



# Elaboração de Mapa Geológico-Geotécnico da Cidade de Ponta Grossa (Paraná - Brasil) Baseado em Resultados de Sondagens à Percussão

Flávia Fasolo

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, flaviarfasolo@gmail.com

Fabio Fernando Macenhan

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, macenhanfabio@gmail.com

Geovana Beatriz Ojczenasz

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, geovanaojc@gmail.com

Carlos Emmanuel Ribeiro Lautenschläger

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, cerlautenschlager@uepg.br

Bianca Penteado de Almeida Tonus

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, Brasil, bpatonus@uepg.br

**RESUMO:** A cidade de Ponta Grossa (Paraná – Brasil) está assente principalmente sobre rochas sedimentares pertencentes aos Grupos Paraná e Itararé. Os solos residuais e transportados desses Grupos apresentam grande heterogeneidade devido, sobretudo, às composições mineralógicas das rochas de origem e respectivos produtos originados pelo intemperismo. Com o objetivo de se conhecer a distribuição desses diferentes tipos de solos e suas profundidades, foi estruturado um banco de dados a partir de informações obtidas de sondagens à percussão. Foram compilados dados de boletins de sondagens para tratamento com sistema de informações geográficas e elaboração de mapas geológico-geotécnicos com informações de índices  $N_{SPT}$ , tipos de solo e nível de água. Esses mapas foram gerados por camadas de solo a cada metro e se observou  $N_{SPT}$  crescente com a profundidade para a maioria dos boletins, além da predominância de solos argilosos até 5 metros, seguidos de solos arenosos, com grande heterogeneidade de materiais e resistências.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sondagem à percussão, Mapeamento geológico-geotécnico, Sistema de informações geográficas (SIG).

## 1 INTRODUÇÃO

A maioria das obras no ramo da construção civil apresentam etapa de execução de fundações, que são as estruturas responsáveis pela transmissão dos esforços das edificações para o solo. As investigações geotécnicas são subsídios fundamentais para a elaboração de projetos de fundações, pois fornecem

informações sobre as características do solo ao longo da profundidade do terreno.

À vista disso, diversos processos de inspeção de solos foram desenvolvidos ao longo dos anos, buscando a compreensão à respeito da estrutura e composição do solo. Nesse contexto, o ensaio de sondagem a percussão (SPT) é o mais difundido atualmente e, normalmente, é realizado em todas as obras que exijam



execução de fundações.

Devido à grande utilização deste método de investigação na cidade de Ponta Grossa, tem-se um vasto acervo de informações geológico-geotécnicas fornecidas por laudos de SPT. Essas informações podem ser atribuídas a um banco de dados e, usando um Sistema de Informações Geográficas (SIG), representar na forma de mapas informações a respeito da composição do solo, do índice de resistência a penetração ( $N_{SPT}$ ) da sondagem à percussão e, por fim, profundidade do nível d'água nas camadas de solo presentes na região de estudo.

Moura (2014) define as técnicas de geoprocessamento como poderosas estratégias de análise de informações, pois englobam o tratamento das informações geográficas ou de dados georreferenciados. Tais tratamentos ocorrem por meio de softwares específicos e cálculos, utilizando como base, um sistema de informação geográfica (SIG). Assim sendo, pode-se comparar informações e representá-las na forma de mapas, gráficos e tabelas. Por esse motivo, é amplamente utilizada nas geociências e na engenharia, sendo ferramenta fundamental no planejamento urbano, por exemplo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Geologia de Ponta Grossa

Localizada no Estado do Paraná na Região Sul do Brasil, o município de Ponta Grossa pertence à Bacia do Paraná. Essa bacia é uma grande depressão representada no segundo e no terceiro planalto na geografia do território do Paraná, e apresenta espessura de até 6 km. (MINEROPAR, 2007).

O município de Ponta Grossa está assentado basicamente sobre arenitos da Formação Furnas e folhelhos da Formação Ponta Grossa pertencentes ao Grupo Paraná, de idade Devoniano, além de arenitos diamictitos do Grupo Itararé. Além disso, todas essas rochas são cortadas por diques de diabásio, muito presentes na região urbana, relacionados com o

magmatismo da Serra Geral no período Cretáceo (MATSUMURA, 2010).

O Grupo Paraná é uma unidade Devoniana e compreende grande parte do segundo planalto do estado do Paraná, constituído integralmente pela Formação Ponta Grossa e pela Formação Furnas. Seu topo apresenta discordância erosiva com as formações do Grupo Itararé (MINEROPAR, 2007).

Segundo Assine (1999), a Formação Furnas é formada por arenitos de granulação média grossa, com níveis conglomeráticos restritos, feldspáticos e/ou caulínicos, mal selecionados, de estratificação cruzada. Tem sido atribuída ao período Devoniano, com idade de 400 milhões de anos devido ao contato com folhelhos marinhos sobrepostos da Formação Ponta Grossa (LOBATO; BORGHI, 2005).

A transição entre a Formação Furnas e a Formação Ponta Grossa é caracterizada por Petri (1948), pela presença de um conjunto de camadas entre as duas formações. Essas apresentam passagem gradativa de arenito grosso para fino e siltico, e posteriormente para folhelho, inclusive intercalado em arenito grosso até se dar o início da Formação Ponta Grossa.

A Formação Ponta Grossa, em sua maior parte pelítica, possui idade Devoniana, entre 400 e 375 milhões de anos e espessura bastante variável, onde a máxima seção perfurada apresentou 654m. Constituída em grande parte por argilitos escuros fossilíferos denominadas folhelhos, é conhecida pelos seus fósseis de origem marinha, os quais apresentam potencial para formação de hidrocarbonetos como o petróleo. Além disso, secundariamente é formada por arenitos silticos cuja floração se estende desde a divisa entre o estado do Paraná e o estado de São Paulo, até próximo da cidade da Lapa, ao sul de Ponta Grossa.

O Grupo Itararé é dividido em função da argilosidade crescente das rochas em três formações: Formação Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba (FRANÇA E POTTER, 1988).

A Formação Lagoa Azul é em sua maior



parte argilosa e apresenta espessura média de 60m. Já em seu contato com a Formação Ponta Grossa apresenta uma camada basal de no máximo 10m de espessura, contendo arenitos brancos, silticos e de estratificação cruzada acanalada. Acima da unidade basal, apresenta em sua composição folhelhos rítmicos e diamictitos silticos argilosos. No topo da unidade é marcada por afloramento de folhelhos conhecidos como “folhelho chocolate” (MINEROPAR, 2007).

Já a Formação Campo Mourão possui espessura variável, em média 350m. Apresenta em sua base um espesso corpo arenoso com espessuras de até 150 m, cuja aflorações podem ser observadas em diversas regiões, entre elas os clássicos arenitos de Vila Velha. Apoiados nessa unidade basal arenosa, encontram-se diamictitos, ritmitos, folhelhos e arenitos além de uma composição pelítica no topo desta formação onde se destacam a presença de folhelhos acinzentados, denominados Folhelho Guaraúna por Schneider et al. (1974), além de ritmitos, diamictitos e arenitos finos (MINEROPAR, 2007).

Segundo França e Potter (1988), a Formação Taciba apresenta em sua base um membro arenoso e um membro lamítico, com predominância de diamictitos, na porção superior. A porção superior também é composta por duas unidades: uma arenosa e outra pelítica, denominadas respectivamente como: arenito Baitaca e folhelho Passinho, com ocorrência de fósseis marinhos de idade permocarbonífera (Lange, 1954). A espessura dessas duas unidades juntas apresenta cerca de 50 m.

Os grupos e formações descritas acima, bem como a localização da cidade de Ponta Grossa podem ser visualizadas na Figura 1, adaptada de mapa disponibilizado pela Mineropar. Na imagem são destacadas as divisões regionais da cidade e o círculo de abrangência deste estudo.

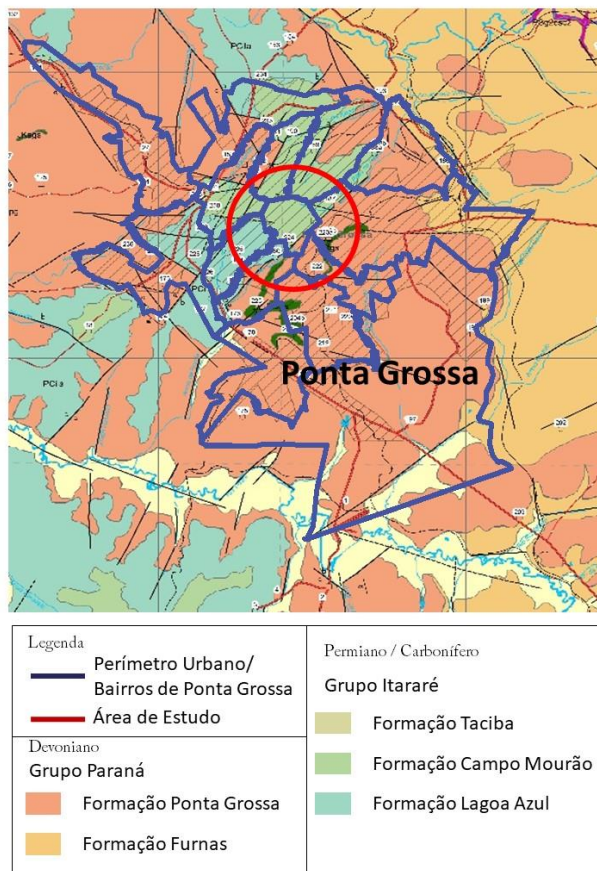


Figura 1. Mapa de cobertura sedimentar na região de Ponta Grossa-PR. (adaptado de MINEROPAR, 2007)

## 2.2 Sondagem à percussão (SPT)

O conhecimento prévio dos parâmetros geotécnicos de uma região é pré-requisito básico e de importância fundamental para as atividades de uso e ocupação racional do solo. A existência de informações a respeito do comportamento geotécnico dos horizontes mais superficiais dos solos e do material do substrato, integradas aos demais dados do meio físico, pode facilitar a implantação de obras civis (VALENTE, 2000).

No Brasil, a sondagem à percussão constitui o mais conhecido e difundido método direto de investigação geotécnica, servindo também, como base de dados para a elaboração deste trabalho.

Considerado como a ferramenta mais popular de investigação geotécnica do mundo, o *Standard Penetration Test* (SPT) tem resultados



que indicam a consistência de solos coesivos e a compactidade de solos granulares. Tais resultados podem ser utilizados em projetos de fundação diretas e profundas e em obras geotécnicas em geral (CAVALCANTE, 2002).

O procedimento de ensaio consiste na cravação de um amostrador padrão ao fundo de uma escavação. Para tanto, utiliza-se a queda de um martelo 65 kg a uma altura de 75 cm (Figura 2). O valor  $N_{SPT}$  é traduzido pelo número de golpes utilizados para que o amostrador penetre 30 cm, após uma cravação inicial de 15 cm (SCHNAID; ODEBRECHT, 2017).

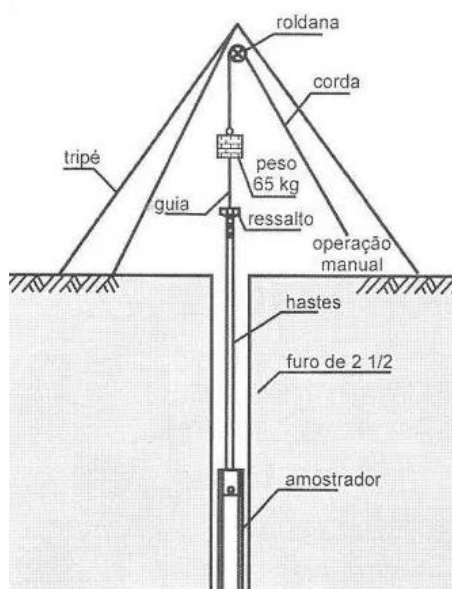


Figura 2. Esquema de equipamentos utilizados no ensaio SPT. (SCHNAID, 2006)

O furo é feito por um trado aliado à circulação de água, em que utiliza um trépano de lavagem para ferramenta de escavação. A cada metro de profundidade são coletadas amostras de solo no próprio amostrador. Tal amostrador é padrão, com dimensões definidas e possui um diâmetro externo de 50,8 mm.

Os resultados são descritos em uma planilha padrão, na qual incluem-se as características do solo, o nível freático, o número de golpes utilizados para a penetração do amostrador a cada profundidade, e também a cota e posição de cada furo (PEREIRA, 2015).

Em relação a outros ensaios, o SPT tem como vantagens a economia, o fácil manuseio e a obtenção de um valor numérico que pode ser associado por propostas diretas e empíricas de projeto, segundo Cavalcante (2002). Entretanto, no que condiz às desvantagens há o desgaste dos equipamentos, a falta de manutenção do amostrador, além da deficiência técnica (tanto na execução da sondagem quanto na interpretação de dados), que submete o ensaio a possíveis erros. Com a finalidade de retificar ou minimizar as falhas, há a alternativa de medição de energia durante o ensaio SPT (SCHNAID, 2017).

### 2.3 Sistema de informações geográficas (SIG)

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) se trata de um conjunto de instrumentos que permite armazenar, recuperar, adquirir, transformar e emitir informações espaciais. Usando de dados geográficos para descrever objetos do mundo real em termos de posicionamento, com relação a um sistema de coordenadas. Para manusear dados georreferenciados, abrange quatro grupos de aptidões: entrada, georreferenciamento, manipulação e análise. Suas principais características são integrar numa única base de dados informações espaciais, combinar essas informações através de algoritmos de manipulação para gerar mapas e, visualizar, consultar, recuperar e plotar os dados geocodificados para realização de estudos. Os dados tratados em SIG's incluem: modelos numéricos de terreno, imagens de satélite, mapas temáticos, redes e dados tubulares.

Portanto, um SIG pode ser utilizado em pesquisas de determinados fenômenos, estudos do meio ambiente, planejamento e afins, considerando que os dados armazenados representam um modelo condizente com a realidade (BURROUGH; McDONNELL, 1998).

## 3 METODOLOGIA

Para levantar e representar os diferentes tipos de





solos na região central da cidade de Ponta Grossa foram reunidos laudos de sondagens à percussão disponíveis, executados no município durante os anos de 2012 a 2018.

De posse dos laudos, foi possível georreferenciar todos os furos de sondagem com auxílio de uma planilha na qual se especificaram as coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), o ano de execução da sondagem e a quantidade de furos.

Após todos os pontos serem georreferenciados e espacializados em software SIG (Quantum GIS) sobre o perímetro urbano da cidade de Ponta Grossa, foi possível observar todas as sondagens realizadas e a área de maior concentração dessas sondagens para escolha da região de estudo.

Sendo assim, foi estipulada uma área que possui 364 furos de sondagens, a qual compreende um círculo de diâmetro equivalente à 2,00km, incluindo o Centro da cidade e parte dos bairros adjacentes, sendo eles Uvaranas, Jardim Carvalho, Órfãs, Nova Rússia, Ronda, Vila Estrela e Olarias. Além da extensão estabelecida conter maior concentração de sondagens, ela também é uma região que está em constante desenvolvimento na cidade, sendo ainda mais proveitoso seu estudo. A delimitação dessa área pode ser visualizada na Figura 3.

Definida a área de estudo, foi possível a criação do banco de dados das sondagens dentro desta zona, com informações geológico-geotécnicas retiradas dos laudos de sondagens.

Nesse banco de dados foram acrescentadas informações referentes à identificação do furo, no qual contém o ano da realização das sondagens, a “ID” relativa à numeração de cada furo de sondagem - em ordem crescente, assim como, o código do furo, o qual especifica a quantidade de sondagens feita por um mesmo empreendimento.

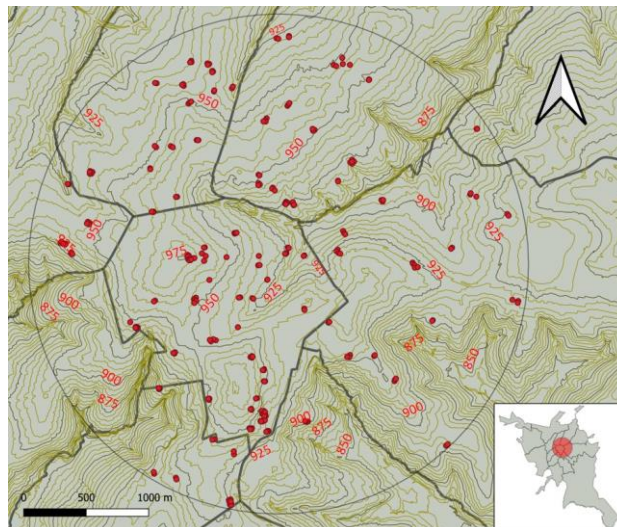


Figura 3. Delimitação da área de estudo.

Além disso, acrescentou-se as coordenadas UTM, “E” e “N”, para georreferenciar e espacializar a região de estudo. Por fim, complementou-se com a especificação do solo para estabelecer características do mesmo, abrangendo o nível freático, a resistência à penetração  $N_{SPT}$  metro a metro e o tipo do solo, os quais foram classificados em cinco grupo: orgânico, argila, areia, silte, pedregulho e impenetrável.

Após a realização do banco de dados foi possível espacializar as informações de sondagem por meio do software QGIS. Ademais, puderam se obter mapas especificando a resistência à penetração do solo em camadas a cada metro de profundidade e também o tipo de solo, além da variação do nível de água.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras de 4 a 13 apresentam os mapas gerados para os valores de  $N_{SPT}$  e para os tipos de solo, intercaladamente, de um até dez metros de profundidade. O tipo de solo a cada metro foi classificado como argila, silte, areia, pedregulho ou impenetrável à sondagem à percussão.

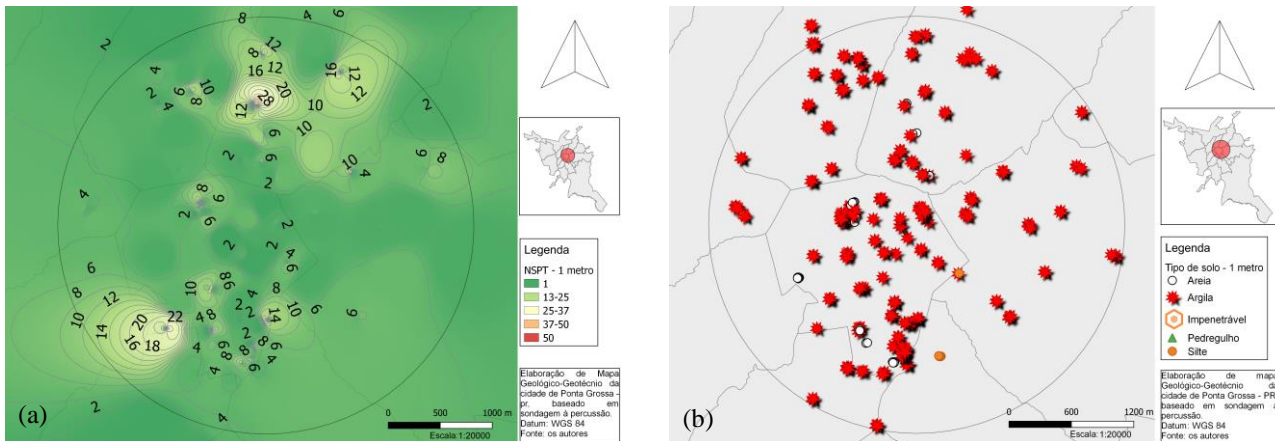


Figura 4. (a) Representação dos valores obtidos para o  $N_{SPT}$  a um metro de profundidade. (b) Representação dos tipos de solos para um metro de profundidade.

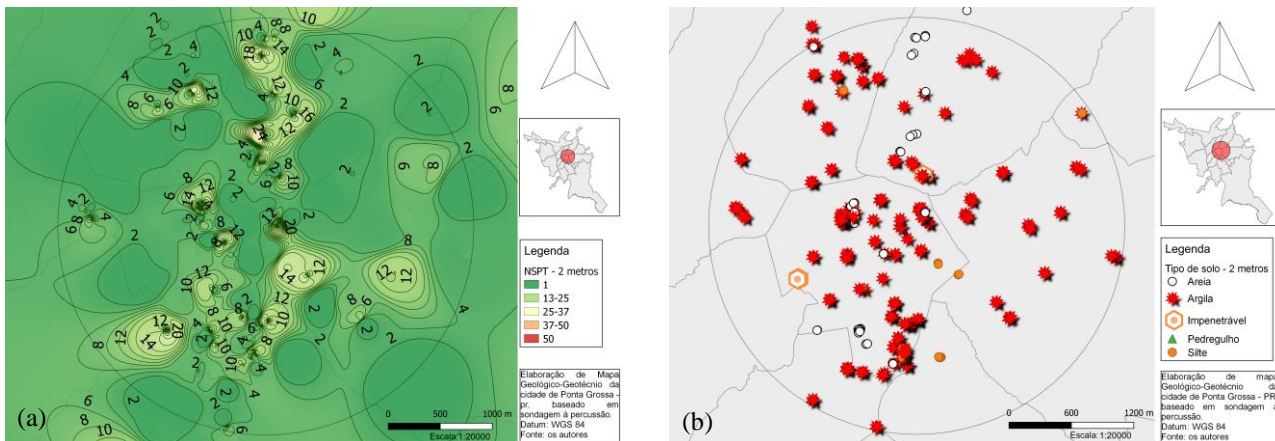


Figura 5. (a) Representação dos valores obtidos para o NSPT a dois metros de profundidade. (b) Representação dos tipos de solos para dois metros de profundidade.

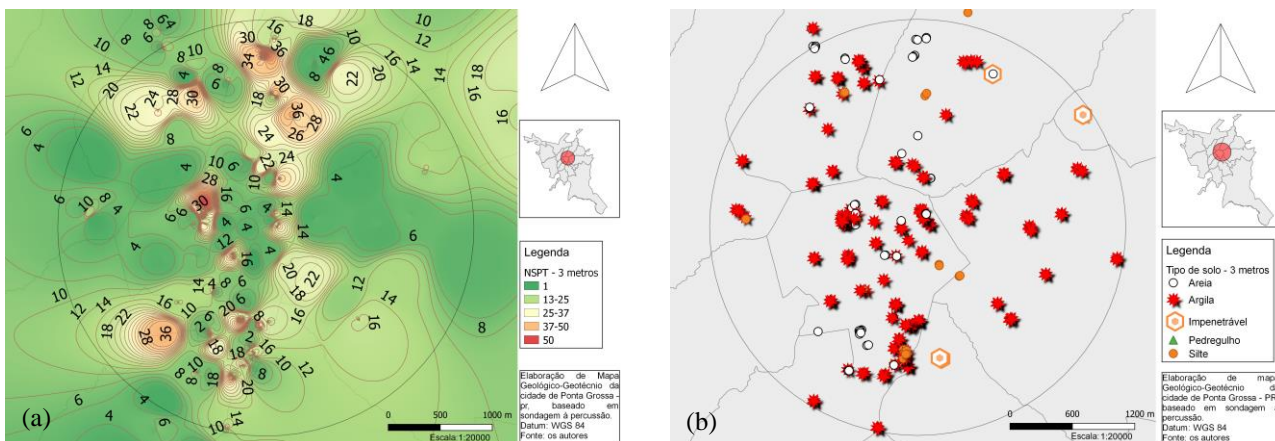


Figura 6. (a) Representação dos valores obtidos para o  $N_{SPT}$  a três metros de profundidade. (b) Representação dos tipos de solos para três metros de profundidade.



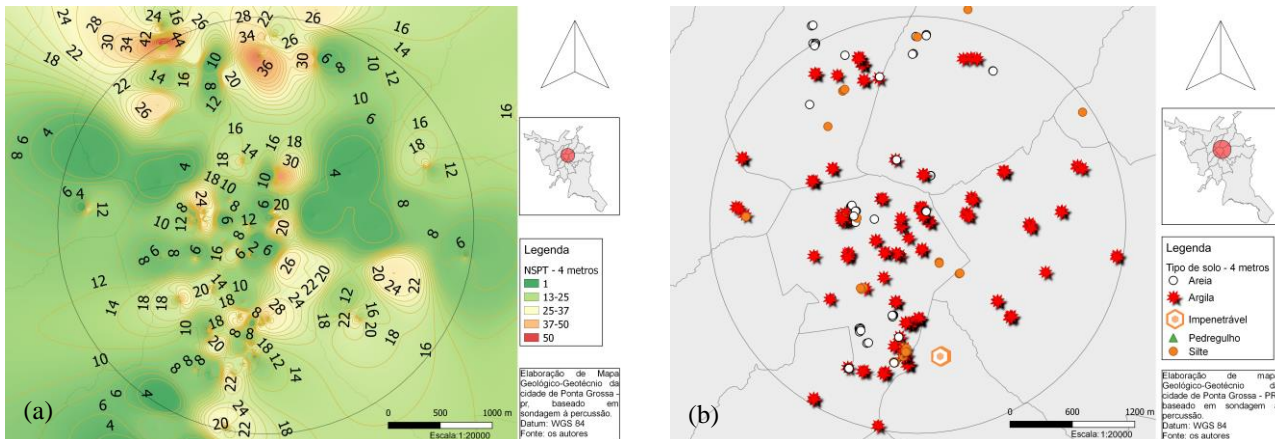


Figura 7. (a) Representação dos valores obtidos para o  $N_{SPT}$  a quatro metros de profundidade. (b) Representação dos tipos de solos para quatro metros de profundidade.

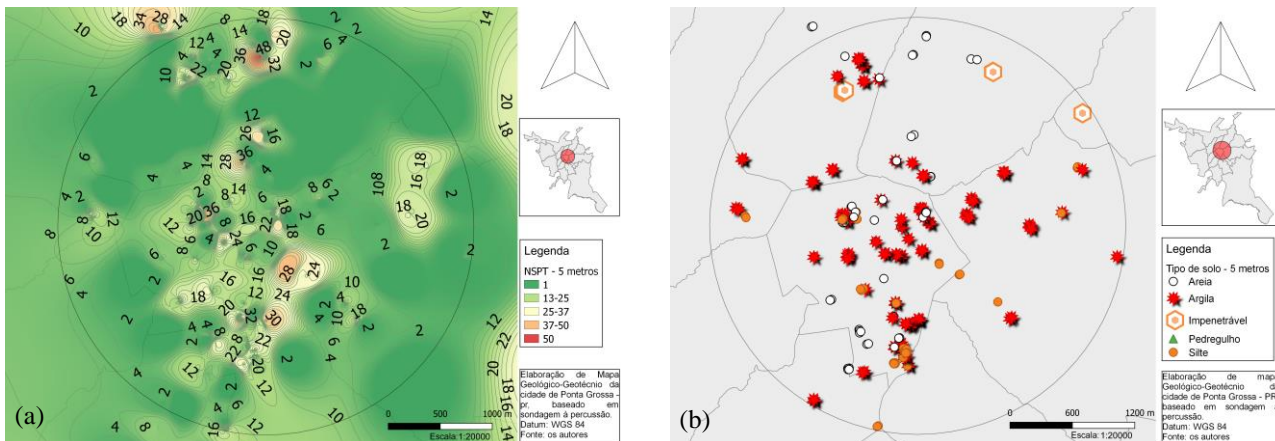


Figura 8. (a) Representação dos valores obtidos para o  $N_{SPT}$  a cinco metros de profundidade. (b) Representação dos tipos de solos para cinco metros de profundidade.

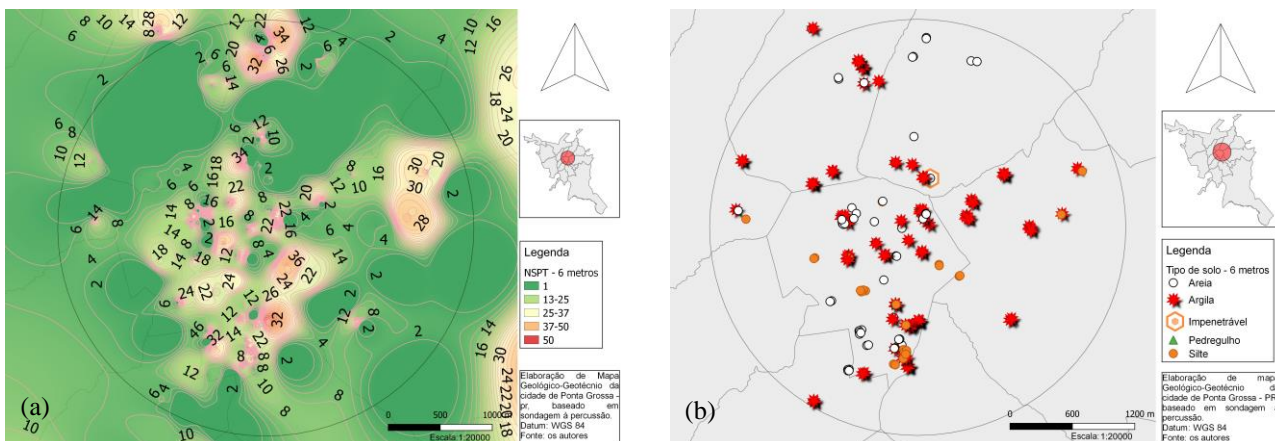


Figura 9. (a) Representação dos valores obtidos para o  $N_{SPT}$  a seis metros de profundidade. (b) Representação dos tipos de solos para seis metros de profundidade.

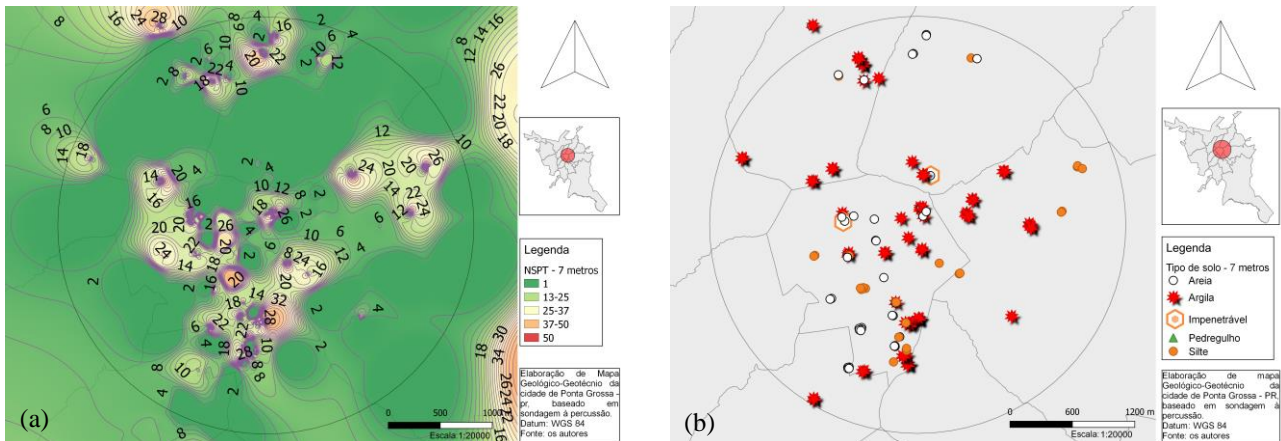


Figura 10. (a) Representação dos valores obtidos para o  $N_{SPT}$  a sete metros de profundidade. (b) Representação dos tipos de solos para sete metros de profundidade.

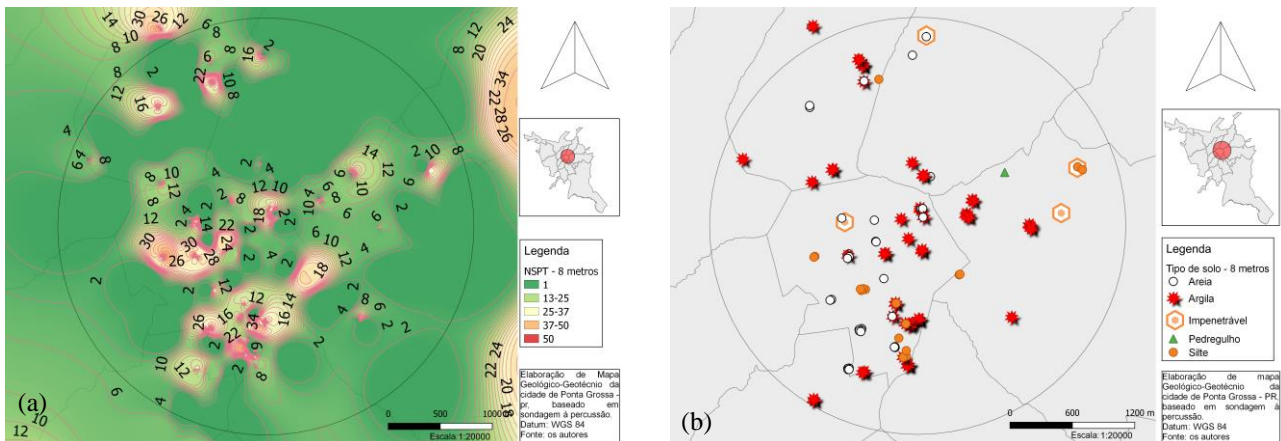


Figura 11. (a) Representação dos valores obtidos para o  $N_{SPT}$  a oito metros de profundidade. (b) Representação dos tipos de solos para oito metros de profundidade.

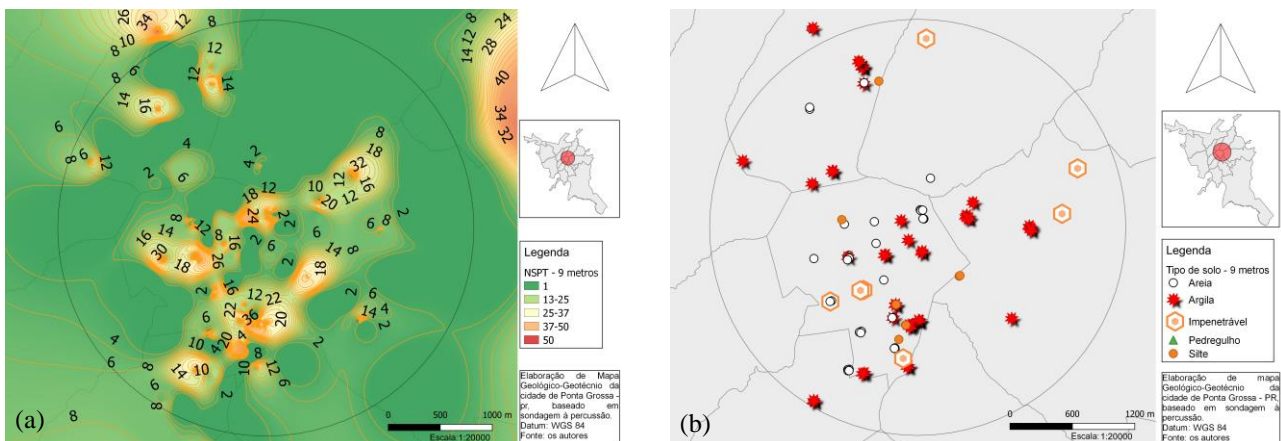


Figura 12. (a) Representação dos valores obtidos para o  $N_{SPT}$  a nove metros de profundidade. (b) Representação dos tipos de solos para nove metros de profundidade.



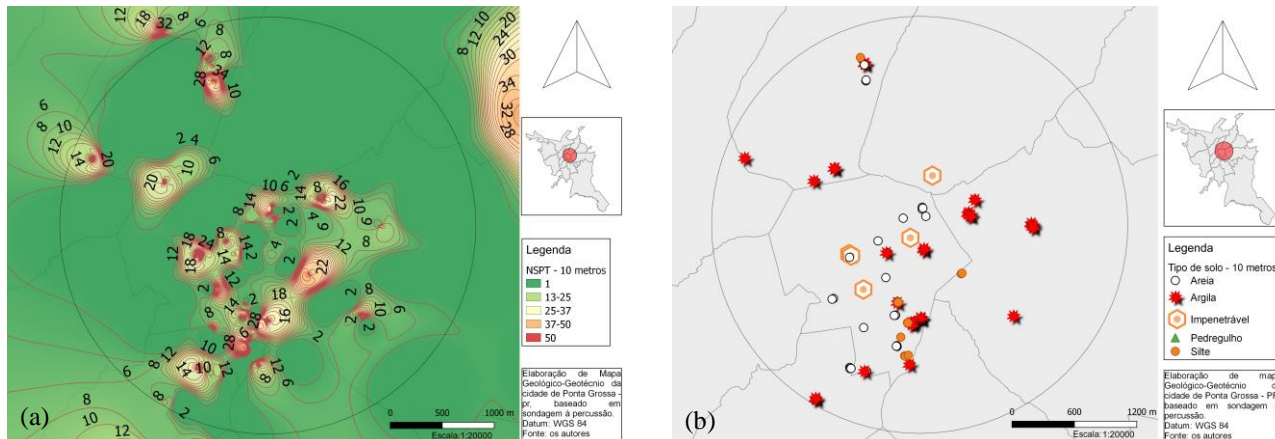


Figura 13. (a) Representação dos valores obtidos para o  $N_{SPT}$  a dez metros de profundidade. (b) Representação dos tipos de solos para dez metros de profundidade.

Nota-se que a 1,0 metro de profundidade, a maior parte dos boletins de sondagem apresentam solo argiloso e valores de  $N_{SPT}$  até 10, com pontos específicos com  $N_{SPT}$  bem mais elevados.

De 2,0 a 3,0 metros de profundidade aparecem solos siltosos e arenosos intercalados aos solos argilosos. Os valores de  $N_{SPT}$  se elevam significativamente ao atingir o terceiro metro.

Até 5,0 metros de profundidade os valores de  $N_{SPT}$  continuam aumentando e em alguns pontos já se atingiu o impenetrável à sondagem à percussão. No entanto, é interessante observar que em alguns pontos tem-se valores baixo de  $N_{SPT}$  da ordem de 4.

De 6,0 a 10,0 metros diversas sondagens atingem o impenetrável e se nota uma predominância do solo arenoso, diferentemente dos mapas mais superficiais. Nessas profundidades não há grande variação do  $N_{SPT}$ , que apresenta um valor médio em torno de 20.

A Figura 14 apresenta a variação do nível do lençol freático e se percebe que em grande parte da área analisada o nível d'água está acima dos 5 metros de profundidade.

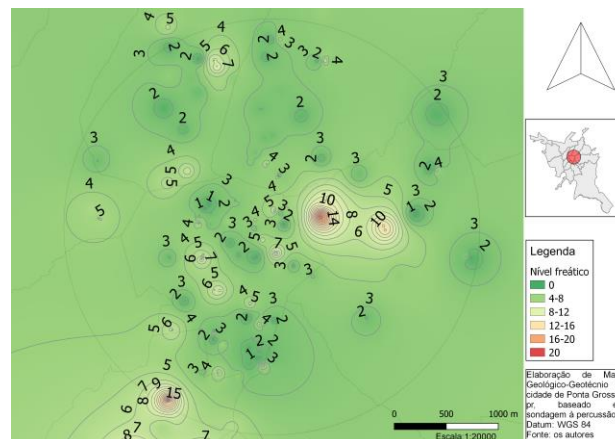


Figura 14. Representação das profundidades do nível freático.

## 5 CONCLUSÕES

Por intermédio do Sistema de Informações Geográficas (SIG) foi possível gerar arquivos gráficos correspondentes a localização dos dados geotécnicos na área de estudo, o que possibilitou a visualização conjunta de informações anteriormente disponíveis apenas de forma isolada em laudos sondagem.

Notou-se um crescimento dos valores de  $N_{SPT}$  ao longo da profundidade para a maioria dos boletins de sondagens analisados. Além da predominância de solos argilosos até a profundidade de 5 metros e, posteriormente, a predominância de solos arenosos. Tal fato pode ser explicado pela presença de formações do Grupo Itararé com ocorrência de rochas



areníticas, as quais podem ter gerado solos arenosos residuais e transportados. Os solos superiores podem ser originários da Formação Ponta Grossa e do Grupo Itararé, compostos por rochas de matriz argilosa, como os folhelhos.

Como a partir dos 6 metros de profundidade muitas sondagem já atingem o impenetrável, não se consegue ter informações sobre o tipo de solo nesses pontos, o que torna o estudo mais representativo para as menores profundidades.

O nível d'água mostrou-se abaixo dos 5 metros de profundidade na grande maioria da área, o que pode requerer rebaixamento do lençol freático para a execução de muitas obras.

Observou-se uma grande heterogeneidade do solo em todos os mapas gerados, o que condiz com a heterogeneidade geológica da região e reforça a necessidade de estudos como esse, que visem o entendimento da composição do subsolo.

Recomenda-se a intensificação de pesquisas que venham abastecer o banco de dados geotécnicos, com dados que demonstrem a continuidade de estudos a partir desse, numa escala de ampliação para limites mais profundos do solo. Isso contribuirá gradativamente para uma visão mais detalhada dos níveis de solo e dos materiais encontrados na região em pesquisa, visto que, no aprofundamento das camadas do solo notou-se uma redução das informações disponíveis no banco de dados.

Nesse contexto, está evidente que os mapas gerados permitem o fácil armazenamento e a rápida exploração de parâmetros e informações que podem auxiliar a etapa de escolha do tipo de fundação, mas nunca substituir a execução de investigação geotécnica no local de interesse.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Gaioski Engenharia e a Martins Engenharia pelo fornecimento dos boletins de sondagens.

## REFERÊNCIAS

- Burrough, P.A., Mcdonell, R.A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press. New York, 333 p.
- Cavalvante, E. H. (2002). *Investigação Teórico-Experimental Sobre o SPT*. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.
- França, A.B. & Potter, P.E. (1988). *Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de Reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (parte 1)*. Boletim de Geociências da Petrobrás, 2: 147-191.
- Lange, F. W. (1954). *Paleontologia do Paraná*. In: Paleontologia do Paraná, Curitiba. Comissão de Comemoração do Centenário do Paraná, dez., p. 1-105.
- Lobato, G.; Borghi, L. (2005). *Análise Estratigráfica da Formação Furnas (Devoniano Inferior) em afloramentos da borda leste da Bacia Do Paraná*. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Rio de Janeiro, 6 p.
- Matsumura W. M. K. (2010). *Roteiro Geológico nos Municípios de Castro e Tibagi, PR – Brasil*. Universidade Estadual de Ponta Grossa.
- Mineropar. (2007). *Mapa Geológico Folha de Ponta Grossa*. Escala 1:100.000. Universidade Federal do Paraná e Laboratório de Análise de Bacias Petrofísica
- Moura, A.C. (2014). *Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano*. 3ª edição. Rio de Janeiro: Interciência.
- Pereira, L. B. (2015). *Estudo comparativo entre a eficiência de sondagens SPT e sísmica rasa para a determinação de parâmetros geotécnicos em uma área do município de Caçapava do Sul, RS*. Caçapava do Sul Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pampa.
- Petri, S. (1948). *Contribuição ao Estudo do Devoniano Paranaense*. Departamento Nacional de Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia. Rio de Janeiro, 129 p.
- Schnaid, F.; Odebrecht, E. (2017) *Ensaio de Campo e suas aplicações na engenharia*. 2ª Edição, São Paulo: Oficina de Textos.
- Schneider, R.L.; Muhlamann, H.; Tommasi, E.; Medeiros, R.A.; Daemon, R.A.; Nogueira, A.A. (1974). *Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná*. In: SBG, 28 Congresso Brasileiro de Geologia, Porto Alegre, 1: 41-65, 1974
- Valente, A. L. S. (2000). *Proposta metodológica de um banco de dados geotécnicos para uso em Sistema de Informações Geográfica (SIG) e sua aplicação no município de Porto Alegre, RS*.