por tamanho.

A distribuição das partículas do solo por tamanho, em amostras passadas em peneira de malha de 2,0 mm, foi realizada pelo método da pipeta (Gee; Or, 2002), cuja dispersão foi realizada por agitador horizontal com 120 rpm durante 4 horas, utilizando vidros de 100 mL contendo 20 g de solo, 10 mL de NaOH 6% (dispersante químico), 50 mL de água destilada e duas esferas de nylon com peso de 3,04 g, diâmetro de 1,71 cm e densidade de 1,11 g cm⁻³ (Suzuki *et al.*, 2015). A argila (partículas de diâmetro menor que 0,002 mm) foi determinada por pipetagem, a areia foi separada por peneiramento em areia muito grossa (diâmetro entre 2 a 1 mm), areia grossa (diâmetro entre 1 a 0,5 mm), areia média (diâmetro entre 0,5 a 0,25 mm), areia fina (diâmetro entre 0,25 a 0,125 mm) e areia muito fina (diâmetro entre 0,125 a 0,05 mm), e o silte (diâmetro entre 0,053 a 0,002 mm) foi calculado pela diferença entre o somatório das frações areia e argila. A concentração de cascalho foi determinada apenas para o perfil 2, seguindo procedimento indicado por Fontana *et al.* (2017), pegando-se uma porção de solo que foi pesado, destorrado e passado em peneira de malha de 2,0 mm. O solo retido na peneira permaneceu em uma solução de NaOH 6% e água durante uma noite, e no dia seguinte o material foi lavado na mesma peneira, e o que permaneceu retido foi seco em estufa a 105°C e pesado para quantificação da concentração de cascalho na amostra de solo.

Apenas para o perfil 2, também foi quantificada a argila dispersa em água (ADA), seguindo os mesmos procedimentos para determinação da distribuição das partículas do solo por tamanho, mas sem o uso do dispersante químico e quantificação da areia e silte.

O grau de floculação (GF, %) do solo foi calculado através da relação entre a argila total (%) e argila dispersa em água (ADA, %), conforme a equação abaixo:

$$GF = [(argila\ total - ADA)/argila\ total] \times 100$$

Com base na curva de distribuição granulométrica de cada horizonte do perfil 2, foram calculados os seguintes parâmetros para solos granulares para classificá-lo no sistema unificado (Pinto, 2006):

$$CNU = D_{60}/D_{10}$$

Onde: CNU = coeficiente de não uniformidade; D₆₀ e D₁₀ = diâmetro abaixo do qual se situam, respectivamente, 60 e 10% em peso das partículas na curva de distribuição granulométrica.

$$CC = D_{30}^2/(D_{10} \cdot D_{60})$$

Onde: CC = coeficiente de curvatura; D₆₀, D₃₀ e D₁₀ = diâmetro abaixo do qual se situam, respectivamente, 60, 30 e 10% em peso das partículas na curva de distribuição granulométrica.

O coeficiente de permeabilidade (k, cm s⁻¹) foi obtido pelo diâmetro efetivo do solo (D_{efetivo} = D₁₀), conforme equação abaixo desenvolvida por Allen Hazen em 1982:

$$k = 100 * D_{\text{efetivo}}^2$$

Onde: $D_{\text{efetivo}} = D_{10}$ = diâmetro abaixo do qual se situam 10% em peso das partículas na curva de distribuição granulométrica, cm.

Determinou-se ainda para o perfil 2 a densidade de partículas, utilizando as amostras com estrutura alterada, pelo método do balão volumétrico (Viana *et al.*, 2017).

Para o perfil 2, o formato da areia foi analisado através de microscópio digital modelo U1000X. Neste mesmo perfil, na camada média de cada horizonte também foram coletadas amostras de solo com sua estrutura preservada em cilindros de aço inox com 3 cm de altura e 4,70 cm de diâmetro. Em cada horizonte foram coletados quatro cilindros. No primeiro horizonte, ele foi dividido nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm para coletas dessas amostras para cálculo da condutividade hidráulica a campo.

As amostras de solo com estrutura preservada foram encaminhadas ao laboratório onde foram pesadas para determinação da umidade volumétrica, após este procedimento elas foram saturadas por capilaridade durante cerca de 48 horas, em seguida foram pesadas e encaminhadas à mesa de tensão de areia, onde foi aplicada a tensão de 6 kPa durante 48 horas. Antes das amostras serem encaminhadas à estufa, foi quantificada a condutividade hidráulica do solo saturado em laboratório, utilizando-se um permeímetro de carga constante (Libardi, 2005). Ao final de todo o processo, elas foram encaminhadas à estufa a uma temperatura de 105°C durante 48 horas, para cálculo da densidade do solo (Blake; Hartge, 1986), da macroporosidade (poros de diâmetro maior que 50 μm), da microporosidade (poros de diâmetro menor que 50 μm), da porosidade total.

A campo, no perfil 2, foi determinada a condutividade hidráulica, conforme Bagarello *et al.* (2004), utilizando um cilindro de PVC com 14,5 cm de diâmetro e 25 cm de altura, sendo cravado 15 cm no solo. Foi colocado no cilindro 330 ml de água e anotou-se o tempo necessário para toda a água infiltrar no solo. Dois pontos foram analisados no entorno da trincheira. A condutividade hidráulica foi calculada pela seguinte equação:

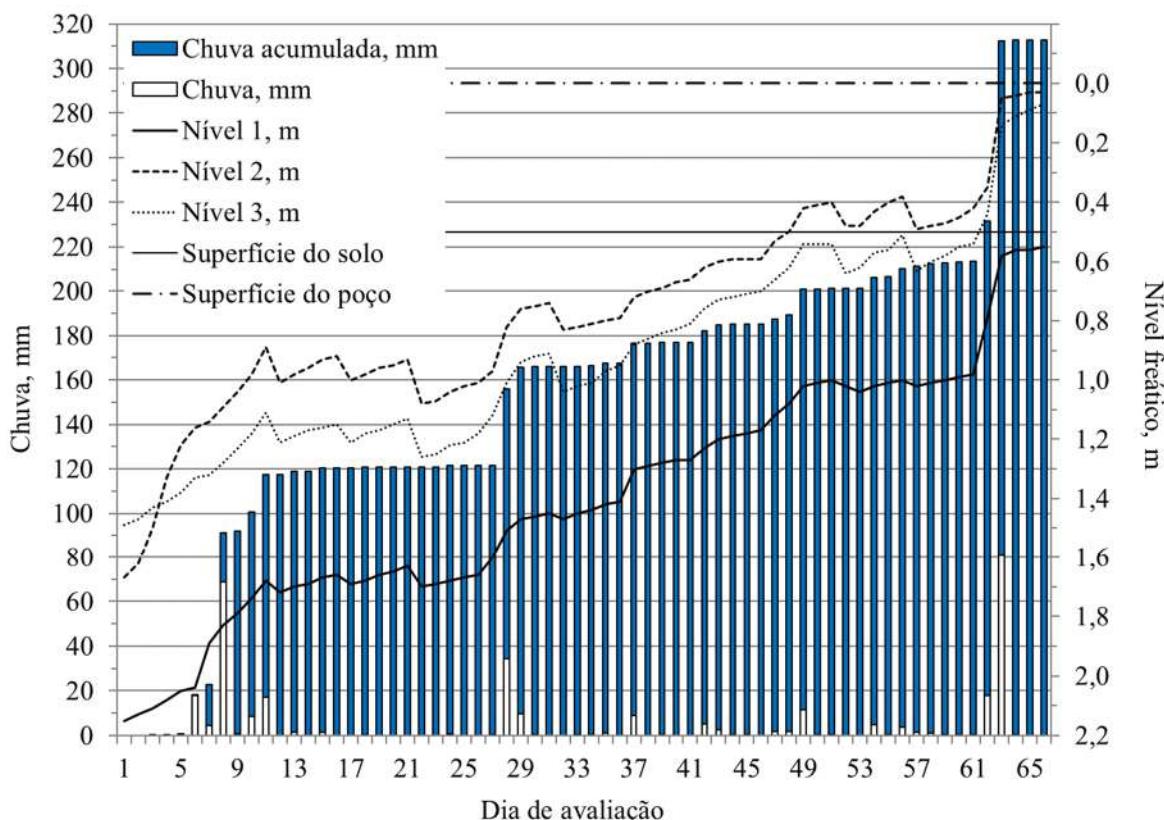
$$K = \frac{\Delta\theta}{(1 - \Delta\theta)t\alpha} \left[\frac{D}{\Delta\theta} - \frac{(D + \frac{1}{\alpha^*})}{(1 - \Delta\theta)} \ln \left(1 + \frac{(1 - \Delta\theta)}{\Delta\theta(D + \frac{1}{\alpha^*})} \right) \right]$$

Sendo: K = condutividade hidráulica do solo, m s^{-1} ; $\Delta\theta$ = diferença entre conteúdo de água no campo e após saturação em laboratório, $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$; $t\alpha$ = tempo requerido para a água infiltrar, segundos; D = relação entre volume de água/área do PVC; α^* = parâmetro do comprimento do capilar macroscópico, proposto por Reynolds e Elrick (2002), sendo utilizado 12.

Resultados e discussões

A Figura 6 apresenta os valores de chuva, chuva acumulada e o nível freático dos três poços de observação no período compreendido entre 22/06/2012 a 21/09/2012. Na Figura 6, a superfície do poço de observação (tubo de PVC) do nível freático está a 0,0 m, e a superfície do solo a 0,50 m, pois a parte superior do tubo de PVC ficou a 0,50 m acima da superfície do solo com aterramento. Cabe salientar que os poços foram instalados com o aterramento, ou seja, acima da superfície do solo original há uma camada maior que 0,50 m de aterro com solo laterítico.

Figura 6 - Valores de chuva, chuva acumulada e nível freático dos três poços de observação (Nível 1, 2 e 3) no período compreendido de 22/06/2012 (dia de avaliação 1) a 21/09/2012 (dia de avaliação 66), em Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.



Fonte: Autores (2024). Os dados de chuva utilizados nessa figura foram obtidos no Boletim Climatológico Mensal da Embrapa Clima Temperado (Estação Agroclimatológica de Pelotas, s.d.).

Dentro do período de avaliação do nível freático, no terceiro dia em que foi avaliado (26/06/2012) ocorreu a primeira chuva, de 0,30 mm. A chuva acumulada ao final do período de avaliação foi de 312,70 mm (Figura 6). O poço de monitoramento 1 foi o único que não apresentou seu nível freático acima da superfície do solo com aterramento, possivelmente por estar em uma cota (3,60 m) superior aos demais poços (cota de 2,25 m para o segundo poço e 2,20 m para o terceiro poço). Nesse sentido, essa observação está de acordo com Ramos *et al.* (2009), que apontam que o nível freático tende a acompanhar o perfil topográfico do local.

No poço 1 o nível freático mais próximo da superfície do solo foi obtido a 0,05 m no dia 21/09/2012, e o mais distante da superfície foi de 1,65 m no dia 22/06/2012. No poço 2 o nível freático mais próximo da superfície foi no dia 28/08/2012, a nível 0 m, ou seja, no mesmo nível da superfície do tubo. Neste mesmo ponto, no dia 21/09/2012 o nível foi de 0,03 m próximo da superfície superior do tubo de PVC, o que significa que o nível freático neste ponto ficou acima da superfície do solo aterrado. No dia 22/06/2012 obteve-se o nível mais distante da superfície, com 1,17 m. De forma semelhante, no poço 3 o nível alcançou 0,01 m da superfície do solo no dia 07/09/2012 e 0,07 m próximo da superfície superior do tubo de PVC no dia 21/09/2012, indicando também que o nível freático ficou acima da superfície do solo, já o nível mais profundo em relação a superfície do solo foi de 0,99 m no dia 22/06/2012 (Figura 6).

O nível freático dos três poços avaliados seguiu uma tendência crescente, acompanhando a chuva acumulada, concordando com Victorino *et al.* (2003) que afirmam que a variação existente na profundidade do nível freático deve-se às chuvas. A chuva é a mais importante fonte de recarga, que pode penetrar diretamente no solo e percolar para a zona de águas

subterrâneas, embora a recarga de aquíferos também possa ocorrer pela infiltração de rios, canais e lagos e por fenômenos induzidos por atividades humanas, como irrigação e a urbanização (Martelli, 2012). Essa tendência crescente do nível freático dos três poços, com seu nível próximo à superfície, associada a um solo de baixa condutividade hidráulica, onde a água tende a infiltrar de forma muito lenta, faz com que a água da chuva se acumule na superfície do solo, causando empoçamentos (Figura 7).

Figura 7 - Imagens do local onde foi realizada a descrição morfológica do perfil 1, mostrando a água acumulada na superfície do solo (A) e ao fundo o empreendimento em construção (B). Imagens de 07/08/2012.



Fonte: Autores (2012)

Lima *et al.* (2009) indicam que em locais onde o fluxo subterrâneo é muito lento a precipitação ocorrida em um dia pode passar a contribuir com o fluxo subterrâneo semanas, meses e até anos após o evento. No dia da amostragem de solo do perfil 2, embora não fosse observado o empoçamento de água na superfície do solo, devido ao período de poucas chuvas na região, a vegetação presente na área é típica de área de banhado (conforme resolução CONSEMA nº 380/2018), como o Gravata ou Caraguatá-de-banhados, que se apresenta de forma significativa e bem distribuída na área (Figura 8).

Figura 8 - Imagens do local onde foi realizada a descrição morfológica do perfil 2 (A), e ao fundo o empreendimento da primeira fase do trabalho (onde foram feitos os poços de monitoramento em 2012) já construído (B). Cerca de dois meses após a avaliação no perfil 2, o local estava recebendo aterramento para a construção de um novo empreendimento imobiliário (C, D). Imagens de 01/04/2022 (A, B) e 14/06/2022 (C, D).





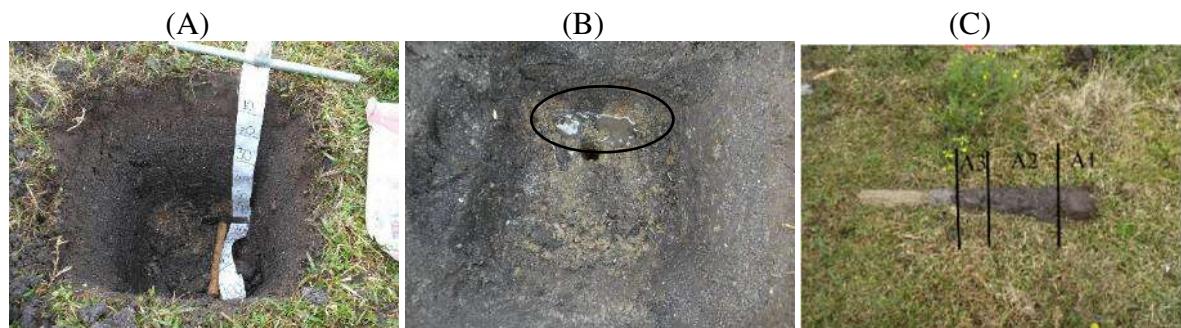
Fonte: Autores (2022)

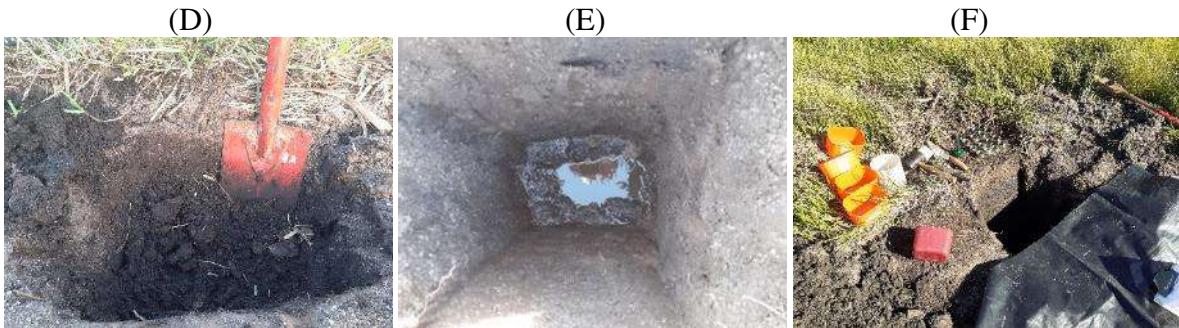
Cerca de dois meses e meio após a amostragem do perfil 2, em 14 de junho de 2022, observou-se uma máquina realizando o aterramento do local para a construção de um novo empreendimento imobiliário (Figura 8C, D). A cobertura e uso do solo (por exemplo, área agrícola, urbana, solo nu), assim como o tipo de solo e sua ocupação definirão as condições e características da recarga da água subsuperficial (Lima *et al.*, 2009). Por ser uma área de expansão imobiliária, a recarga das águas subterrâneas pode ser comprometida na região devido à redução de áreas com vegetação natural e aumento das áreas construídas e selamento do solo pela pavimentação, contribuindo para aumento dos alagamentos na região. Essas áreas naturais de baixa condutividade hidráulica contribuem para a retenção e acúmulo de água (Figura 7), realizando a absorção e infiltração lentamente.

Abaixo apresentamos a descrição morfológica do solo dos perfis 1 e 2, adjacente a área de monitoramento do nível freático, e imagens dos perfis de solo (Figura 9).

Em relação ao perfil 1, no horizonte 1 não foi possível avaliar a estrutura do solo devido à grande presença de raízes de gramíneas, e não foi possível se aprofundar no perfil além de 59 cm para fazer a análise morfológica pois o nível freático começou a aflorar. Com esse impedimento, com um trado de rosca foi coletado o solo (Figura 9B) e pode-se perceber a mudança de cor, indicando visualmente um ambiente hidromórfico e a presença do nível freático abaixo de 59 cm de profundidade (Figura 9C).

Figura 9 - Imagens do perfil 1 do solo até 0,60 m de profundidade, utilizado para descrição morfológica (A); água aflorando no perfil 1 do solo após a abertura da trincheira (B); horizontes do solo do perfil 1 “deitado” (C), e imagens do perfil 2 (D, E, F). As imagens do perfil 1 são de 07/08/2022, e do perfil 2 são de 01/04/2022.





Fonte: Autores (2012 e 2022)

Perfil 1

Horizonte 1: 0 - 5 cm; transição abrupta e plana; cor úmida 7,5YR 2,5/1; cor seca 7,5YR 4/1; classe textural franco argilo arenosa; consistência seca dura; consistência úmida friável; consistência molhada ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Horizonte 2: 5 - 42 cm; transição clara e irregular; cor úmida 2,5Y 2,5/1; cor seca 2,5Y 2,5/1; estrutura colunar; classe textural franco argilo arenosa; consistência seca muito dura; consistência úmida muito friável; consistência molhada ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Horizonte 3: 42 - 59 cm; cor úmida 10YR 4/3; cor seca 10YR 4/1; estrutura colunar; classe textural argilo arenosa; consistência seca ligeiramente dura; consistência úmida muito friável; consistência molhada ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; presença de mosquedados.

No perfil 2, ao abrirmos trincheira, verificamos que a aproximadamente 80 cm de profundidade começou a verter água no perfil e, ao retirar toda a água da trincheira, rapidamente ela enchia novamente, chegando a ficar com uma lâmina de água de 17 cm após abrir toda a trincheira, indicando a presença do nível freático na profundidade aproximada de 80 cm neste dia. Diferentemente do perfil 1, mesmo com a presença do nível freático, aprofundamos a trincheira para a coleta de solo e descrição do perfil.

Até 10 cm de profundidade observamos muitas raízes grossas, e muitas raízes finas até cerca de 35 cm, diminuindo a quantidade conforme se aprofundava no perfil. Dentro da trincheira foi possível sentir um odor suave de matéria orgânica em ambiente hidromórfico.

Perfil 2

Horizonte 1: 0 - 10 cm (13 cm); transição abrupta e ondulada; cor úmida 7,5YR 2,5/1; cor seca 7,5YR 4/1; estrutura colunar grande; classe textural franco argilosa; consistência seca muito dura; consistência úmida friável; consistência molhada ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa. Presença de mosquedados, pouco, pequeno, cor úmida 2,5YR 4/6, cor seca 2,5YR 4/6.

Horizonte 2: 10 - 35 cm; transição abrupta e plana; cor úmida 10YR 2/1; cor seca 10YR 3/1; estrutura colunar grande; classe textural franco argilo arenosa; consistência seca ligeiramente dura; consistência friável; consistência molhada ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa.

Horizonte 3: 35 - 89 cm; transição abrupta e irregular; cor úmida 10YR 2/1; cor seca 10YR 2/1; estrutura blocos subangulares grande; classe textural franco argilo arenosa; consistência seca ligeiramente dura; consistência úmida friável; consistência molhada ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa. Presença de mosquedados, pouco, pequeno, cor úmida 2,5YR 4/8, cor seca 2,5YR 4/6.

Horizonte 4: 89 – 104⁺ cm; cor úmida 7,5YR 4/1 e 10YR 7/1; cor seca 10YR 2/8 e 10YR 6/2; sem estrutura; blocos subangulares com 2 a 5 cm após seco; classe textural areia franca;

consistência seca solta; consistência úmida solta; consistência molhada não plástica e não pegajosa. Presença de mosqueados, pouco, médio, cor úmida 7,5YR 6/6.

A presença de mosqueados e a cor dos horizontes avaliados evidenciam um ambiente com presença de água, típico dos solos hidromórficos, muito comum no município de Pelotas, corroborando com as informações apresentadas por Xavier (2010) em trabalho realizado em Pelotas, onde nessa região de estudo foram identificados solos do tipo Glei Húmico e Planossolos com substrato Depósitos de Planície Lagunar, e com a análise da morfologia do solo e do nível freático superficial nos dois perfis de solo, abaixo de 59 cm no perfil 1 e 89 cm no perfil 2 nos dias de avaliação, oscilando conforme o regime de chuvas (Figura 6).

Os perfis de solo avaliados possuem horizonte glei, de acordo com o “Sistema Brasileiro de Classificação de Solos” (Santos *et al.*, 2018) e, por estarem nos primeiros 50 cm do solo, contemplam uma das características exigidas na resolução CONSEMA nº 380/2018 para imóveis urbanos serem considerados banhados, havendo a necessidade de monitoramento do nível freático por um período maior para que se verifique o tempo de saturação do solo e o afloramento da zona de saturação do aquífero na superfície do terreno ao longo do ano, para se confirmar o enquadramento destas áreas como banhado. O Gravata ou Caraguatá-de-banhados, que se apresenta de forma significativa e bem distribuída nas áreas (Figuras 7 e 8), é uma vegetação típica de área de banhado e auxilia na caracterização de banhados, conforme resolução CONSEMA nº 380/2018.

Alguns autores chamam a atenção para os riscos ambientais relacionados à expansão imobiliária em áreas com as características descritas previamente. Nunes *et al.* (2011) citam que a expansão urbana em área de mata ciliar amplia a impermeabilização do solo, com consequente aumento do escoamento superficial, enquanto Buffon (2016) reforça que as deficiências na estrutura de escoamento pluvial devido a expansão urbana sem o devido planejamento é um cenário favorável a ocorrência de inundações, podendo disseminar doenças, além de causar danos materiais. Pedron *et al.* (2004) reforçam que os solos acabam sendo afetados pelo avanço da urbanização, pois o adensamento urbano provoca a compactação dos solos, afetando a infiltração e intensificando processos relacionados a assoreamentos e a erosão, favorecendo eventos de poluição, inundações e deslizamentos, além de afetar a fauna. Além disso, Peres e Polidori (2011) reforçam que a vegetação desempenha um papel importante no microclima, enquanto seu manejo inadequado pode potencializar as ilhas de calor.

Com aumento da profundidade os teores de silte diminuem (Tabela 1), enquanto o teor de areia foi superior a 40% em todos os horizontes avaliados, alcançando valor de até 84,75%, com destaque para os elevados teores de areia muito grossa e grossa, que podem estar associados à característica sedimentar da região.

Tabela 1 - Distribuição do tamanho de partículas, considerando apenas a fração terra fina do solo (diâmetro < 2 mm) para os horizontes do solo em estudo em Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

Horizonte	Camada cm	AT	AMG	AG	AM	AF	AMF	Silte	Argila
Perfil 1									
1	0-5	51,00	8,67	8,82	13,15	10,85	9,52	27,30	21,70
2	5-42	59,97	20,07	16,18	12,25	7,15	4,32	8,38	31,66
3	42-59	58,85	20,48	16,95	11,42	5,32	4,68	5,79	35,36
Perfil 2									
1	0-10	41,58	11,42	11,23	9,42	6,18	3,33	23,25	35,17
2	10-35	72,75	27,07	23,97	13,72	5,82	2,18	6,77	20,48
3	35-89	60,38	19,68	18,43	12,33	6,98	2,95	8,23	31,38
4	89-104 ⁺	84,75	29,13	31,23	18,22	4,18	1,98	5,53	9,72

AT: areia total (diâmetro entre 2 a 0,05 mm); AMG: areia muito grossa (diâmetro entre 2 a 1 mm); AG: areia grossa (diâmetro entre 1 a 0,5 mm); AM: areia média (diâmetro entre 0,5 a 0,25 mm); AF: areia fina (diâmetro entre 0,25 a 0,125 mm); AMF: areia muito fina (diâmetro entre 0,125 a 0,05 mm).

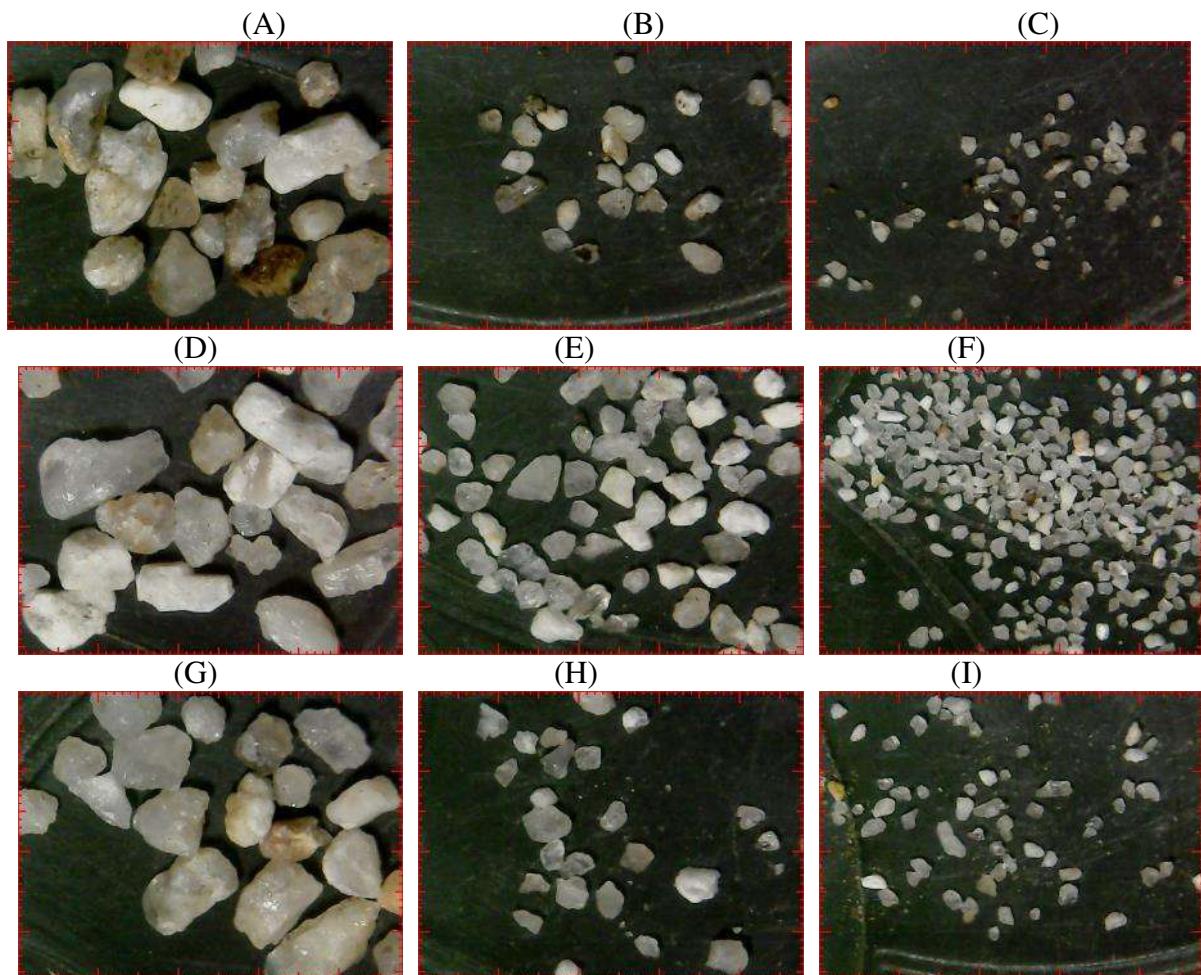
Fonte: Autores (2024)

O formato dos grãos de areia influencia no seu comportamento mecânico, pois determina como os grãos se encaixam, se entrelaçam e deslizam uns sobre os outros ao serem submetidos a uma força externa (Pinto, 2006). Além disso, segundo o autor, como as forças aplicadas no solo se transmite pelo contato entre as partículas, aquelas de formato mais angular são mais suscetíveis a se quebrarem. Quanto melhor distribuída granulometricamente a areia, melhor o entrosamento entre as partículas e, consequentemente, maior o ângulo de atrito.

Areias esféricas e arredondadas possuem ângulos de atrito menores do que as areias angulares, devido ao maior entrosamento entre as partículas quando elas são irregulares.

A forma das partículas é tão importante quanto a distribuição granulométrica, pois ela influencia especialmente as propriedades físicas do solo, como o máximo e mínimo índice de vazios do solo, parâmetros de resistência ao cisalhamento, compressibilidade etc (Das, 2007). A forma das partículas de areia varia em sub-angulosas e sub-arredondadas (Figura 10), conforme classificação de Compton (1962).

Figura 10 - Imagem das frações de areia muito grossa (A, D, G, J, respectivamente dos horizontes 1, 2, 3 e 4), grossa (B, E, H, K) e média (C, F, I, L) do perfil 2, obtida em microscópio digital modelo U1000X. Escala de 0,2 mm.





Fonte: Autores (2024)

Os solos granulares podem ser bem graduados, com grãos distribuídos ao longo de uma faixa de diâmetros extensa, ou malgraduados, onde predominam partículas de determinado diâmetro. Do ponto de vista de engenharia, os primeiros geralmente conferem ao solo melhor comportamento pois, as partículas menores ocupam os espaços entre as maiores, criando um melhor entrosamento, o que resulta em menor compressibilidade e maior resistência (Pinto, 2006).

O coeficiente de não uniformidade (CNU) indica a amplitude dos tamanhos de grãos, enquanto o coeficiente de curvatura (CC) detecta melhor o formato da curva granulométrica e possibilita identificar eventuais descontinuidades ou concentração muito elevada de grãos mais grosseiros (Pinto, 2006). Quanto maior o CNU, mais bem graduada é a areia, enquanto $CNU < 2$ tem-se areias uniformes.

Pelo coeficiente de curvatura, os horizontes 1 e 3 são considerados com curva granulométrica descontínua, quando há ausência de grãos com um determinado diâmetro ($CC < 1$), enquanto os horizontes 2 e 4 possuem curva granulométrica com tendência a ser muito uniforme na sua parte central ($CC > 3$) (Tabela 2, Figura 11). Solos bem graduados são aqueles em que a curva granulométrica desenvolve-se suavemente ($1 < CC < 3$).

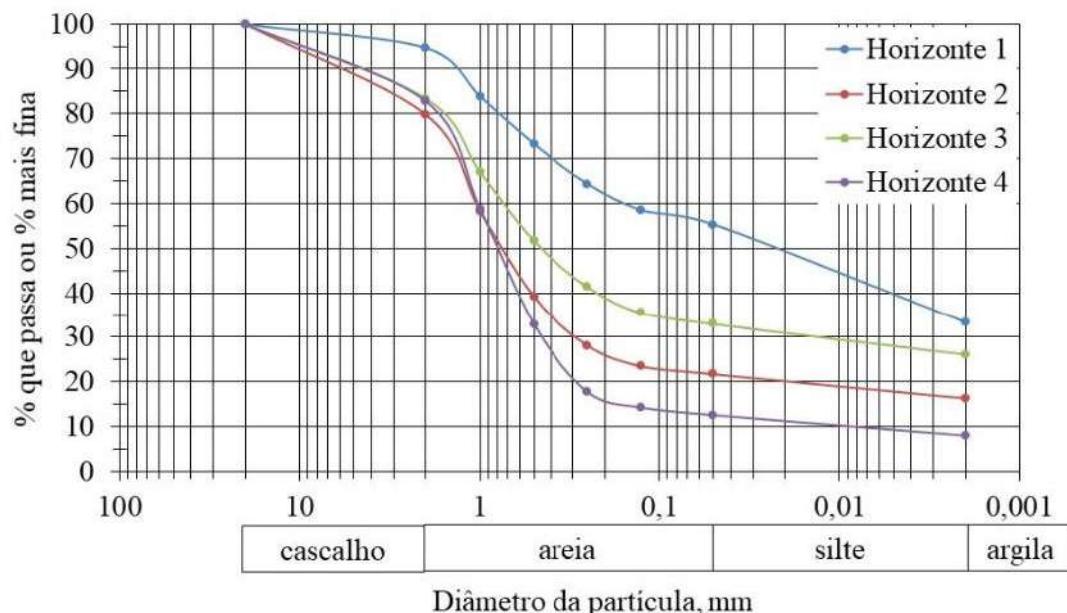
Tabela 2 - Características físicas e hídrica dos horizontes do perfil 2 em estudo em Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

Horizonte	Camada	ADA	GF	Cascalho	DP	CNU	CC	k
	cm	%	%	g kg ⁻¹	g cm ⁻³			cm h ⁻¹
1	0-10	11,63	66,94	52,83	2,22	75	0,01	1,44
2	10-35	13,01	36,24	201,39	2,38	500	45,00	1,44
3	35-89	1,11	96,47	165,52	2,07	375	0,15	1,44
4	89-104 ⁺	5,33	44,24	171,57	2,52	125	25,31	23,04

ADA = Argila dispersa em água; GF = grau de floculação; DP = densidade de partículas; CNU = coeficiente de não uniformidade; CC = coeficiente de curvatura; k = coeficiente de permeabilidade.

Fonte: Autores (2024)

Figura 11 - Curva de distribuição granulométrica dos diferentes horizontes do solo do perfil 2.



Fonte: Autores (2024)

A densidade de partículas variou entre 2,07 a 2,52 g cm⁻³ (Tabela 2). De acordo com Libardi (2005), a densidade de sólidos (ou densidade de partículas) varia entre 2,3 a 2,9 g cm⁻³ e como valor médio pode-se considerar 2,65 g cm⁻³.

Os coeficientes de permeabilidade (k) são tanto menores quanto menores os vazios nos solos e, consequentemente, quanto menores as partículas (Pinto, 2006). Os valores de coeficiente de permeabilidade são baixos (Tabela 2) e característicos de areias argilosas para solos sedimentares (Pinto, 2006; página 117).

A densidade do solo varia em função da textura do solo (Reichert et al., 2009; Suzuki et al., 2013; Suzuki et al., 2022), e os valores encontrados situaram entre 0,91 a 1,55 g cm⁻³. De acordo com Baver (1949) e Grable e Siemer (1968), valores de macroporosidade abaixo de 0,10 m³ m⁻³ são críticos para o desenvolvimento das plantas, e indicam solo compactado. Nesse sentido, os horizontes 1 e 4 possuem macroporosidade abaixo deste valor, e refletiu em menor condutividade hidráulica, apesar da densidade não refletir essa relação (Tabela 3). A umidade volumétrica indica valores próximo à saturação, com os microporos preenchidos com água na maioria dos horizontes (Tabela 3).

Tabela 3 - Atributos físicos e hídricos para os horizontes do perfil 2 em estudo em Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

Horizonte	Camada cm	PT cm ³ cm ⁻³	Macro cm ³ cm ⁻³	Micro cm ³ cm ⁻³	DS g cm ⁻³	KS cm h ⁻¹	UV cm ³ cm ⁻³
1	0-10	0,61	0,08	0,53	0,91	6,51	0,44
2	10-35	0,37	0,11	0,26	1,55	36,56	0,24
3	35-89	0,44	0,11	0,33	1,29	14,53	0,32
4	89-104	0,36	0,08	0,29	1,48	2,70	0,35

PT = porosidade total; Macro = macroporosidade; Micro = microporosidade; DS = densidade do solo; DP = densidade de partículas; KS = condutividade hidráulica do solo saturado em laboratório; UV = umidade volumétrica do solo no dia da coleta.

Fonte: Autores (2024)

A condutividade hidráulica média no campo, conforme metodologia de Bagarello *et al.* (2004), foi de $9,37 \times 10^{-5}$ cm h⁻¹. Mesmo com elevado teor de areia (Tabela 2), a condutividade hidráulica é baixa.

De acordo com Costa e Alves (2006) locais de ocorrência de solos hidromórficos, com alto teor de matéria orgânica, necessitam de fundações profundas, encarecendo a obra, além de apresentar lençol freático elevado que dificulta o esgotamento sanitário. Do ponto de vista ambiental, essas áreas de solos hidromórficos são ambientes de grande diversidade de espécies, atuam no equilíbrio hidrológico adjacente e é responsável pela produção primária local, sendo considerado um criadouro natural (Asmus, 2006).

Baseado nos resultados apresentados, o solo da área de estudo foi considerado como sendo do tipo hidromórfico, e percebe-se que estas áreas sob vegetação natural desempenham um papel importante na lenta infiltração de água no solo devido à sua baixa capacidade de condução de água, atuando como uma esponja, evitando alagamentos, atuando na recarga das águas subsuperficiais e mantendo fauna e flora, conservando a biodiversidade e realizando serviços ambientais.

Considerações finais

O nível freático, nos três poços de observação, sofre variação devido à ocorrência de precipitações pluviométricas na área onde foi realizado o estudo. Além disso, constata-se que o nível freático é superficial e o solo é hidromórfico. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi atingido ao se estabelecer relações do nível freático com as precipitações pluviométricas e com as características do solo.

O teor de areia dos perfis de solo varia entre 41 e 85%, tendo a forma das partículas de areia em sub-anguloso e sub-arredondado, enquanto o teor de argila varia entre 9 e 35%.

As informações apresentadas neste trabalho podem fornecer subsídios ao gerenciamento das águas subterrâneas no município e o adequado ordenamento da expansão imobiliária, como forma a não comprometer as águas subterrâneas, contribuir para a recarga destas águas e evitar os alagamentos, preservando áreas de importância local, além de preservar as espécies específicas dessas áreas úmidas e manter o equilíbrio ecológico e hidrológico.

Agradecimentos

Aos responsáveis pelo empreendimento imobiliário por possibilitarem a realização deste estudo.

Referências

ASMUS, M. Análise ambiental da ocupação urbana do Pontal da Barra, Praia do Laranjal, Pelotas/RS. **Cadernos de Ecologia Aquática**, Rio Grande, v.1, n. 2, p. 30-37, 2006.

BAGARELLO, V.; IOVINO, M.; ELRICK, D. A simplified falling-head technique for rapid determination of field-saturated hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, n. 1, p. 66–73, 2004. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.6600>

BAVER, L. D. Practical values from physical analyses of soils. **Soil Science**, v. 68, p. 1–14, 1949. <http://doi.org/10.1097/00010694-194907000-00002>

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. p. 363-375.
<https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c13>

BUFFON, E. A. M. A leptospirose humana no AU-RMC (aglomerado urbano da Região Metropolitana de Curitiba/Pr) - risco vulnerabilidade socioambiental. 158f. 2016. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2016. Disponível em:
<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/43110>. Acesso em: 30 abr. 2024.

COELHO, M. G. *et al.* Contaminação das águas do lençol freático por disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos em Uberlândia-MG/Brasil. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 28., 2002, Cancun. *Anais* [...] Cancun, México, 2002, p. 1-8. Disponível em:
<https://www.yumpu.com/pt/document/read/12957961/contaminacao-das-aguas-do-lencol-freatico-por-disposicao>. Acesso em: 31 mar. 2024.

COMPTON, R. R. Manual of field geology. New York: John Wiley & Sons, 378p. 1962.
<https://doi.org/10.1002/gj.3350030218>

CONSEMA – CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONSEMA nº 372/2018, de 22 de fevereiro de 2018.** Dispõe sobre os empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, passíveis de licenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Sul, destacando os de impacto de âmbito local para o exercício da competência municipal no licenciamento ambiental. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2018a. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201803/15120855-372-2018-atividades-licenciavies-revisao-288.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2021.

CONSEMA – CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONSEMA nº 380/2018, de 13 de setembro de 2018.** Dispõe sobre os critérios para identificação e enquadramento de banhados em imóveis urbanos. Porto Alegre: Governo do Estado do Rio Grande do Sul, Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2018b. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201810/08143237-380-2018-criterios-para-identificacao-e-enquadramento-de-banhados-em-imoveis-urbanos.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2021.

COSTA, A. N.; ALVES, M. G. Potencial de uso e ocupação urbana do solo no município de Campos dos Goytacazes-RJ, utilizando mapeamento geológico-geotécnico e técnicas de geoprocessamento. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 58, n. 2, p. 175-184, 2006. <https://doi.org/10.14393/rbcv58n2-44922>

DAS, B. M. **Fundamento de engenharia geotécnica**. Tradução All Tasks; revisão técnica Pérsio Leister de Almeida Barros. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 562p.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Boletim agroclimatológico**. s.d. Disponível em: <http://agromet.cpact.embrapa.br/estacao/boletim.php>. Acesso em: 30 nov. 2021.

FEPM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER – RS. **Guia básico do licenciamento ambiental**. Porto Alegre: FEPAM, s.d. 16p. Disponível em:

https://ww3.fepam.rs.gov.br/licenciamento/documentos/Guia_Basico_Lic.pdf. Acesso em: 30 nov. 2021.

FONTANA, A. *et al.* Preparo de amostras e separação de terra fina, cascalho e calhaus. In: TEIXEIRA, P. C. *et al.* (Editores Técnicos). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p.21-27. il. color. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acesso em: 15 jun. 2022.

GEE, G. W.; OR, D. Particle-size analysis. In: DANE, J. H., TOPP, C. (Co-eds.). **Methods of soil analysis. Part IV: Physical methods**. 5nd ed. Madison: Soil Science Society of America, 2002. p. 255-293. <http://dx.doi.org/10.2136/sssabookser5.4.c12>

GRABLE, A. R.; SIEMER, E. G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 32, p. 180–186, 1968.
<https://doi.org/10.2136/sssaj1968.03615995003200020011x>

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 335 p.

LIMA, J. S. **Avaliação da contaminação do lençol freático no entorno do lixão do município de São Pedro da Aldeia**. 2003. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em:
<http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2003/PEAMB2003JLima.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2021.

LIMA, J. T. *et al.* Aplicação do método da variação do nível do lençol freático para estimativa de recarga em Maceió-AL. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 18., 2009. **Anais** [...] Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2009, p. 1-12. Disponível em:
https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/152/f589e927f8ae2f7d05f01ae426715118_4db8fe4a373fbecdc97f02d03d0cfa5d.pdf. Acesso em: 26 nov. 2021.

MARTELLI, G. V. **Monitoramento da flutuação dos níveis de água em aquíferos freáticos para avaliação do potencial de recarga em área de afloramento do sistema aquífero Guarani em Cacequi-RS**. 2012. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, Santa Maria, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7788>. Acesso em: 26 nov. 2021.

MÜLLER, M. C. N. **Rebaixamento de lençol freático: indicações, métodos e impactos decorrentes**. 2004. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, 2004. Disponível em:
<https://pt.scribd.com/document/415339750/Rebaixamento-de-Lencol-Freatico-Indicacoes-Metodos-e-Impactos-Decorrentes-1>. Acesso em: 31 mar. 2024.

NASCIMENTO, V. M. L. C. **Cartografia das áreas favoráveis à ocupação urbana no município de João Pessoa/PB utilizando sistema de informações geográficas**. 2008. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Escola de Engenharia, Universidade Federal

da Paraíba, João Pessoa, 2008. Disponível em:

<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp092346.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2021.

NEIRA, D. F. *et al.* Impactos do necrochorume nas águas subterrâneas do cemitério de Santa Inês, Espírito Santo, Brasil. **Natureza online**, v. 6, p. 36-41, 2008. Disponível em: <https://www.naturezaonline.emnuvens.com.br/revista/article/view/412>. Acesso em: 26 nov. 2021.

NUNES, F. G.; FIORI, A. P.; FIRPO, G. Estimativa de coeficientes de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Atuba: Curitiba e região metropolitana -Paraná/ Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 64–65, p. 27–39, 2011.

<http://dx.doi.org/10.5380/geo.v65i0.6647>

PEDRON, F. A. *et al.* (2004). Solos urbanos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1647–1653, 2004. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782004000500053>

PERES. O. M.; POLIDORI. M. C. Crescimento urbano e hidrografia natural: conflitos e articulações no espaço-tempo. In: **ANAIS DO XIV ENANPUR**. Rio de Janeiro/RJ, v.14, n.1, 2011. Disponível em: <http://anais.anpur.org.br/index.php/anaisenapur/article/view/898>. Acesso em: 05 de jul. 2022.

PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 367p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS - PMP. Lei nº 5.502, de 11 de setembro de 2008. Institui o Plano Diretor Municipal e estabelece as diretrizes e proposições de ordenamento e desenvolvimento territorial no Município de Pelotas, e dá outras providências. Pelotas: Prefeitura Municipal de Pelotas, 2008. Disponível em: https://sapl.pelotas.rs.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2008/2826/lei_5502.pdf. Acesso em: 26 nov. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS - PMP. Meio físico. Solos. Pelotas: Prefeitura Municipal de Pelotas, 2019. Disponível em: <https://geopelotas-pmpel.hub.arcgis.com/>. Acesso em: 29 nov. 2021.

RAMOS, G. J. A. *et al.* Monitoramento do nível do lençol freático do Rio Gualaxo do Norte, Mariana, MG. In: Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e Sustentabilidade, 2., 2009. **Anais** [...] Taubaté, São Paulo: IPABHi, 2009, p. 633-640. Disponível em: <http://www.ipabhi.org/serhidro/anais/anais2009/doc/pdfs/p92.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2021.

REICHERT, J.M. *et al.* Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, v.102, n.2, p.242-254, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002>

REYNOLDS, W.; ELRICK, D. Methods of soil analysis. In: DANE, J.H.; TOPP, G.C. Physical methods. Part 4. Physical methods. Madison: Soil Science Society of America Book, 2002. p. 844-858. (Series, n. 5). Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.2136/sssabookser5.4>. Acesso em: 15 jun. 2022.

SANTOS, R. D. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 5.ed. Viçosa, Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa. 2018. (E-book: il. color.). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 29 nov. 2021.

SCHEIDT, F. S. S. *et al.* Consideração de requisitos ambientais em empreendimentos habitacionais de interesse social: um estudo de caso. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 1, p. 91-106, 2010. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/9426>. Acesso em: 26 nov. 2021.

SUZUKI, L. E. A. S. *et al.* Dispersion and flocculation of Vertisols, Alfisols and Oxisols in Southern Brazil. **Geoderma Regional**, v. 5, p. 64-70, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2015.03.005>

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Degree of compactness, soil physical properties and yield of soybean in six soils under no-tillage. **Soil Research**, v. 51, p. 311-321, 2013. <http://dx.doi.org/10.1071/SR12306>

SUZUKI, L. E. A. S. *et al.* Critical limits for soybean and black bean root growth, based on macroporosity and penetrability, for soils with distinct texture and management systems. **Sustainability**, v. 14, 2958, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14052958>

VIANA, J.H.M.; TEIXEIRA, W.G.; DONAGEMMA, G.K. Densidade de partículas. In: TEIXEIRA, P. C. *et al.* (Editores Técnicos). **Manual de métodos de análise de solo.** 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p.76-81. il. color. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acesso em: 15 jun. 2022.

VICTORINO, D. R.; GEHLING, W. Y. Y.; RAMIRES, M. C. P. Piezômetro e medidor de nível d'água em pistas experimentais da UFRGS. In: CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 18., 2003, Porto Alegre. **Anais** [...] Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2003, p. 320. Disponível em: https://www.gpsgeologia.com.br/paginas/alvaro/piezometros/artigo_ufrgs_piezometros.pdf. Acesso em: 31 mar. 2024.

XAVIER, S. C. **O mapeamento geotécnico por meio de geoprocessamento como instrumento de auxílio ao planejamento do uso e ocupação do solo em cidades costeiras: estudo de caso para Pelotas RS.** 2010. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2010. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/3492>. Acesso em: 26 nov. 2021.