

Perfis geotécnicos da cidade de Palmas - TO por meio de sondagens SPT e ensaios geofísicos

Bruno Carrilho de Castro

Universidade Federal do Tocantins, Palmas- TO, Brasil, brunocarrilho@uft.edu.br

Andressa Faquineli Garcia

Universidade Federal do Tocantins, Palmas- TO, Brasil, andressafaquineli@hotmail.com

Gustavo Haruo Beltran Gondo

Universidade Federal do Tocantins, Palmas- TO, Brasil, ghbgondo@gmail.com

Samuel de França Marques

Universidade Federal do Tocantins, Palmas- TO, Brasil, ssfmarmarques@gmail.com

Marcos Vinícius Sousa

Universidade Federal do Tocantins, Palmas- TO, Brasil, marcosvinicius_mvsn@yahoo.com.br

Janaína Santana Queiroz

Universidade Federal do Tocantins, Palmas- TO, Brasil, janainasantana.santana1@gmail.com

Raydel Lorenzo Reinaldo

Universidade Federal do Tocantins, Palmas- TO, Brasil, rlorenzo@uft.edu.br

RESUMO: A cidade de Palmas, capital do Tocantins, apresenta um crescimento vertiginoso desde sua fundação em 1989. Assim, as transformações no espaço urbano são intensas com o ritmo contínuo de abertura e pavimentação de vias, construção de viadutos, obras de saneamento, construção de edifícios de múltiplos pavimentos, espaços subterrâneos, entre outros. Em contraposição a esse dinamismo, pouco se conhece sobre o subsolo da região e, por vezes, provas de cargas apontam problemas nas fundações dos edifícios e são verificados acidentes em escavações. Nesse trabalho são apresentados os resultados obtidos por meio de ensaios geofísicos de eletrorresistividade realizados em cinco pontos estratégicos da cidade, escolhidos de modo a caracterizar os principais tipos de solos observados na área de estudo. Aliados aos ensaios geofísicos foram programados ensaios de sondagem à percussão (SPT), dois em cada linha sendo dez ao todo, de modo a permitir uma análise aprofundada dos perfis estudados. Foram realizados ensaios geofísicos com linhas de aproximadamente 400 m de comprimento e com capacidade de captar dados a até 13 m de profundidade na configuração dipolo-dipolo do equipamento. Após uma avaliação preliminar dos perfis obtidos foram escolhidos pontos sobre as linhas para serem realizados os ensaios de sondagem à percussão, assim foi possível a complementação bem como a calibração das informações obtidas por meio da geofísica e, permitindo assim, descrever com maior precisão cada um dos perfis traçados. Os resultados obtidos ressaltaram a influência e a necessidade do conhecimento geológico local na interpretação de perfis geotécnicos por meio de ensaios geofísicos, bem como da influência da umidade em relação aos valores de eletrorresistividade verificados nos perfis analisados. Por outro lado, observa-se que a associação entre a geofísica e o ensaio SPT possibilita um ganho significativo no que tange a qualidade das informações e também no que se refere à quantidade das mesmas, favorecendo de sobremaneira os insumos para um projeto geotécnico. A possibilidade de contato direto com as amostras no SPT, aliadas aos perfis contínuos da eletrorresistividade permitem ao projetista maior segurança ao assumir a

homogeneidade de certo terreno ou, por outro lado, sua heterogeneidade. Por fim, os resultados combinados das duas análises permitiram compreender melhor os principais perfis geotécnicos da cidade de Palmas, contribuindo assim para a prática local.

PALAVRAS-CHAVE: Investigação do subsolo, Geofísica, Eletrorresistividade, Sondagem SPT.

1 INTRODUÇÃO

Os perfis geotécnicos permitem a identificação dos solos e das rochas que formam as camadas de interesse para a construção civil, apresentando grande importância na otimização de projetos (fundações de edifícios, estabilidade de estruturas, pavimentação, entre outros).

O método mais utilizado atualmente, no Brasil, para a determinação dos tipos de solo, perfil geológico, consistência dos solos, além da capacidade de carga das camadas do subsolo é a sondagem à percussão, que é conhecida como sondagem de simples reconhecimento com SPT (*Standart Penetration Test*), cujo mesmo é identificado pela normalização da ABNT na NBR 6484.

Desse ensaio são retiradas as mais diversas informações, seja de forma direta ou indireta, por meio de correlações. Entretanto, essas informações são pontuais e as ferramentas de interpolação exigiriam uma quantidade grande de pontos de sondagem para permitir sua espacialização, onerando significativamente o processo.

Assim, têm-se os métodos geofísicos de investigação geotécnica, que permitem viabilizar uma ampla e rápida aquisição de dados do subsolo. Esses ensaios se distinguem por serem métodos conservativos, e podem apresentar enfoques diferentes, dependendo da demanda.

Nesse trabalho foram realizados estudos da resistividade elétrica do solo, que segundo Telford et al. (1990) baseia-se no estudo do potencial elétrico tanto dos campos elétricos naturais, existente na crosta terrestre, como dos campos artificialmente provocados. A partir de medições do potencial elétrico da superfície pode se determinar no subsolo, a existência de corpos minerais, e reconhecer estruturas geológicas.

O método da percussão nesse projeto teve como objetivo principal medir a capacidade de carga do solo em várias profundidades, além do

reconhecimento das variadas camadas de solo que compõem o subsolo. Já os ensaios geofísicos, estabeleceram características sobre as estruturas geológicas, em um estudo amplo em grandes áreas em uma forma rápida. Nesse método utiliza-se a resistividade elétrica que se baseia no princípio que a condutividade varia com a ionização dos sais presentes nos materiais.

O projeto tem por finalidade fazer a análise de perfis geotécnicos de 5 regiões estrategicamente escolhidas no plano diretor da cidade de Palmas, no estado do Tocantins, utilizando os métodos de eletrorresistividade e de SPT caracterizando a área de amostragem. Aliando informações técnicas como a topografia da região, assim como outros estudos prévios, foi possível estabelecer um estudo inédito para o solo palmense e seu comportamento.

Sobre o método empregado, se trata da passagem de uma corrente elétrica no subsolo por meio de 24 eletrodos cravados no solo. A aquisição de dados se deu por meio da máquina *Syscal Kid®*, sendo o parâmetro físico mensurado a resistividade elétrica (ou seu inverso, condutividade elétrica). Que pode variar segundo vários fatores como o grau de saturação, condutividade do líquido intersticial, densidade do meio condutivo, temperatura, dentre outros.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

A área de estudos está localizada na cidade de Palmas, no estado do Tocantins, sendo margeada à oeste pelo Lago formado pela UHE Luís Eduardo Magalhães e a leste pelas Serras do Carmo e do Lajeado, sua altitude média é de 260 metros acima do nível do mar e possui área territorial de aproximadamente 2.572 Km²,

correspondente ao plano diretor da cidade (Tocantins, 1997).

Dentro do plano diretor foram escolhidas 5 áreas específicas para serem desenvolvidos os estudos, os critérios utilizados na escolha consideraram projetos de desenvolvimento da cidade, tais como linhas de transporte, pontes, empreendimentos imobiliários, além de questões geológicas, onde se buscou exemplares dos principais tipos de perfis mais comumente encontrados na cidade.

As regiões escolhidas estão localizadas na região centro norte da cidade, sendo elas denominadas: Sesc, Parque Sussuapara, Orla 14, Espaço Cultural e Parque Cesamar. A Figura 1 apresenta a localização das linhas de eletrorresistividade realizadas.



Figura 1: Localização e denominação das áreas de estudo (Google Earth).

2.2 Geologia

O plano diretor da cidade engloba três formações geológicas: Terraços Fluviais do Rio Tocantins, Formação Pimenteiras e Formação Serra Grande. Dessas formações destacam-se a Formação Pimenteiras e os terraços fluviais do rio Tocantins, onde se localizam a maior parte da cidade e que apresentam características bastante distintas.

Segundo Hasui *et. al* (2012), a Formação Pimenteiras apresenta uma sucessão de camadas argilosas siltosas e arenosas com a presença de concreções ferruginosas. As áreas pertencentes a essa formação apresentam uma permeabilidade relativamente baixa e podem apresentar problemas de expansibilidade.

Sob a Formação Pimenteiras são encontradas fraturas distensivas que são preenchidas por material arenoso, formando regiões de alta permeabilidade.

Ainda segundo o autor, os terraços fluviais apresentam espessas camadas arenosas com a presença de camadas de seixo formadas pela atuação do rio que lhe dá nome. As áreas sobre essa formação apresentam permeabilidade elevada e nível freático pouco profundo (1 a 4 m). A Figura 2 ilustra essas informações geológicas.

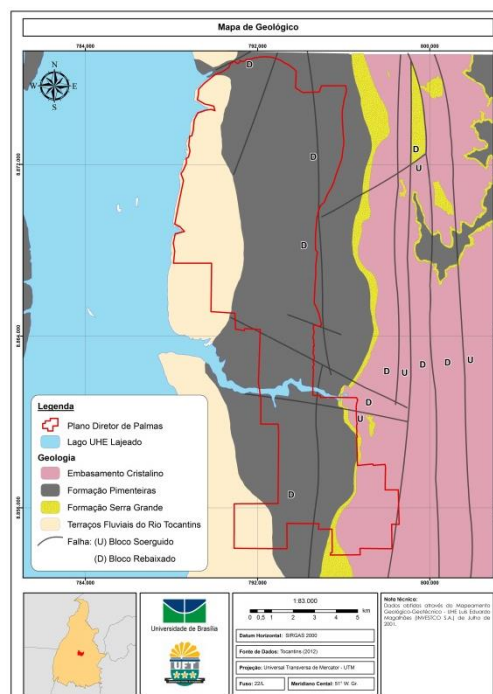


Figura 2: Disposição geológica da cidade (Investco, 2001).

3 METODOLOGIA

3.1 Revisão Teórica

Os métodos geofísicos consistem em caracterizar o solo a partir das características físicas indiretas, tais como a velocidade de propagação de ondas mecânicas ou a resistividade elétrica.

O método geoeletrico, empregado nesse trabalho, consiste na aplicação de uma diferença de potencial entre dois eletrodos cravados ao solo e a consequente medida da resistência elétrica observada.

Em mais detalhes, a aplicação deste método se dá através da injeção de corrente elétrica no

solo através de eletrodos cravados na superfície do terreno. A profundidade atingida por esses eletrodos depende especificamente do meio em que a corrente elétrica atravessa e principalmente da distância entre os eletrodos, sendo que quanto maior for essa separação entre os mesmos, maiores serão as profundidades a serem investigadas.

Os primeiros trabalhos de aplicação deste método foram na prospecção mineral e datam do início do século XX. Dentre os diversos pesquisadores que contribuíram para o desenvolvimento do método destacam-se Conrad Schlumberger e Frank Wenner. Eles foram responsáveis pela introdução do arranjo de quatro eletrodos para medidas de resistividade em superfície. (FATIMA, 2004, p. 24).

O ensaio de sondagem à percussão SPT são amplamente aplicados no Brasil e contam com um respaldo técnico e bibliográfico bastante extenso. Tal ensaio consiste na cravação de um amostrador padrão sob uma mesma energia em 3 trechos de 15 cm de profundidade com a consequente coleta de amostra para caracterização tátil visual, NBR 6484 (2001).

Alguns autores defendem a aquisição dos dados de recuperação do amostrador, semelhante ao que se faz em sondagens rotativas, que é recomendado pela norma americana (ASTM D 1586-99). Tal informação poderia ser utilizada na complementação dos dados obtidos no ensaio.

3.2 Ensaios de Eletorresistividade

Os ensaios de eletorresistividade seguiram como padrão a cravação de estacas metálicas no solo ao longo da linha previamente definida, sua conexão aos cabos e a sequente conexão à central de aquisição de dados. Quando necessário, foi umedecido a área de contato entre os eletrodos e o solo.

O equipamento foi configurado para o arranjo dipolo-dipolo, com espaçamento de 3,0 m entre eletrodos em linhas de 70 m de comprimento. Nesse arranjo a profundidade de alcance foi de 13 m.

Após a aquisição de dados no primeiro trecho procedeu-se ao avanço do caminhamento elétrico avançando metade da linha, ou seja, 35

m. Assim, tornando possível na análise a sobreposição de trechos para futura confrontação de dados. A Figura 3 apresenta algumas ilustrações desse ensaio.



Figura 3: Ensaio de eletorresistividade (próprio autor).

3.3 Sondagem SPT

Após a realização da campanha de ensaios de eletorresistividade foram escolhidos 2 pontos em cada caminhamento elétrico para a realização de ensaios de sondagem à percussão, totalizando 10 sondagens SPT, duas para cada uma das 5 regiões previamente delimitadas.

As sondagens foram cedidas pela empresa Técnica Engenharia e acompanhadas pela equipe de realização do trabalho. Faz-se a ressalva que, devido às condições climáticas, não foi possível completar a campanha de Sondagem SPT a tempo. As sondagens 7 a 10 ainda serão realizadas. A Figura 4 apresenta a localização dos pontos de sondagem.



Figura 4: Localização dos pontos de sondagem SPT. Mapa da região de Palmas-TO (Google Earth).

Além dos dados comumente obtidos em ensaios SPT, foram coletados dados de recuperação do amostrador com o objetivo de compreender melhor o comportamento do solo, como mostra a Figura 5.



Figura 5: Medição da recuperação do amostrador (próprio autor).

3.4 Análise dos Dados

Após a aquisição dos dados de campo iniciou-se o processo de análise dos dados. Inicialmente os dados de eletrorresistividade foram transferidos ao computador onde, por meio de software do próprio equipamento, foram invertidos e interpolados.

Foram inseridos dados de topografia a partir de um modelo digital de terreno disponível, bem como a posição e a descrição física dos materiais encontrados nas sondagens à percussão.

Uma vez concluído os modelos digitais e dispondo dos boletins de sondagem procedeu-se à interpretação dos perfis geotécnicos.

4 RESULTADOS

Aqui são apresentados os principais perfis geotécnicos obtidos assim como considerações pertinentes sobre os mesmos.

4.1 Zona do Espaço Cultural

A área em questão se localiza na área sul da cidade, próxima ao centro. Por ela passa um

curso d'água em um pequeno vale encaixado. Nessa área está previsto um projeto de transporte coletivo e a execução de uma ponte. A Figura 6 apresenta um dos perfis eletrorresistivos obtidos.

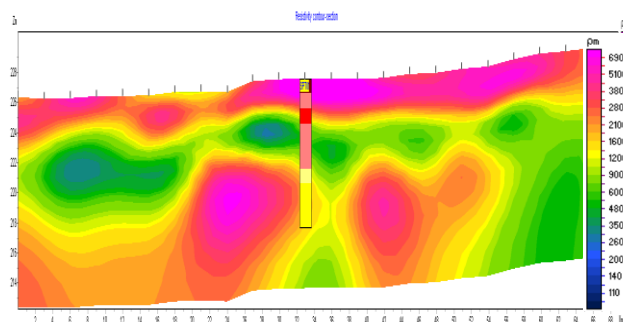


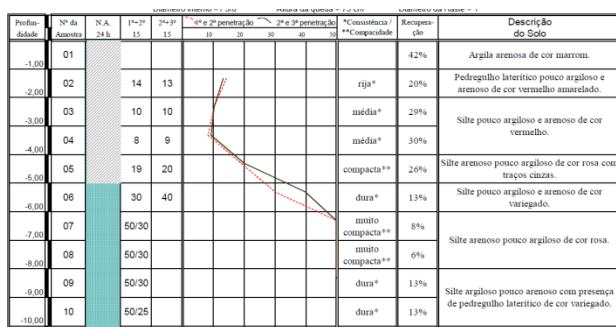
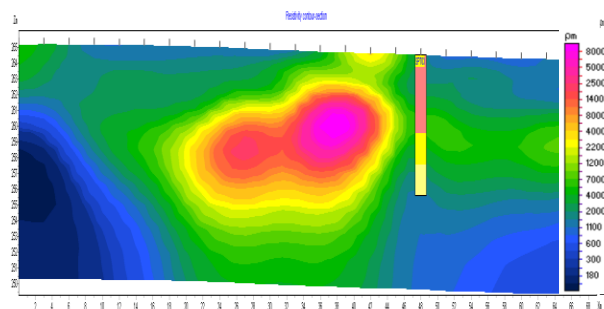
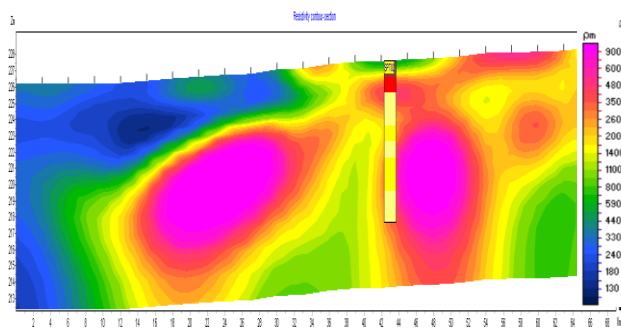
Figura 6: Perfil eletrorresistivo, espaço Cultural Norte (próprio autor). Nota: a legenda à esquerda indica a profundidade a cada 2 m; a inserção ao centro simboliza o perfil de sondagem SPT.

Podemos observar a ocorrência de uma camada superficial com elevada resistividade, abaixo dela temos uma queda acentuada desse valor, associada à ocorrência de lençol freático. Na sequência ocorre um súbito aumento da resistividade, associada à camada de pedregulho laterítico, como mostra a Figura 7. Por fim, verifica-se a queda do valor da resistividade elétrica o que é acompanhada pelo fim da camada de pedregulho e o início da camada de saprólito (silte roxo/amarelo).

Profundidade (m)	Nº da Amostra	N.A. 24 h	Diâmetro interno = 1.38"				Altura da queda = 75 cm		Diâmetro da Haste = 1"	Descrição do Solo
			1º e 2º	3º e 4º	5º e 6º	7º e 8º	9º e 10º	11º e 12º		
-1.00	01									Camada vegetal.
-2.00	02		13	13						Argila silteosa pouco arenosa de cor marrom.
-3.00	03		15	17						Pedregulho laterítico pouco argiloso arenoso de cor vermelho amarelado.
-4.00	04		5	6						Argila silteosa pouco arenosa com presença de pedregulho laterítico de cor marrom.
-5.00	05		7	7						Argila silteosa pouco arenosa com presença de pedregulho laterítico de cor marrom.
-6.00	06		50/10							Silte argiloso pouco arenoso de cor amarela com traços cinza.
-7.00	07		10	13						Silte argiloso pouco arenoso de cor amarela com traços cinza.
-8.00	08		50/10							Silte arenoso de cor vermelho.
-9.00	09		50/10							Silte arenoso de cor vermelho.
-10.00	10		50/13							Silte pouco argiloso arenoso de cor rosa.

Figura 7: Sondagem SPT 01, espaço Cultural Norte (próprio autor).

Na face sul do curso d'água, encontrou-se resultados semelhantes aos daqueles observados na face norte, mostrando que não há diferença estratigráfica significativa entre os dois lados. As Figuras 8 e 9 apresentam o perfil estratigráfico e o boletim de sondagem para a seção.

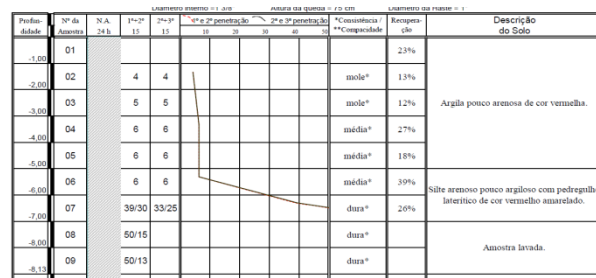
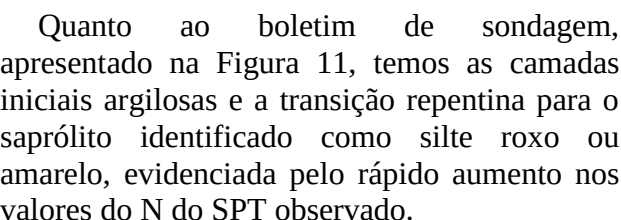


Assim, para essa área encontramos uma camada superficial pouco arenosa com baixo NSPT e elevada eletrorresistividade, podendo ser atribuída à baixa umidade da camada superficial.

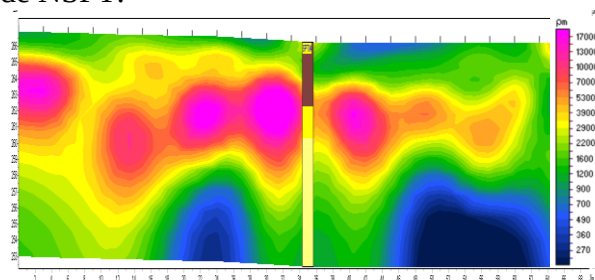
Em determinados pontos e em profundidade variável pode-se facilmente identificar camadas de pedregulho laterítico contrastando fortemente com os materiais mais finos predominantes na seção.

4.2 Zona do Sesc

A área em questão também sofrerá intervenção para implantação de via de transporte. Essa área se encontra no ponto mais alto da cidade. A Figura 10 apresenta o perfil eletrorresistivo obtido e onde podemos observar claramente um bolsão de contraste.



O perfil eletrorresistivo da Figura 12 identifica uma camada generalizada de contraste, analisando o boletim de sondagem da Figura 13 podemos observar a ocorrência de uma camada laterítica nesse trecho, acompanhada com um súbito aumento do valor de NSPT.



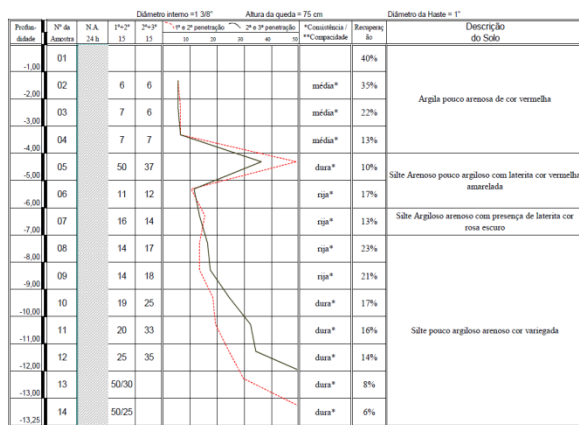


Figura 13: Sondagem SPT 04, Sesc (próprio autor).

4.3 Zona do Parque Sussuapara

O parque Sussuapara, ao contrário dos demais trechos analisados, se encontra nos Terraços Fluviais do Rio Tocantins. O perfil eletrorresistivo mostrado na Figura 14 evidencia a ocorrência de bolsões com valores altos e baixos de eletrorresistividade.

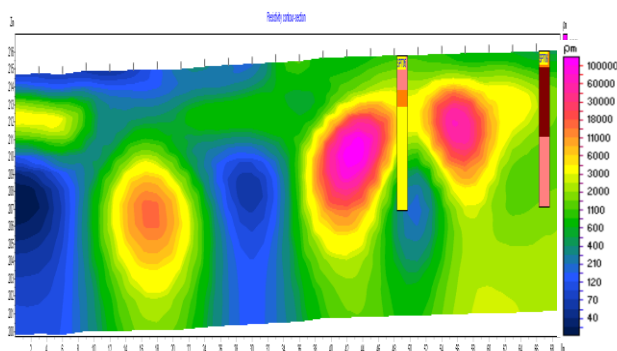


Figura 14: Perfil eletrorresistivo, Zona do Parque da Sussuapara (próprio autor). Nota: a legenda à esquerda indica a profundidade a cada 2 m; a inserção ao centro simboliza o perfil de sondagem SPT.

As sondagens, Figuras 15 e 16, mostram a presença de linhas de seixo na altura dos pontos de maior eletrorresistividade, já os pontos de baixa eletrorresistividade são explicados por depósitos de areia fofa.

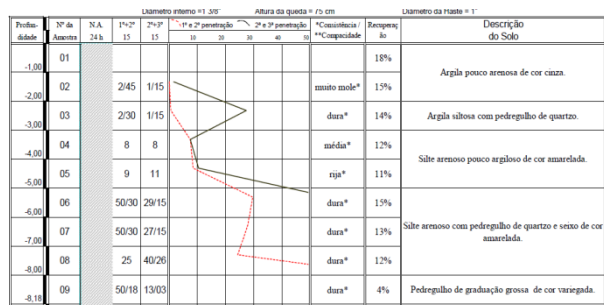


Figura 15: Sondagem SPT 05, Sussuapara (próprio autor).

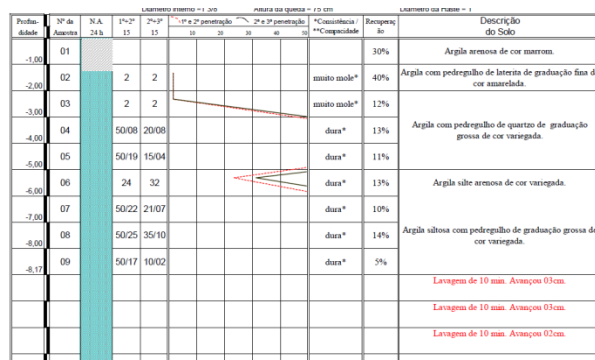


Figura 16: Sondagem SPT 06, Zona do Parque da Sussuapara (próprio autor).

4 CONCLUSÕES

Os perfis eletrorresistivos obtidos permitiram visualizar ao longo de uma linha contínua os contrastes causados pela variação do tipo de solo.

A sondagem SPT realizada sobre o caminhamento elétrico permitiu traduzir o contraste observado pela eletrorresistividade em diferentes ocorrências de solo.

Assim, é possível amplificar de forma considerável a qualidade e a quantidade de informações geotécnicas utilizando-se dessas duas técnicas de investigação de campo.

Quanto ao conhecimento local, pôde-se associar à descrição geológica previamente disponível com os perfis de fato obtidos. Ainda, por meio dos perfis foi possível identificar informações relevantes, como a presença de camadas pedregulhosas, nível freático e topo do saprólito.

O percentual de recuperação é um importante indicador, podendo ser correlacionado com a densidade do material *in situ*, por exemplo, e quando aliado à umidade natural permite esclarecer resultados obtidos na eletrorresistividade, muito sensível às variações de umidade do solo.

Assim, recomenda-se o aprofundamento de pesquisas, buscando ampliar o conhecimento e o estabelecimento de parâmetros que viabilizem o trabalho conjunto de investigações diretas e indiretas, notadamente a sondagem SPT e a eletrorresistividade.

Recomenda-se ainda a incorporação da umidade natural e índice de recuperação nos

boletins de sondagem gerados.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2001). NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 17 p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1999). D 1586 – 99: Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils. West Conshohocken: Astm, 5 p.
- CAMPOS, A. F. (2004). Utilização de métodos geoeletricos na caracterização de rochas fraturadas. Estudo de caso nos arenitos do grupo Itararé – Bacia do Paraná. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 122p.
- Hasui, Y., Carneiro, C. D. R., Almeida, F. F. M., Bartorelli, A. (2012). Geologia do Brasil. Primeira Edição, Beca-BALL edições. São Paulo, 906p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Cidades [online] Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=172100>>. Acesso em: 10 Mar. 2016
- NOTÍCIAS DA CONSTRUÇÃO (2012). Santa Cecília: Sinduscon, 2p.
- A, 685 p.