



**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA DO SOLO DO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE ATRAVÉS
DE SONDAÇÃO SPT E A COMPARAÇÃO COM AS LITOLOGIAS DA REGIÃO**

Porto Alegre, 2015

PEDRO DE ARAUJO MEIRELLES LEITE

Análise da resistência do solo no município de Porto Alegre através de Sondagem SPT e a comparação com as litologias da região

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia:

Orientador: Prof. Dr. Clovis Gonzatti

Porto Alegre, 2015

Leite, Pedro de Araujo Meirelles

Análise da resistência do solo do município de Porto Alegre através de sondagem SPT E a comparação com as litologias da região . / Pedro de Araujo Meirelles Leite. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2015. [88 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2015.

Orientador(es): Clovis Gonzatti

1. Geologia de Engenharia 2. Fundações 3. Sondagem SPT 4. Porto Alegre I. Título.

CDU 55

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Veleida Ana Blank

CRB 10/571

***“O entusiasmo é a maior força da alma, Conserva-o e nunca te faltará poder para
conseguires o que desejas.”***

Napoleão Bonaparte

RESUMO

Com a estabilidade econômica proveniente do Plano Real e os avanços sociais observados nos últimos anos o Brasil passou a ser um país de classe média sendo esta representada por mais de 90 milhões de pessoas segundo o IBGE (2012). A principal conquista para as famílias desta nova classe média é a aquisição da casa própria o que causou um novo ciclo da construção civil e grande valorização imobiliária nas principais regiões metropolitanas do país. O objetivo deste trabalho é produzir uma carta geotécnica na escala 1:100.000 de adequabilidade à fundações indicando a resistência do solo através de dois principais fatores: o número de golpes e o material predominante na sondagem a percussão e a litologia dominante em cada região amostrada. A região de estudo abrange todo o município de Porto Alegre onde se observou uma das maiores valorizações imobiliárias do país com cerca de 110% nos últimos quatro anos segundo a revista EXAME. A sondagem a percussão é amplamente utilizada no cálculo de dimensionamento de fundações profundas e na escolha do tipo de fundação utilizada, sendo normalmente a primeira etapa em qualquer construção independente do tamanho do empreendimento; as sondagens são executadas de acordo com NBR 6484. O mapa geológico do município de Schneider et al (1974) modificado por Phillip et al (2002) foi combinado com o mapa de aproveitamento mineral da região metropolitana de Porto Alegre desenvolvido pela CPRM (2006) resultando num novo mapa geológico que será utilizado como base geológica, para assim apresentar uma geologia atual o qual poderá ser aproveitado para uma futura expansão no estudo geotécnico de toda região metropolitana. A malha de furos no presente momento consiste de 220 furos em 50 locações diferentes. Na execução das sondagens foi observada a localização de cada furo (GPS), o nível d'água inicial e 24 horas após a conclusão do mesmo, o tipo de material predominante, a cor e presença de minerais micáceos. Situações geológicas especiais serão descritas como "estudo de caso", com um maior detalhe demonstrando a importância de uma investigação geotécnica executada de acordo com a melhor técnica e problemas a serem evitados na execução. São três grandes objetivos a serem determinados no projeto: O Zoneamento para a realização de fundações na cidade de Porto Alegre; características de resistência solo nas diferentes áreas e profundidades amostradas e as vantagens e limitações do uso da sondagem à percussão.

Palavras-Chave: Geologia de Engenharia, Fundações, Porto Alegre, Sondagem SPT, Cartas Geotécnicas.

ABSTRACT

With the economic stability from Real Plan and the social advances in the recent years, Brazil started a new era in his history, with a middle class with more than 90 million people according to IBGE (2012). The main goal for these new middle class families is living in its own house, which started a new construction cycle and a huge increase on the real state prices in all Brazil metropolitan's regions. The objective of this paper is to produce a geotechnical map in 1:100.00 scale for foundations suitability with two majors factors: the number of hits and the predominant material in percussion drilling (SPT) and the dominant lithology of the area. The study area cover all Porto Alegre city where has been observed one of the biggest real state price raises with circa 110% in the last four years according EXAME magazine. The percussion drilling is wide used in deep foundation calculation helping choose the right foundation method for each site. Usually the percussion drilling is the first phase of any construction, all drilling were executed following the NBR 6484 standard. The geological map was produced based on the Porto Alegre geology by Scheneider (1074) modified by Phillip (2002) merged with the ore utilization for the metropolitan region of Porto Alegre by CPRM (2006) , the result was a new geological map with actual geology which can be availed for further studies in all metropolitan region. The drilling mesh has a total of 220 on 50 different sites. During the execution some attributes were recorded: localization with GPS, starting and finish water level, the predominant material, the color and the presence of micaceous minerals. Especial geological situations will be describe as "Case Study" these situations will have a bigger scale and more details showing how important is a good geotechnical study and execution hazards and how to avoid them. The three majors' objectives in this paper are the zoning of foundation areas with grades from good to bad, the soil characteristics in each area and deep and the advantages and limitations of the percussion drilling.

Key-Words: Geotechnical, Foundations, Porto Alegre, Percussion Drilling SPT, Geotechnical Maps.

Lista de Ilustrações

Figura 1 - Mapa de Planejamento Urbano de Porto Alegre (Secretaria de Planejamento Municipal, 2000)	19
Figura 2 - Mapa Geomorfológico de Porto Alegre (Vilaverde Moura Fujimoto & Soares Dias, 2008).....	23
Figura 3 - Mapa Geológico do Batólito Pelotas (Philipp, Machado, & Nardi, 2002)...	29
Figura 4 - Mapa Geológico de Porto Alegre baseado em (Schneider, 1974) e (Zanini & Pimentel, 2006).....	32
Figura 5 - Conjunto tripé, roldanas e peso padrão (ABEF, 2004).....	37
Figura 6 - Peso Padrão (Meirelles, 2015).....	38
Figura 7 - Especificações Técnicas do Amostrador Padrão (ABNT A. B., 2001)	39
Figura 8 - Amostrador Padrão (ABEF, 2004)	40
Figura 9 - Amostrador Padrão após coleta de amostras (Meirelles, 2015)	43
Figura 10 - Procedimento de Lavagem (ABEF, 2004).....	45
Figura 11 - Equipamento de medida de nível d água com apito sonoro (ABEF, 2004)	46
Figura 12 - Caixas de acomodação de amostras (Meirelles, 2015)	47
Figura 13 - Teste de Dilatância (Gonzatti, 2013).....	49
Figura 14 - Teste de Resistência do Solo Seco (Gonzatti, 2013).....	50
Figura 15 - Teste de Lavar as Mãos (Gonzatti, 2013)	51
Figura 16 - Boletim de Sondagem (Meirelles, 2015)	52
Figura 17 - Relatório de Sondagem (Meirelles, 2015).....	54
Figura 18 - Sapata Corrida e Sapata Simples (Watanabe, 2008)	56
Figura 19 - Laje tipo Radier (Watanabe, 2008)	56
Figura 20 - Bate - Estacas (Watanabe, 2008)	58
Figura 21 - Processo Construtivo de Estacas Escavadas (Watanabe, 2008)	59
Figura 22 - Método Construtivo da Estaca Tipo Hélice Contínua (Watanabe, 2008)	60
Figura 23 - Execução Estacas Raiz (Watanabe, 2008).....	61
Figura 24- Parte Restante do Matacão "in situ" (Meirelles, 2015)	74
Figura 25 - Estudo de Caso 1 (Meirelles, 2015)	75
Figura 26 - Estudo de Caso 2 (Meirelles, 2015)	79

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Pontos Amostrados x Profundidade (Meirelles, 2015).....	66
Gráfico 2- Percentagem de Furos Representada com o Avanço da Profundidade (Meirelles, 2015).....	67
Gráfico 3 - Nível d'água inicial e 24 horas (Meirelles, 2015)	68

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Dados Pontuais (Meirelles, 2015)	62
Tabela 2 - Tipo de Material (Meirelles, 2015)	62

Sumário

1. ESTADO DA ARTE	10
1.1. Impacto e aplicações teóricas na linha temática do projeto	11
2. INTRODUÇÃO	13
2.1. Caracterização do problema / hipóteses	13
2.2. Justificativa	15
2.3. Objetivos e Metas	15
3. ÁREA DE ESTUDO	17
3.1. Porto Alegre	17
3.1.1. Demografia e Divisões	17
3.1.2. Geografia	20
3.1.3. Planalto Uruguaio Sulriograndense	20
3.1.4. Planície e/ou terras baixas costeiras	24
3.1.5. Cultura e História	26
4. GEOLOGIA	28
4.1. Rio Grande do Sul	28
4.1.1. Suíte intrusiva Don Feliciano	30
4.1.2. Suíte intrusiva Viamão	30
4.2. Porto Alegre	30
4.2.1. Embasamento Cristalino	31
4.2.2. Unidades Sedimentares	35
5. METODOLOGIA	36
5.1. O Ensaio Spt	36
5.1.1. Execução	36
5.1.2. Descrição de Amostras	48
5.2. Fundações	55
5.2.1. Fundações Diretas	55
5.2.1.1. Sapata	55
5.2.1.2. Radier	56
5.2.1.3. MicroEstacas	57
5.2.2. Fundações Indiretas	57
5.2.2.1. Bate-Estacas	57
5.2.2.2. Estacas Escavadas	58
5.2.2.3. Hélice Contínua Monitorada	59
5.2.2.4. Estaca Raiz	60

5.3. Banco de Dados.....	61
5.4. Mapeamento Geotécnico	63
5.4.1. Confecção da Carta Geotécnica	64
6.RESULTADOS.....	69
6.1. Estudos de Caso.....	69
6.1.1. Estudo de Caso I – Prédio 7 Andares e Estacionamento Subterrâneo.....	70
6.1.2. Caso 2 – Zona de baixa resistência	76
6.2. Análise de Regiões Amostradas.....	80
6.3. O Potencial da Sondagem a Percussão	81
7. CONCLUSÃO	84
8. BIBLIOGRAFIA	86

1. ESTADO DA ARTE

O presente projeto temático tem como objetivo a elaboração de uma carta geotécnica que correlacione dois fatores principais, a resistência do solo obtida através de sondagens do tipo SPT e as litologias e pedologias presentes no município de Porto Alegre. O assunto já foi abordado na dissertação de mestrado de (Bastos, 1991) onde foi caracterizada a área de estudo e seus principais tipos de solos com uma indicação do seu uso básico. O trabalho citado foca na pedologia e sua caracterização através de ensaios laboratoriais ficando incompleto no tocante à geologia e a ensaios de campo como as sondagens do tipo SPT. Muitos conceitos geológicos utilizados no trabalho base devem ser revistos e atualizados como, por exemplo, a questão dos migmatitos que ocupam grandes áreas no mapa geológico utilizado e que nos últimos mapas, como o do Atlas Ambiental de Porto Alegre, já aparecem como outra litologia. As características da região de estudo como clima, relevo, urbanização foram atualizadas em um trabalho recente (Diagnóstico Ambiental do Município de Porto Alegre, 2004), executado por uma equipe multidisciplinar num convênio entre a FAURGS e a Prefeitura de Porto Alegre colocaram a situação real da cidade quanto à ocupação fundiária e às consequências ao meio ambiente da cidade.

A parte teórica do trabalho é dividida em três partes distintas: Confecção do mapa e suas características base, geologia da área e pedologia da área. Cada uma dessas partes conta com uma referência concreta. A base de cartografia geotécnica segue o planejamento descrito no artigo “Cartografia Geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão” (Diniz, 2009) onde temos uma descrição sucinta de cada tipo de mapa geotécnico, inclusive o mapa para resistência do solo para fundações, e de seus elementos como a escala ideal a ser adotada e o número de características ideais por mapa produzido. O mapa geológico utilizado será baseado no mapa geológico do município de Schneider et al (1974) modificado por Phillip et al (2002) combinado com o mapa de aproveitamento mineral da região metropolitana de Porto Alegre desenvolvido pela CPRM (2006) resultando num novo mapa geológico que será utilizado como base

geológica, para assim apresentar uma geologia atual do município, observando uma grande diferença com a dissertação de mestrado do Eng. Civil Cezar Bastos que tem como base o mapa geológico da folha Porto Alegre (Schneider, 1974). Foi inclusive comentário da dissertação o quanto as informações estavam desatualizadas.

A área de pedologia parte das definições de dois artigos. Primeiro são abordados solos chamados de Podzólicos e Litólicos em “Unidades Geotécnicas de Solos de Porto Alegre” (Bastos & Dias, Unidades Geotécnicas de solos de Porto Alegre, 1995). onde é observado o embasamento cristalino da região e os solos produzidos pela alteração das rochas graníticas e gnáissicas do município. No caso dos solos hidromórficos produzidos no quaternário e por aluviões recentes uma referência mais atual esta disponível na tese de doutorado “Pedogênese e Matéria Orgânica de Solos Hidromórficos da região metropolitana de Porto Alegre” (Neto, 2010) onde essas unidades de solo que são mais problemáticas para a implantação de edificações são minuciosamente descritas facilitando a integração de obras civis com a geologia do município.

A parte prática da realização de investigações geotécnicas vem sendo realizada através de ensaios do tipo SPT e no momento temos uma malha com um total de 220 furos em 50 localidades diferentes na cidade, totalizando 1.800 metros aproximadamente de sondagens realizados. O autor acompanhou cada um desses furos realizando a descrição geotécnica baseada na norma NBR 6484 onde foram abordados tipo de material, cor e resistência do solo e na norma NBR 6502 que define os padrões de rochas e solos presentes na crosta terrestre para fins geotécnicos. A programação do número de furos segue a norma NBR 8036 sendo no mínimo duas sondagens realizadas em terrenos menores que 200 m². As sondagens vêm sendo realizadas desde outubro de 2012 junto ao estágio na empresa FUNDASOLOS e tem autorização do responsável técnico da empresa para serem utilizadas neste trabalho desde que preservado o nome do contratante.

1.1. Impacto e aplicações teóricas na linha temática do projeto

O projeto foi elaborado com o objetivo de facilitar o acesso às informações sobre os solos de município de Porto Alegre. No cenário atual esse tipo de informações é

praticamente inexistente sendo que o único mapa geotécnico disponível, na tese de mestrado já citada do Eng. Civil Cezar Bastos, foi extraviada e não se encontra disponível em formato digital.

O grande objetivo futuro é constituir uma nova plataforma dinâmica com dados atuais dos mais diversos tipos: geológicos, geotécnicos, topográficos, demográficos, etc. e que principalmente seja de fácil atualização e esteja disponível a toda a população em formato digital e físico. Numa nova etapa criar uma carta interativa em parceria com as instituições públicas fortalecendo ainda mais a preocupação com a qualidade de nossas construções e delimitar áreas de não ocupação urbana, áreas de proteção ambiental entre outras. Solicitar as empresas de sondagem a disposição de relatórios em pontos já investigados para aumentar a malha pois, as mesmas recebendo a carta geotécnica da primeira etapa do projeto concluído entenderão que é um trabalho sério que com ajuda desses dados terá uma similaridade cada vez maior com a realidade geológica de Porto Alegre.

2.INTRODUÇÃO

2.1.Caracterização do problema / hipóteses

Com a redemocratização e a adoção do Plano Real a estabilidade econômica passou a ser uma realidade no Brasil ocasionando uma nova onda de confiança entre as grandes e médias empresas do setor da construção civil que gerou primeiro ciclo de investimentos em capacitação de pessoal e execução técnica. Nos últimos anos essa transição se acentuou e o país passou de credor internacional a sétima economia do mundo, dispondo de reservas e crédito para o setor que vinha numa crescente, com esse forte incentivo do Governo Federal o setor da construção civil “ressurgiu” com força total implantando diversos empreendimentos e obras de infraestrutura no território nacional e colocando-se mais uma vez entre os motores da economia brasileira empregando mais de 3,5 milhões de Brasileiros. O município de Porto Alegre como um dos mais populosos da região sul do Brasil acompanhou essa expansão imobiliária e como reflexo observou-se um grande aumento nos preços dos imóveis tornando a construção uma atividade ainda mais atrativa na Capital do Rio Grande do Sul.

Com a oferta de crédito ligada a órgãos federais como BNDES e Caixa Econômica Federal, ficou também a cargo desses órgãos a fiscalização de certos padrões de qualidade no projeto e execução da obra, de forma a prevenir que empresas sem capacidade financeira e técnica assumam projetos de grande porte como a construção de conjuntos habitacionais do programa “Minha Casa Minha Vida”. Assim as empresas contratadas ficam obrigadas a seguir certas etapas predefinidas pelos órgãos financiadores para adquirir o acesso aos financiamentos.

Todos estes fatores constituíram um cenário favorável para que muitas empresas do setor voltassem sua atenção para a execução de sondagens preliminares o que se mostrou acertado com a decisão dos bancos federais de exigir a apresentação das sondagens junto ao projeto executivo do empreendimento.

Essa expansão na execução das sondagens produziu um volume dados com um grande potencial não explorado até o presente momento. A pedra fundamental do projeto a seguir descrito é a utilização desses dados disponibilizados pelas

empresas de sondagem na produção de uma carta geotécnica de fundações, nos locais onde foram executadas sondagens até o presente momento.

Com os dados em mãos a carta geotécnica pretende definir três aspectos principais das sondagens na sua representação, número de golpes SPT –Standard Penetration Test, até o impenetrável, tipo de material e profundidade da região impenetrável. O número de golpes SPT define a resistência de carga daquela região sendo o fator mais importante na escolha do tipo de fundações. Outros fatores secundários como nível de água inicial e 24 horas também serão incluídos aprimorando as informações disponíveis na carta. As unidades de solos existentes em Porto Alegre se dividem grosseiramente em três tipos representando uma litologia e uma resistência de solo características são elas: Granitos com sua camada de alteração e seus diferentes exemplares característicos de cada zona da cidade, que dominam áreas de relevo mais alto como o Morro da Cruz, Apamecor, Santa Teresa, etc. que geralmente apresentam uma resistência maior a carga; Os depósitos de planície fluvio coluvionares como no arroio Dilúvio apresentam uma intercalação de camadas de solos moles (siltes argilosos, cor cinza) com camadas de solos grossos (areias de granulometria média a grossa, pouco siltosas) com uma resistência intermediária; e por fim as planícies de inundação com solos moles (argilas orgânicas na sua maioria) localizadas na região do Aeroporto Salgado Filho com resistências extremamente baixas. Estes índices de resistência refletem o indicado na bibliografia. O presente trabalho visa determinar com ensaios de campo se estas afirmações condizem com a realidade da situação atual ou deverão ser corrigidas com informações atualizadas.

Durante o processo de confecção da carta poderá ser verificado o potencial do teste SPT e suas vantagens e desvantagens perante a identificação do solo e principalmente suas limitações no tocante a execução, aquisição dos dados e confiabilidade dos mesmos. Também serão determinadas as condicionantes geológico-geotécnicas para a realização de fundações e sua correlação com os resultados obtidos com a execução de sondagens tipo SPT.

2.2. Justificativa

A confecção de uma carta geotécnica de fundações do município de Porto Alegre é motivada pela falta de informações preliminares sobre a capacidade dos solos disponíveis a população. A carta será um instrumento de fácil acesso na identificação de regiões com maior ou menor aptidão para implantação dos diversos empreendimentos projetados para nossa cidade. Com a aquisição dessas informações muitas dificuldades de execução e projeto que aparecem com o início das escavações poderão ser facilmente identificadas e as medidas remediadoras serão tomadas e forma imediata, aumentando a produção e a velocidade da construção. O fator custo também deve ser analisado já que o gasto com fundações pode chegar a 30% do valor total da obra, em locais de solos moles onde o uso de fundações profundas de até 30,00 metros é necessário em contrapartida temos um custo de cerca 6% do total em locais onde temos há a presença de rocha granítica praticamente aflorante.

Pessoas em busca da casa própria que muitas vezes buscam loteamentos pela segurança e infraestruturas oferecidas terão acesso à condição previa da região onde foi instalado o empreendimento. Como os terrenos de menor custo geralmente possuem solos moles ou são áreas degradadas que após um processo de terraplanagem realizado pelas incorporadoras acabam por maquiar as reais condições de construção do terreno ludibriando o comprador que descobre o problema após a compra. O terreno que onde seria construída a casa dos sonhos do proprietário simplesmente não suporta tal projeto ou mesmo os custos da execução são extremamente limitantes a tal situação.

Esses exemplos demonstram o motivo o qual essa carta será importante para todos aqueles que pretendem no presente o no futuro construir sua casa própria ou mesmo investir no setor imobiliário da capital.

2.3. Objetivos e Metas

O grande objetivo do trabalho é a confecção de um mapa geológico-geotécnico na escala 1:100.000, abrangendo todo município de Porto Alegre onde será feita a interpolação entre o número de golpes da sondagem tipo SPT e a

litologia da região. Dessa forma poderá ser formulada uma teoria sobre as condicionantes geológico-geotécnicas para a realização de fundações em função desses aspectos, as características de resistência SPT nas diferentes locações e suas respectivas profundidades analisadas e por fim uma análise sobre as vantagens e limitações do uso de cartas geotécnicas aplicadas ao projeto de fundações.

Os objetivos do trabalho se dividem em quatro áreas distintas, em ordem de importância para o projeto são:

1. Confecção de uma carta geotécnica aplicada a fundações, na escala 1:100.000 da áreas cobertas por sondagens do município de Porto Alegre;
2. Adquirir treinamento na realização do mapeamento geotécnico, identificando os atributos interessantes ao projeto;
3. Disponibilizar informações preliminares a população sobre o município;

As metas iniciais para a execução das sondagens, classificação dos dados são as seguintes:

1. Elaboração de uma carta geotécnica de fundações aplicável as regiões cobertas pelas sondagens;
2. Organização de um banco de dados com pelo menos 150 sondagens;
3. Realizar dois estudos de casos relevantes ao entendimento das potencialidades da sondagem SPT e produzir os mapas da região em destaque;
4. Identificar o potencial da sondagem SPT suas vantagens e limitações.

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. Porto Alegre

O município de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul, com cerca de 1.4 milhões de habitantes segundo dados da Prefeitura Municipal localiza-se dentro das coordenadas (30°1'58" S e 51° 13' 48") na região sul do Brasil. A cidade destaca-se nas mais diversas atividades econômicas como comércio, construção civil e setor primário mas sua grande força está no setor de serviços e na administração pública que respondem por quase 30% do universo de 767 mil empregados de acordo com a plataforma (DataViva, 2014).

3.1.1. Demografia e Divisões

A cidade se divide atualmente em 81 bairros (Secretaria Municipal de Planejamento) e informalmente em quatro grandes zonas (centro, sul, leste e norte). A ocupação do terreno da cidade é desigual com áreas altamente povoadas como a região central (bairros Centro, Centro Histórico, Menino Deus, Bonfim, Petrópolis, etc.) contrastando com áreas praticamente intocadas como os bairros Lami e Belém Novo.

A prefeitura define um termo bastante interessante para adequar regiões com baixa a média densidade demográfica ao interesse do mercado imobiliário e afastar esse mesmo interesse de áreas com superpovoamento que é o termo de "solo criado". Baseado em estudos realizados pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul foram definidos 24 coeficientes que indicam áreas ideais para expansão ou não da verticalização da cidade. Em caso de um investidor adquirir um terreno numa área qualquer da cidade e decidir construir um empreendimento de capacidade maior que a prevista no plano diretor ele deve pagar por esse avanço na capacidade que é o "Solo Criado". Segundo o plano de ações e determinação das regiões para qual o município deve avançar foi produzido um mapa base (figura 1) onde temos um índice de áreas com a possibilidade de solo criado é maior ou menor, além de

localidades ditas especiais como parques, terrenos públicos, zonas de proteção ambiental, etc.

O mapa reflete um grande cuidado na expansão da cidade, pois são privilegiadas regiões não só de baixa ocupação, mas também regiões próximas a serviços públicos e principalmente junto a vias chamadas radiais pelo programa onde o cidadão será privilegiado com uma facilidade de transporte no seu dia-a-dia. Áreas puramente residenciais com habitações de no máximo três pavimentos ficam na chamada zona de reserva que caso sejam necessárias poderão num futuro fazer parte desse zoneamento de expansão, mas que no momento se encontram exatamente como aparece no mapa “reserva de ajuste”. Como o programa é datado de 2000, podemos observar que a cidade realmente avançou para zonas indicadas como “ocupação rarefeita” principalmente na região dos bairros Vila Nova na zona Sul e para a borda da cidade próxima aos bairros Sarandi e Jardim Lindoia, a diferença fica pelo tipo de habitação enquanto na zona sul foi construído grandes condomínios de casas, na zona norte a maioria dos empreendimentos são condomínios de torres de apartamentos com grande densidade populacional.

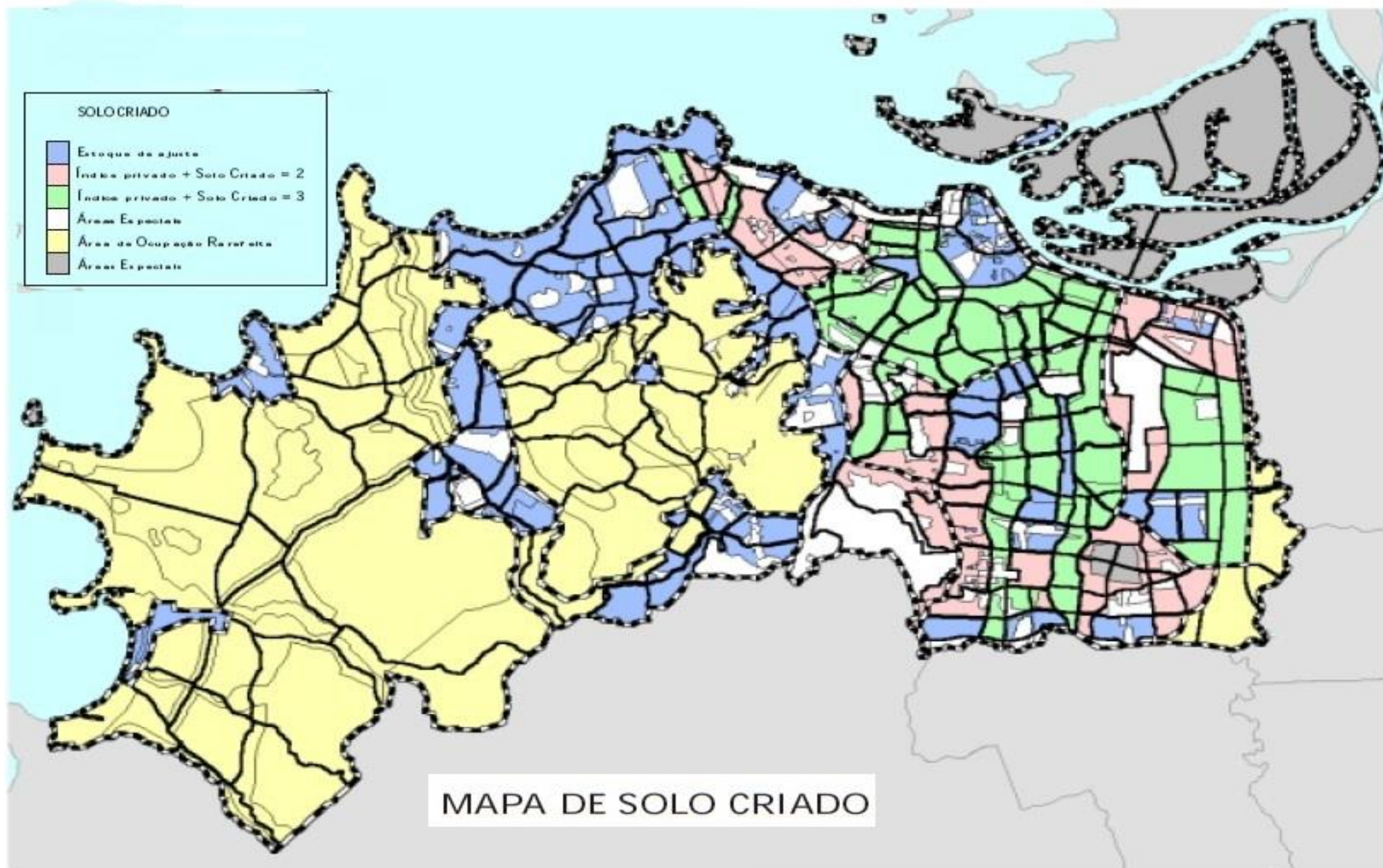


Figura 1 - Mapa de Planejamento Urbano de Porto Alegre (Secretaria de Planejamento Municipal, 2000)

3.1.2. Geografia

O município de Porto Alegre tem em seu relevo uma limitação natural para sua ocupação, com cerca de 65% de sua área dominada por morros a cidade conserva 30% da sua área como área rural (Secretaria Municipal de Turismo) que atua como um santuário de preservação ao redor da cidade. O ponto mais alto é o Morro Santana com 311 metros de altura.

Dentro do município temos duas unidades morfoestruturas dominantes a primeira derivada do escudo Uruguaio Sul Riograndense é o planalto Uruguaio Sul Riograndense com seus morros e colinas. A outra unidade é a Planície e/ou Terras Baixa Costeira derivada da Bacia Sedimentar de Pelotas que apresenta planícies fluviais com características distintas e patamares planos, além destas duas grandes unidades morfoestruturais temos a região que sofreu uma modificação por parte do ser humano que é o aterro que deu origem ao parque Marinha do Brasil e arredores.

A região das ilhas do delta do Jacuí é outro local de preservação mesmo com o aumento das invasões e moradias ilegais, ainda tem relativamente grande parte de sua vegetação preservada.

3.1.3. Planalto Uruguaio Sulriograndense

De acordo com o Mapa Geomorfológico de Porto Alegre (figura 2) e seu relatório (Vilaverde Moura Fujimoto & Soares Dias, 2008), As formas de relevo derivadas do Planalto Uruguaio Sulriograndense dominam a área do município de Porto Alegre. São quatro tipos de formas principais.

No Padrão Forma de Morros são rochas graníticas originadas da evolução do cinturão orogênico Dom Feliciano representadas por uma associação de rochas alongadas num trend NE-SW. São morros com topos convexos e em alguns casos aguçados quase como cristas, representam as maiores altitudes do município com cerca de 220 metros de altitude média (Morro Santana 311 ponto mais alto) e declividade entre 10 e 20%. Os cursos d água encontram-se em vales bem entalhados em forma de V. A ocupação humana é baixa no topo e nas encostas

mais inclinadas desses morros. O solo nessas condições geralmente é raso com sedimentos procedentes da erosão dos granitos e afloramentos são bem comuns nessa região, a erosão é visível pela desagregação da rocha junto a fraturas e a grande presença de matacões nos campos abaixo dessas encostas. Esse padrão domina a área sudeste/sul da cidade sendo praticamente limitado pela Av. Bento Gonçalves ao norte e Av Vicente Monteggia a Sudoeste, a Av. Oscar Pereira corta praticamente ao meio a região dominada por esta Forma de relevo.

Padrão Forma de Morros Associados com Colinas, que também são constituídos de rochas graníticas, mas contem significativas rampas coluvionares com declividades médias de 2 a 5% que são depósitos originados por processos gravitacionais acompanhando a alteração in situ do embasamento cristalino. Nesse padrão os morros têm topos convexos associados a formas de colinas com topos convexos também, a altura e a declividade desses morros é menor em comparação a Forma de Relevo de Morros ficando no intervalo de 30 a 90 metros com 2-10% de declividade. A delimitação entre morros e colinas é de difícil determinação, as encostas têm segmentos convexo-côncavos, mas os cursos d água se concentram nos segmentos côncavos das encostas que se situam nas altitudes medias a baixa nessas formas de relevo. Os solos dessa região são similares aos da Forma de Morros nas maiores altitudes (rasos, com afloramentos rochosos, etc.) enquanto que nas altitudes baixas a medias aparecem solos mais profundos associados a arroios e demais cursos d água existentes na região. A região dessa forma de relevo fica entre Av. Ipiranga até a Av. Antônio de Carvalho e a Av Assis Brasil, dentro da região norte da cidade. Na região sul ela fica junto a Estrada Afonso Lourenço Mariante e a Estrada João Oliveira Remião.

O Padrão de Forma de Morros Isolados são morros que se encontram isolados devido à variação do nível do mar que ocorreram no Quaternário e dos eventos trans-regressivos marinhos, esses morros faziam parte do grande conjunto de morros que domina a área central da cidade, mas pela invasão do mar durante estes eventos e o posterior preenchimento dos vales por sedimentos acabam por ficarem isolados das demais formações rochosas de Porto Alegre. A característica mais marcante desses morros são suas formas arredondadas e encostas retilíneas a convexas, altitude de até 60m. Estão localizados nas praias de Ipanema (O bairro

Espirito Santo é um morro isolado), pontal da Ponta Grossa e dentro do bairro do Lami.

Padrão Forma de colinas são rochas também originadas do Cinturão Orogênico Dom Feliciano, mas apresentam características texturais e estruturais que facilitam a percolação de águas nas encostas ocasionando um processo de alteração física entalhando cursos d'água na rocha e gerando um manto de alteração bastante profundo. As colinas são divididas em dois grupos: as que apresentam vales em V fechados altura de 40 a 80 m ficam junto à fronteira com o município de Viamão e as colinas com vales em V abertos com fundo chato altura de até 60 metros e baixa declividade ficam na região norte do município. Os solos existentes junto a essa forma de relevo apresentam horizontes A, B e C e são classificados como argisolos vermelho-amarelos.

Mapa Geomorfológico de Porto Alegre

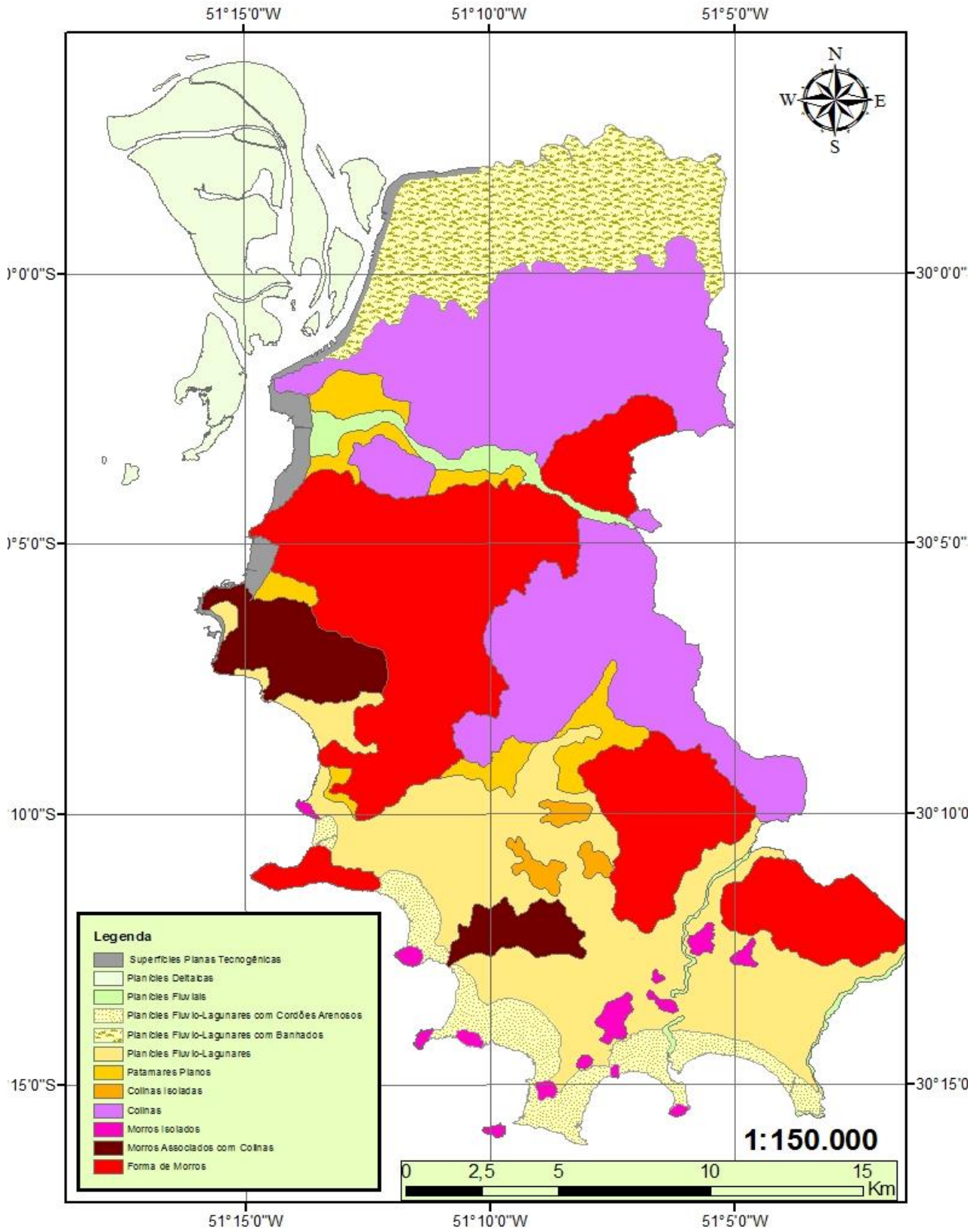


Figura 2 - Mapa Geomorfológico de Porto Alegre (Vilaverde Moura Fujimoto & Soares Dias, 2008)

3.1.4. Planície e/ou terras baixas costeiras

As formas de relevo nas regiões planas de Porto Alegre são derivadas da Bacia Sedimentar de Pelotas. Essas formas se concentram na parte norte da cidade sempre associadas a planícies fluviais e/ou lagunares, banhados nas regiões de menores altitudes da cidade e também como colinas isoladas derivadas dos movimentos de transgressão e regressão do nível do mar no Pleistoceno.

O Padrão Forma de colinas isoladas é constituído nesse caso por sedimentos arenosos dos movimentos de avanço e retrocesso do nível do mar já citados acima, são pequenas colinas com altura até 40 metros e baixa declividade (até 5%), uma característica marcante é interrupção indicada pela presença das colinas junto às planícies. Os solos são profundos geralmente com tons de vermelho predominando.

O Padrão de Forma patamares planos é constituído por areias médias a grossas, mal selecionadas com origem pedogenética com alguns pontos de conglomerados recobertos por manto coluvional e aluvial. São terrenos de antigas planícies abandonadas formando terraços aluviais geralmente ocorrendo ao lado de vales junto à encosta menos inclinada. Os solos dessas áreas apresentam características variadas, muitas vezes predominando areias de granulometria variada outras aparecendo argila e silte ou até mesmo pequenos intervalos de argila orgânica.

Padrão de Forma planícies flúvio lagunar é ligado ao sistema laguna barreira II, da segunda transgressão marinha, onde Porto Alegre se conectou ao continente por áreas planas alagadiças e terraços arenosos. Com essa dinâmica se formam canais fluviais que dominam esta forma de relevo. São regiões de cotas menores que 15 metros declividade praticamente nula, dominando as regiões sudeste e noroeste até próximo a orla do Guaíba. Os sedimentos que constituem essa região são argilas, areias e conglomerados geralmente recobertos por um manto coluvional.

Padrão de Forma planícies flúvio lagunares com banhados surgiu do isolamento provocado pelo Sistema Laguna-Barreira IV onde essa área passou a sofrer um processo de sedimentação fluvial, lagunar e paludal originando depósitos de argilas orgânicas e até mesmo de algumas turfeiras. É uma extensa área próxima

ao Aeroporto Salgado Filho, na região norte da cidade onde temos intensa atividade industrial sobre um solo de baixa capacidade de carga. Os perfis de solos apresentam argilas orgânicas predominando nos primeiros 10 a 15 metros seguidos de camadas argilo-arenosas de cor cinza geralmente.

Padrão de Forma planície flúvio lagunar com cordões arenosos aparece na região sul da cidade e é ligada a sedimentação causada pela última transgressão marinha (Sistema Laguna-barreira IV), sob uma intensa rede de drenagem arroios, que nascem nas zonas de morros, nessa área plana temos planícies com cordões arenosos em formas de feixes junto a zonas de restinga, constituídos de sedimentos arenos-argilosos moderadamente selecionados. Podemos ter solos com horizontes A-C desenvolvidos em regiões mais planas ou solos rasos arenosos nas áreas próximas a zona de morros.

O Padrão de Forma planície deltaico derivado do aporte de sedimentos dos diversos Rios que desaguam no lago Guaíba como o Jacuí, Caí, Sinos, etc. que ao encontrarem o grande corpo de água diminuem sua competência entregando sedimentos mais grossos em áreas próximas a fim dos seus cursos. Estes sedimentos se acumulam e evoluem de barreiras arenosas argilosas até a formação das ilhas que aparecem hoje no nordeste do município. São oito grandes ilhas acompanhadas de oito ilhas menores localizadas na região do Delta do Jacuí. São áreas alagadiças onde predominam canais estreitos com sedimentos inconsolidados nas margens. A ocupação irregular é um grande problema nessa área que sofrem com constantes enchentes sendo um grande risco a essa população ribeirinha. Os solos muitas vezes apresentam argilas orgânicas de cor preta a amarela, camadas de areia argilosa em profundidades menores que 5 metros são comuns também.

Por fim temos a área de aterro do município na região do parque Marinha do Brasil, uma faixa alongada criada pela ação humana com o objetivo de tornar a orla naquela região mais retilínea para facilitar futuras obras de transporte projetadas para a cidade e também um dique para a proteção contra enchentes naquela região. São basicamente areias de granulometria variada pela colocação de material de empréstimo e posterior modelamento do terreno pela ação humana. Este aterro foi construído no período de 1973 a 1978.

3.1.5. Cultura e História

A cidade de Porto Alegre foi fundada no ano de 1752 a beira do lago Guaíba por cerca de 500 pessoas da ilha de Açores, em 1810 a cidade passou a ser a capital da Capitania de São Pedro do Rio Grande do Sul sendo a partir daí um grande polo comercial de toda a região.

Em 1822 a vila ganhou o foro da cidade e sua população começou a se modificar com a chegada dos imigrantes alemães que com seu conhecimento diversificaram a economia da cidade fortalecendo ainda a mais a posição de destaque da cidade na região.

Dois grandes momentos foram fundamentais para o desenvolvimento da cidade. A primeira a Revolução Farroupilha quando em 1835 os farrapos se instalaram na cidade, mas logo foram repelidos pelas tropas do Império durante toda a revolução Porto Alegre chegou a ser atacada durante três vezes sem sucesso, a resistência a tais ataques fez com que a cidade ganhasse a alcunha de “Mui Leal e Valorosa” que aparece até os dias de hoje na bandeira do município. A segunda etapa de evolução foi durante a Guerra do Paraguai, pois a cidade serviu de base para grande parte das tropas e do comando do exército Brasileiro, sendo assim melhoras na infraestrutura da cidade eram necessárias. Nesse período chegaram novas tecnologias como o telegrafo e o porto foi bastante modificado com a construção de estaleiros para reparo de navios de guerra e comerciais. Nessa época foi construída a Usina do Gasômetro e bondes também apareceram pela cidade. Com toda essa inovação não foi surpresa que a cidade de Porto Alegre passou a ser a protagonista nas áreas da cultura, economia e ensino no Rio Grande do Sul.

A primeira metade do século 20 foi de grandes obras na cidade onde se abriram vias se instalaram iluminação e demais serviços públicos. O ensino se desenvolveu e aqui foram instaladas escolas de diversos cursos que seriam o embrião para a formação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1934 como Universidade de Porto Alegre e 1947 Universidade do Rio Grande do Sul em 1968 passou a ser denominada UFRGS) sempre sendo destaque pela qualidade dos seus cursos e pesquisas de vanguarda. Com todas estas obras dando condições para a expansão da cidade foi o que aconteceu na segunda metade do

século 20 com a população saltando de 380 mil habitantes em 1940 para quase 1 milhão em 1970. Atualmente a cidade tem cerca de 1.400.000 habitantes fixos e quase 5.000.000 na sua região metropolitana composta de 41 municípios.

4. GEOLOGIA

4.1. Rio Grande do Sul

O Estado do Rio Grande do Sul é dividido em basicamente em escudo sul riograndense ao nordeste, planície costeira ao leste e serra geral na porção mais ao norte.

O município de Porto Alegre tem como embasamento geológico o Escudo Uruguaio Sul Riograndense e a Bacia Sedimentar de Pelotas. O escudo cristalino se localiza no sudeste do estado do Rio Grande do Sul na região denominada província Mantiqueira ligada ao Sistema Brasileiro Sudeste que parte do Uruguai e avança até o estado da Bahia sendo definida como Cinturão Montanhoso Brasileiro ou Móvel Mantiqueira (Jost & Hartmann, 1984). O Sistema se forma próximo do início do Cambriano seguindo o aparato da tectônica de placas atuante na região oeste do supercontinente Gondwana acaba por se aglutinar fechando o oceano Adamastor, que ocupava a porção centro-sul do atual Atlântico Sul.

Desse processo originam-se cinturões de montanhas como os cinturões Pan-Africanos no sudoeste da África e do Sul da América do Sul, que são cadeias montanhosas que sofrem intensos processos de deformação, magmatismo, erosão, sedimentação e atualmente representam um sistema de montanhas arrasado e segmentado. Todo esse sistema encontra-se configurado sob a forma de blocos ou cinturões. Os blocos são definidos pelo embasamento proterozóico unidos por falhas ou zonas de cisalhamento ou pelas características geológicas distintas das áreas adjacentes. Os cinturões são descritos como assembleia de rochas distintas alinhadas em um padrão linear. Ambos existem nos dois continentes, mas obedecem a padrões evolutivos diferentes (Chemale Jr., 2000).

Com esta evolução em mente se define estes terrenos antigos no sul do Brasil como complexos granulíticos e granito-gnáissicos de médio grau, formados em ambiente de colisão. Como resultado temos blocos únicos com graus de retrabalhamento e pequena deformação neoproterozóica sendo os blocos preservados indicados como constituintes do Craton Rio de La Plata.

Na região do escudo Uruguaio-Sul Riograndense essas unidades geotectônicas são definidas pelo Bloco Taquarembó e os cinturões orogênicos Vila Nova, Tijucas e Dom Feliciano. A Suíte Granítica Dom Feliciano, parte do Batólito Pelotas (figura 3) que esta inserida no cinturão Dom Feliciano, é a unidade que domina a região montanhosa do município de Porto Alegre com seus granitos e, portanto exatamente na região em foco deste trabalho.

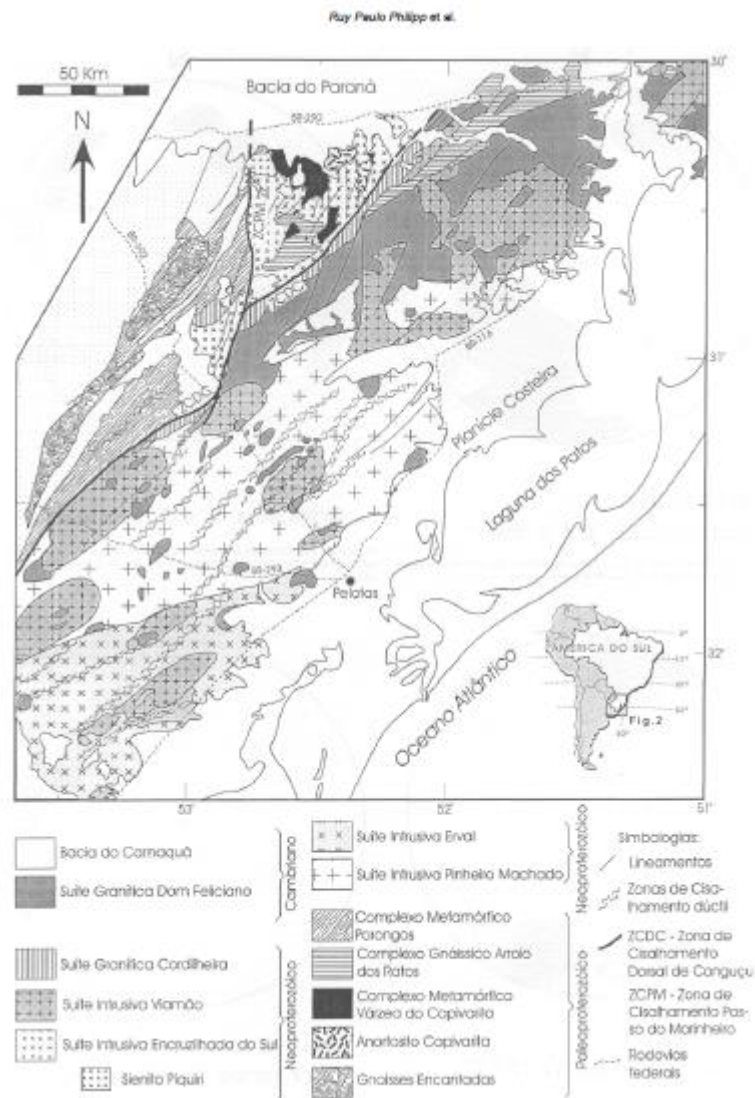


Figura 3 - Mapa Geológico do Batólito Pelotas (Philipp, Machado, & Nardi, 2002)

4.1.1. Suíte intrusiva Don Feliciano

O Batólito Pelotas se localiza na porção leste do escudo Sul-Riograndense com cerca de 400 km de extensão e largura de 110 km. É composto por seis suítes graníticas dentre elas a Suíte Dom Feliciano.

A Suíte Granítica Dom Feliciano (SGDF) é definida (Philipp & Machado, 2001) como a suíte mais jovem identificada no Batólito Pelotas. Os granitos dessa suíte são rosados a castanho claro e esbranquiçados com predomínio de composição sienogranítica, os minerais essenciais são microclinio subédrico e quartzo ameboide, com biotita interscial subédrica entre 1 a 4%. Os acessórios são allanita, zircão, titanita, apatita e minerais opacos, ainda em Porto Alegre ocorre molibdenita. Os dados Rb-Sr disponíveis para a SGDF fornecem idades entre 572 a 550 Ma (Cordani, U.G. 1974 e Soliani Jr., E. 1986).

4.1.2. Suíte intrusiva Viamão

A Suíte Intrusiva Viamão de acordo com (Philipp & Machado, 2001) engloba os monzogranitos porfiríticos a inequigranulares, são corpos alongados na direção N 40-50° com extensão de 25 a 40 km e largura de 5 a 15 km. No município de Porto Alegre são representados pelo Granito Viamão. A variação composicional restrita da suíte, com monzogranitos, granodioritos e sienogranitos subordinados. As texturas são porfiríticas inequigranulares grossas com foliação ígnea e magmática definida pelo alinhamento de megacristais de feldspato potássico e lamelas de biotita.

4.2. Porto Alegre

O município de Porto Alegre (figura 4) tem como principais litologias presentes os granitos derivados da Suíte Dom Feliciano (Ponta Grossa, Canta Galo, Independência e Santana) da Suíte Viamão (Granito Viamão), Gnaisses Porto Alegre e Unidades Sedimentares diversas.

4.2.1. Embasamento Cristalino

O Granito Ponta Grossa de composição sienogranítica, textura equigranular, cor rosa e estrutura maciça domina a região sul da cidade próximo ao Lago Guaíba. O Solo nessa região tem como característica a intensa presença de matacões misturados aos horizontes B e C, a cor é vermelha com intensa presença de argila junto a grãos grosseiros de quartzo preservados e alguns grãos de feldspato bastante alterados com formação de caulinita. Na porção sudeste da cidade no morro da Extrema aparece o Granito Canta Galo que é representado por sienogranitos de cor avermelhada a rosada, equigranular a heterogranular média a grossa e estrutura maciça. É encontrado próximo aos bairros Restinga e Belém Novo.

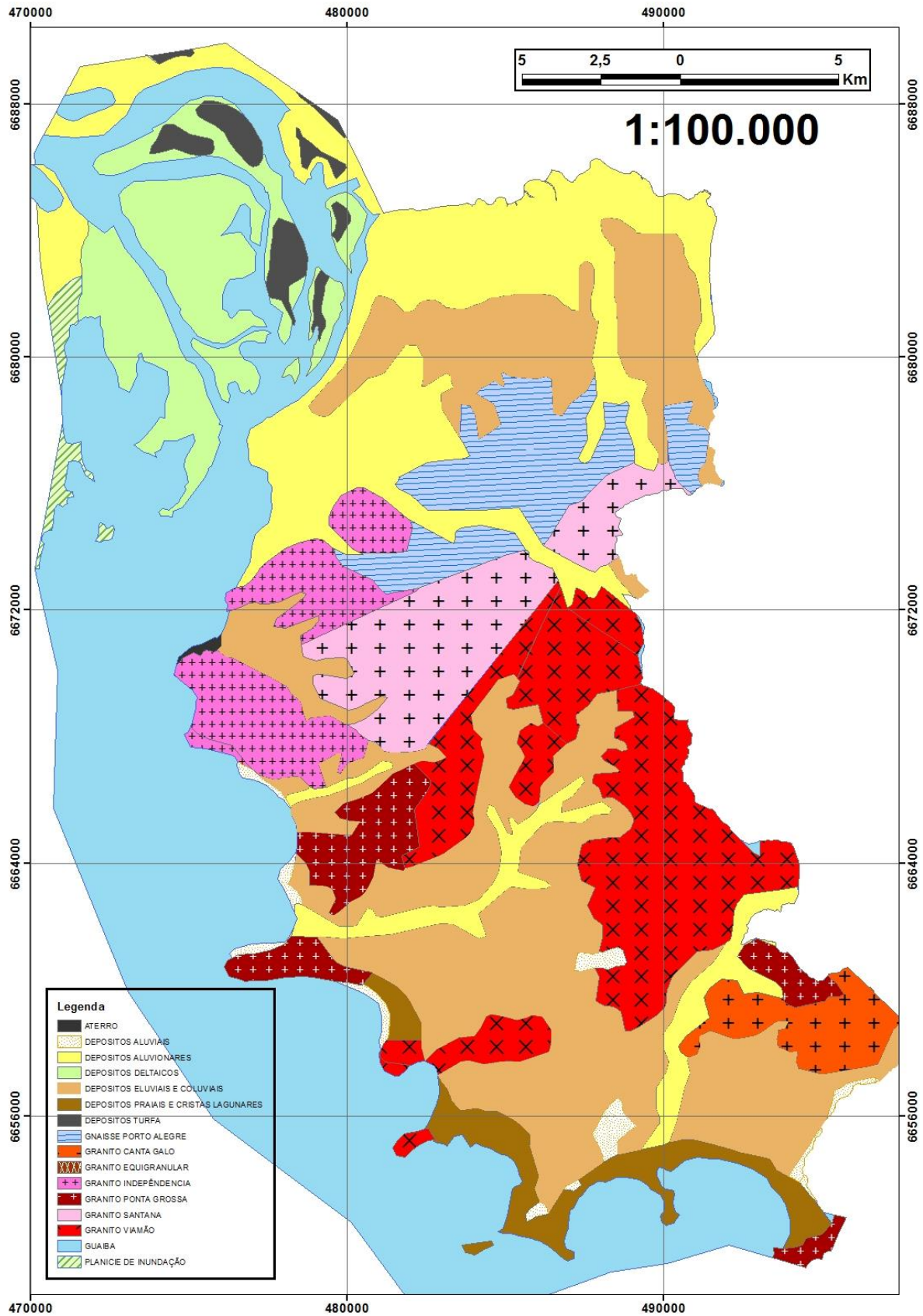


Figura 4 - Mapa Geológico de Porto Alegre baseado em (Schneider, 1974) e (Zanini & Pimentel, 2006).

Os horizontes de solo característicos são muito similares aos encontrados junto ao Granito Ponta Grossa, não se podendo indicar diferenças importantes entre as duas regiões.

O Granito Independência tem composição monzogranítica e é constituído de plagioclásio, K-feldspato e biotita, têm como acessórios esfeno, zircão e apatita. Sua estrutura é maciça, porém apresenta foliação milonítica no contato com os Gnaisses Porto Alegre. O perfil de solo dessa região segue o padrão dos demais granitos da região com uma fração fina siltosa/argilosa fruto da alteração dos feldspatos e uma fração arenosa com quartzo e K-feldspato o destaque desse perfil é a grande quantidade de mica junto a fração de alteração de rocha do solo, o relevo dessa região com muitas linhas de talvegue favorece uma maior hidratação do solo desenvolvendo maior quantidade desses minerais hidratados. Num dos locais amostrados com sondagens no bairro Moinho de Vento, o solo superficial chegava a brilhar com o sol refletindo a grande quantidade de mica presente.

O Granito Santana constituído de quartzo, K-feldspato e biotita. Possui textura equigranular grossa e com leve orientação dos cristais de K-feldspato e alongamento dos cristais de quartzo nos seus limites que são zonas de cisalhamento dúcteis (N50°E), este granito é intrusivo tanto nos Gnaisses quanto no Granito Viamão. Junto a estes limites ocorrem em casos extremos foliação protomilonítica marcada pela recristalização de quartzo e biotita. Uma consideração quanto aos solos é o intenso intemperismo associado as zonas de falha que cortam esse Granito, a espessura do perfil de alteração da rocha chega muitas vezes a mais de 15,00 metros onde domina os feldspatos encontram-se bastante alterados mas mesmo assim pode ser observar claramente a estrutura da rocha original.

A maior área coberta fica por conta do Granito Viamão de composição monzogranítica é caracterizado de acordo com (Philipp & Campos, 2004) por uma coloração cinzenta textura porfirítica a heterogranular com 20 a 40% dos megacristais tabulares de 1 a 5 cm, de k-feldspato dentro de uma matriz inequigranular constituída de plagioclásio, quartzo, biotita e localmente anfibólio. Como minerais acessórios contem esfeno, zircão e apatita além de minerais opacos. Suas estruturas primárias são orientadas na direção NE concordantes com a foliação tectônica marcada pela formação de subgrãos e recristalização de quartzo e

k-feldspato, epidoto sobre o plagioclásio e biotita. As principais alterações são a cloritização da biotita e o crescimento de sericita sobre os feldspatos. A pedologia da região é caracterizada por um horizonte A pouco espesso argiloso cor vermelha seguido do horizonte B com a diminuição da fração argilosa e aumento da parte siltosa com uma coloração variada entre vermelho e amarelo. O horizonte C se encontra bem preservado com inclusive muitos K-feldspatos com pouca alteração fazendo parte da fração arenosa junto com quartzo e pouca biotita.

Os Gnaisses Porto Alegre são caracterizados uma composição granodiorítica a monzogranítica, localizados no norte da cidade com suas relações de contato com os granitos estão encobertas pela urbanização da cidade. Podemos observar através de uma sondagem que na rua o contato entre o Granito e o Gnaisse ocorrendo a uma profundidade de cerca de 5,00 metros. Os gnaisses são de cor cinza clara a escura com bandamento fino com bandas máficas e bandas félsicas. As bandas félsicas têm quartzo e feldspatos como principais constituintes. Os níveis máficos tem a biotita em maior quantidade seguida de anfibólio em pequenas quantidades. Segundo a bibliografia os gnaisses sofreram quatro episódios deformacionais regionais caracterizados pelo dobramento de foliações metamórficas. Esse bandamento é constatado numa zona de baixa intensidade de deformação dos eventos D^2 e D^3 . O bandamento tem sua evolução em quatro etapas D^1 o evento gerador seguido de um evento com um complexo padrão deformacional (D^2) onde aparecem dobras isoclinais, estas estruturas são submetidas a um terceiro evento (D^3) gerando dobras abertas e apertadas com charneiras arredondadas e mergulhantes e finalmente a última etapa D^4 de dobramentos tardios com dobras suaves e eixos direcionados para nordeste. O solo no contato e em áreas cobertas por gnaisses tem profundidade variável, com pontos onde a profundidade não passa de 4,00 metros e outros locais com furos de sondagem de até 17,00 metros. A composição dos horizontes é heterogênea com o horizonte C apresentando coloração e texturas variadas (Bastos & Dias, Unidades Geotécnicas de solos de Porto Alegre, 1995) não sendo possível uma definição sobre um perfil de solos dessas áreas.

4.2.2. Unidades Sedimentares

Nas zonas de terras baixas do município se estabelecem os depósitos sedimentares relacionados a Planície Costeira Interna com diversos tipos de modelos de depósitos relacionados principalmente ao grande numero de canais fluviais, rios, terraços fluviais e lagunares e pediplanos distribuídos pela região. Estes depósitos estão associados principalmente às zonas de vales no município como o arroio Ipiranga e nas margens do Lago Guaíba.

Dentre todas estas manifestações se destacam três unidades principais uma unidade do Terciário e duas do Quaternário.

Os depósitos continentais de encosta e leques aluviais são constituídos de arenitos arcoseanos, conglomerados e arenitos conglomeráticos imaturos, fracamente consolidados, areia e argilas com cores variando do cinza até o vermelho e o amarelo

No Quaternário ocorrem os depósitos de planície lagunar com sequencias mistas com areias de granulometrias variadas intercalados com depósitos síltico argilosos e argilas plásticas formadas a montante da última linha de costa desenvolvida no Arqueano. Os depósitos fluviolacustres e eólicos relacionados com o sistema deltaico e fluviolacustre que se estabeleceram sobre os depósitos de planícies lagunares.

Como o método aplicado no trabalho é de sondagens rasas de até 30 metros muitas vezes pode-se observar a intercalação característica dessas unidades com camadas de argilas e silte cinzas sobre camadas de areias de granulometria variada e a repetição dessas sequencias. A amostragem de qualidade depende da espessura das camadas e de uma boa coesão, pois em depósitos extremamente inconsolidados a perda de amostras ocorre facilmente prejudicando a descrição na área.

5. METODOLOGIA

5.1. O Ensaio Spt

A sigla SPT tem origem no termo inglês que significa “*Standard Penetration Test*” no Brasil chamamos de Sondagem a Percussão ou Sondagem de Simples Reconhecimento. O teste vem sendo utilizado no mundo todo devido a sua fácil execução e principalmente baixo custo resultando numa resposta confiável sobre as condições do solo em baixas profundidades.

O Princípio descrito na norma ABNT NBR 6484 é:

“Perfuração e Cravação dinâmica de amostrador padrão a cada metro, resultando na determinação do tipo de solos e de um índice de resistência, bem como da observação do nível do lençol freático”

5.1.1. Execução

Para execução ideal três fatores são fundamentais: maquinário, pessoal e aplicação da norma. Cada um desses fatores tem igual importância durante a execução sendo qualquer um desses desconsiderado a chance de falha grave no teste é considerável.

O maquinário para execução se divide no conjunto do tripé (figura 5) constituído da torre com roldanas com cordas ou cabo de aço e o peso padrão (65 kg) responsáveis pelo movimento dos golpes; conjunto de circulação de água com hidro bomba, tubos hidráulicos, caixa d água com divisória interna e da conexão superior; conjunto de manobras com hastes metálicas, trado helicoidal, tubos de revestimento, trépano de lavagem, cabeças de bateria, trado concha, cruzeta, chave inglesa/grifo e do amostrador padrão. Alguns desses itens requerem uma descrição especial como o caso das hastes metálicas, do amostrador padrão, o martelo padrão, e a torre. A torre não possui uma altura definida, mas que geralmente fica entre 3,0 a 3,5 metros de altura máxima, existe outros tipos de torres com alturas menores para trabalho em ambientes confinados, a roldana pode ser substituída por um gancho motorizado facilitando a execução das manobras.



Figura 5 - Conjunto tripé, roldanas e peso padrão (ABEF, 2004)

As hastes metálicas devem ser de aço com diâmetro interno de 25,0 mm e diâmetro externo 33,4 mm peso teórico de 32 N/m e comprimento de 1,00 m. Acopladas por roscas ou luvas em bom estado, muito importante para execução do teste é as hastes estarem completamente retilíneas sendo necessária esta verificação após cada campanha de sondagem ser concluída. O peso padrão (figura 6) consiste numa massa de ferro em forma prismática ou cilíndrica com um coxim de madeira dura (peroba rosa ou similar) instalado na parte inferior o conjunto deve pesar um total de 65,0 kg.



Figura 6 - Peso Padrão (Meirelles, 2015)

O Amostrador Padrão (figuras 7 e 8) é o item mais importante do maquinário sua forma e constituintes são:

- Cabeça: com dois orifícios laterais para saída de água e do ar, bem como devendo conter internamente uma válvula constituída por esfera de aço recoberta de material inoxidável.
- Corpo: devendo ser perfeitamente retilíneo, isento de amassamentos, ondulações, denteamentos, estriamentos, rebordos ou qualquer deformação que altere a seção e rugosidade superficial podendo ou não ser bipartido longitudinalmente.
- Sapata: devendo ser de aço temperado e estar isenta de trincas, amassamentos, ondulações, etc. que possam alterar a seção.

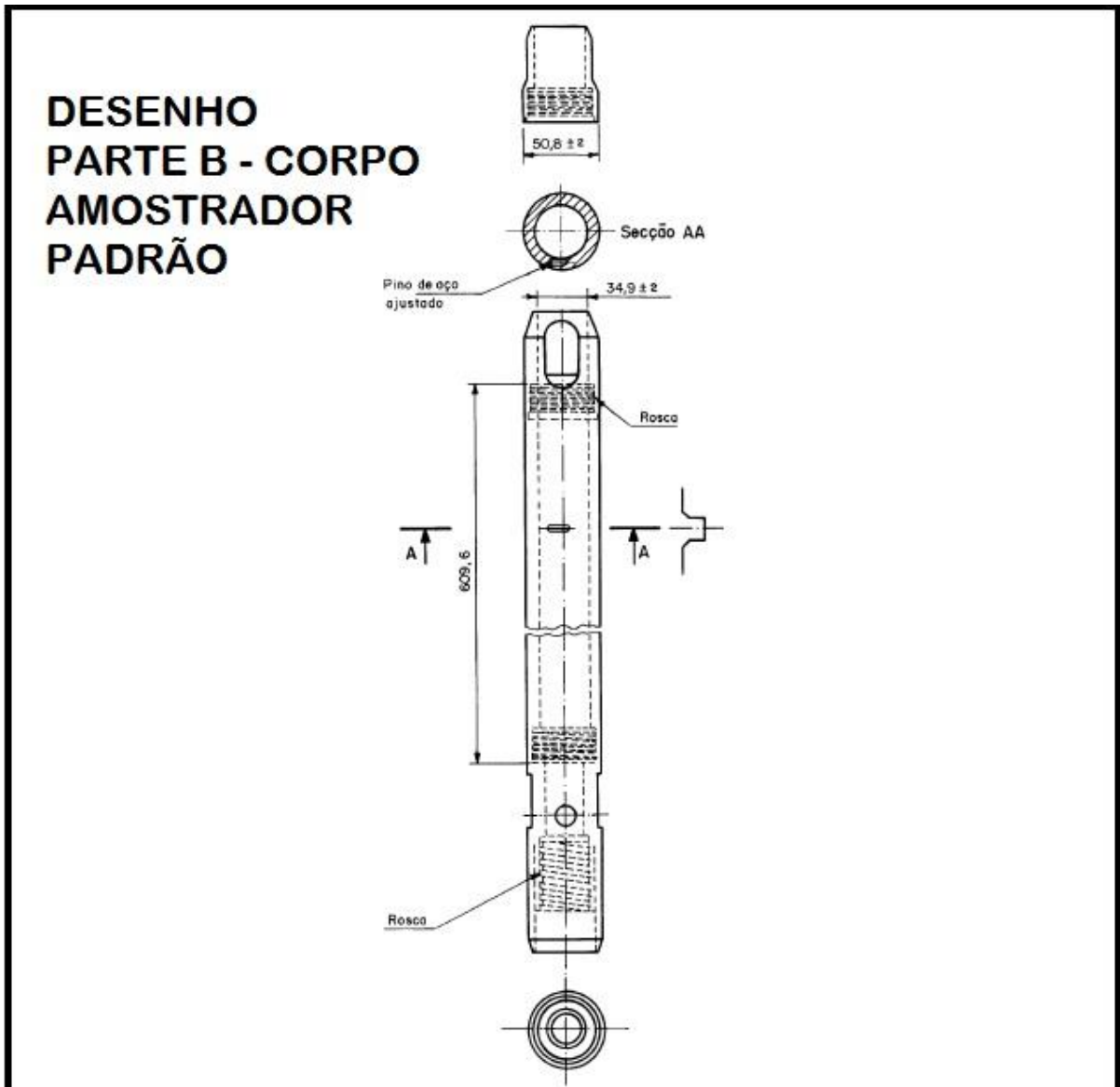


Figura 7 - Especificações Técnicas do Amostrador Padrão (ABNT A. B., 2001)

Com todas as partes do maquinário devidamente lubrificadas e alinhadas à execução pode se iniciar nas melhores condições de trabalho.



Figura 8 - Amostrador Padrão (ABEF, 2004)

A equipe de sondagem é constituída de um sondador e dois ajudantes. O treinamento desses profissionais é realizado geralmente dentro da empresa no dia a dia das obras. Com o passar dos anos novos sondadores acabam se formando e muitos assumem o maquinário sem condições de realizar a descrição com a qualidade necessária. Observando isso implantei um programa de treinamento junto às equipes de sondagem que foi dividido em três etapas:

- Execução – Supervisão do encarregado junto às equipes observando a realização da sondagem e apontando erros de execução, focado principalmente nos critérios de parada e na descrição de amostras.
- Amostragem – Instruções sobre a correta separação das amostras e critérios para descrição correta das amostras, teste tátil visual, explicações sobre a geologia de Porto Alegre com amostras de cada litologia presente.
- Ensino – Distribuição das normas NBR 6484, NBR 13441, NBR 8036 e discussão sobre as etapas junto com os auxiliares e sondadores, desenho da locação, medição do nível de água, nivelamento topográfico, etc.

A execução do teste é precedida da quantidade dos furos e da posterior marcação em planta e “in loco” de acordo com a norma NBR 8036 (ABNT A. B.,

1983) que indica a programação de sondagens deve ser feita de acordo com o tipo de estrutura a ser construída e de acordo com as características geotécnicas do subsolo sendo o número de sondagens suficiente para fornecer um quadro da provável mudança de camadas do solo. A norma ainda determina que de acordo com a metragem do terreno um número “x” de sondagens deve ser realizado, partindo de um mínimo de dois furos para terrenos de até 200 m², três para terrenos de até 400m². Em terrenos de até 1200 m² se divide um furo a cada 200 m² de área, terrenos entre 1200 e 2400 m² uma sondagem a cada 400m² de área e em terrenos maiores que 2400 m² se programa as sondagens de acordo com o plano particular de construção.

A norma ainda recomenda que as sondagens sejam realizadas até a camada impenetrável a percussão caso não seja possível é estabelecido uma profundidade mínima de 5,00 metros por furo. Na pratica deve-se programar as sondagens principalmente de acordo com pontos de maior carga no projeto estrutural e regiões futuramente escavadas a uma maior profundidade como subsolos, poços de elevador, fossas, etc.

Concluída a programação os pontos de sondagens são marcados com piquetes de madeira no campo e o terreno está pronto para o inicio das atividades. Seguindo a Norma NBR 6484 (ABNT A. B., 2001) no inicio da perfuração é utilizado o trado concha ou cavadeira manual até 1,00 metro de profundidade, nesse momento se instala o tripé e o primeiro segmento de tubo de revestimento é batido e instalado. Na sequencia se utiliza do trado helicoidal até se atingir o nível d água, medindo esse nível assim que se estabiliza e colocando na planilha de furos, é importante frisar que nas operações com trados manuais não é permitida a utilização do martelo para escavação.

A partir do momento que o nível d água esta estabelecido inicia-se a circulação de água e o trepano de lavagem é a ferramenta de escavação. A hidro bomba é ligada e vai se lavando o solo até o momento da primeira sequencia de golpes, antes disso se deixa a água circular até que todos os detritos estejam fora do furo e o mesmo esteja limpo. Caso as paredes do furo se mostrem instáveis é necessário descer o tubo de revestimento até a cota onde as paredes se estabilizem, mas sempre mantendo o revestimento a 0,5 m do fundo do furo. Em casos de furos em

areias inconsolidadas recomenda-se a utilização de lama de perfuração (bentonita) para revestir as paredes do furo, a lama deve ser dissolvida em quantidade satisfatória junto ao tanque e recolhida novamente fechando o ciclo e assim aperfeiçoar seu consumo ao máximo.

O momento da contagem dos golpes e amostragem se inicia após todos os procedimentos descritos acima estarem executados. A partir da profundidade de 1,00 metros devem ser colhidas amostras com o uso do amostrador padrão (figura 9), antes dessa profundidade algumas amostras representativas do solo retirado com trado devem ser coletadas. O amostrador padrão quando colocado na posição deve ser largado suavemente até a posição no fim do furo, medindo-se a profundidade para averiguação que não houve queda de materiais dentro do furo que caso ocorra deverá ser limpo novamente pela circulação de água. Com o amostrador padrão em posição e conectado a cabeçote de batidas pode se iniciar a contagem dos golpes marcando cada segmento de 15 cm com giz na haste metálica na sequencia devemos posicionar o martelo dentro do cabeçote e verificar que ambos estão alinhados não ocorrendo perda de energia durante as batidas, caso ocorra alguma penetração nesse momento a mesma deve ser anotada no relatório do furo. O martelo então é erguido à altura de 75 cm e iniciam-se as batidas separando o numero de golpes para cada avanço de 15 cm, caso ocorra avanço maior que 15 cm o mesmo deverá ser registrado. A penetração dos 45 cm do teste SPT deve ser continuas sem qualquer movimento de rotações junto às hastes. Após os 45 cm cravados se retira o amostrador e utiliza-se o trepano de lavagem (figura 10) pelos próximos 55 cm, iniciando novamente a contagem de golpes referente ao metro seguinte.



Figura 9 - Amostrador Padrão após coleta de amostras (Meirelles, 2015)

A manobra de cravação do amostrador padrão termina assim que atingindo algum das seguintes situações:

- Em qualquer dos três segmentos de 15 cm, o numero de golpes ultrapassarem 30;
- Um total de 50 golpes tiver sido aplicado durante toda a manobra;
- Não se observar avanço do amostrador padrão durante cinco golpes sucessivos.

Para apresentarmos essas situações em valores de uma manobra de cravação incompleta utilizo o traço de fração como, por exemplo, numa situação A – 9/15, 30/08, situação B – 18/15, 20/15, 12/09 e por fim na ultima situação C – 11/03. Mesmo caso para uma penetração do martelo maior que 45 cm P/57 e uma penetração do primeiro golpe 1/53.

Na coleta de amostras quando não for suficiente a amostra contida na ponta do amostrador padrão devemos coletar o restante de amostras contidas no interior do corpo do amostrador, na prática sempre é melhor coletar uma maior quantidade de amostras, pois isto facilita a descrição posterior das mesmas.

Para a interrupção da sondagem se utilizam três critérios básicos:

- Quando em 3 manobras sucessivas, se obtiver 30 golpes para penetração dos 15 cm iniciais do amostrador padrão;
- Quando, em 4 manobras sucessivas, se obtiver 50 golpes para penetração dos 30 cm iniciais do amostrador padrão;
- Quando, em 5 manobras sucessivas, se obtiver 50 golpes para penetração dos 45 cm do amostrador padrão.

Caso atinja-se qualquer um desses critérios a sondagem ainda não termina, pois é necessário realizar um ensaio de lavagem com o trepano durante 30 minutos anotando-se o avanço a cada 10 minutos. Caso o avanço em cada período de 10 minutos esteja abaixo de 5 cm ou que após quatro ensaios consecutivos a profundidade de execução do SPT não for alcançada a sondagem é encerrada.



Figura 10 - Procedimento de Lavagem (ABEF, 2004)

No caso de não se atingir a profundidade mínima de 5 metros por furo deve-se realizar o deslocamento do furo por pelo menos duas tentativas em posições afastadas cerca de 2,00 metros do furo original. Se mesmo assim não se atingir a profundidade mínima a sondagem é encerrada naquele ponto. Muitas vezes em regiões com aterro de materiais desconhecidos acontece este tipo de situação, é interessante muitas vezes abrir uma pequena trincheira para investigarmos a natureza do aterro e se existe a possibilidade da realização da sondagem.

A observação do nível freático é a próxima etapa do teste SPT, a primeira medida, durante a perfuração, é feita assim que a água começa a aparecer no fundo do furo, se espera o nível se estabilizar efetuando leituras de 5 em 5 minutos por um período total de 15 minutos. Ao termino do furo se realiza o esgotamento de água do furo onde retiramos a água com um baldinho até o nível se estabilizar de acordo com o citado anteriormente (intervalos de 5 em 5 minutos num total de 15 minutos). Um dia após o encerramento do furo o nível de água é medido novamente e seu valor vai para a planilha do furo. Pode se utilizar grandes ripas de madeira, hastes metálicas para efetuar a medição, mas geralmente se utiliza o equipamento determinado com “piu” que nada mais é do que uma trena com um sensor sonoro na

ponta que apita e indica a profundidade do nível freático (figura 11). O nível freático também pode se alterar muito durante clima chuvoso sendo o mesmo também anotado junto à planilha.



Figura 11 - Equipamento de medição de nível de água com apito sonoro (ABEF, 2004)

As amostras coletadas devem ser estocadas em recipientes ou sacos plásticos (figura 12) para que possam ser acessadas facilmente e descritas por outros profissionais fora do campo. Cada amostra deve conter uma etiqueta contendo local da obra, número do furo e a profundidade daquela amostragem.



Figura 12 - Caixas de acomodação de amostras (Meirelles, 2015)

Com os furos terminados é realizado o nivelamento da boca dos furos, onde com trena e barbante é indicada a cota de cada um dos furos e a referência de nível a constar na planta de locação dos furos. Nos dias de hoje o equipamento mais utilizado é o nível a laser pela sua fácil utilização e rápida resposta. Junto a esses

procedimentos também foi adicionado à aquisição das coordenadas GPS dos furos, com o objetivo de facilitar a confecção do mapa geotécnico posteriormente.

5.1.2. Descrição de Amostras

A descrição das amostras segue alguns manuais e normas as principais referências no assunto a NBR 6502 (ABNT A. B., 1995), O Manual de Coleta e Descrição de Solos (Santos, Lemos, Santos, Kerr, & Anjos, 2005) e as Instruções Normativas para Execução de Sondagens (DEINFRA/SC, 1994).

A coleta de amostras a partir do amostrador padrão durante sondagens SPT prioriza de acordo com a norma de execução NBR 6484 (ABNT A. B., 2001), o material contido na ponta do amostrador padrão, na pratica quanto maior for à quantidade de amostras coletada melhor a qualidade da descrição efetuada. Durante a execução das sondagens deste trabalho a coleta de material foi a maior possível, ou seja, foi coletado o conteúdo do corpo do amostrador padrão além da parte contida na ponta do mesmo facilitando a indicação de mudança de camadas e demais testes para a determinação das características do solo.

As principais características a serem descritas são a granulometria, plasticidade, compacidade, consistência, cor e origem quando possível.

A granulometria nesse caso é a separação entre solos grossos, aqueles nos quais é possível observar cerca de metade dos grãos a olho nu como areias e pedregulhos, de solos finos no qual mais da metade das partículas são siltes ou argilas de tamanho reduzido. Quando a amostras contem uma quantidade significativa de matéria orgânica a palavra orgânica aparece junto a descrição.

A plasticidade é uma propriedade dos solos finos onde ao infligirmos uma deformação na amostra ela resulta em ruptura, fissura ou variação de volume. O teste de dilatância (figura 13) é o mais recomendado para tal verificação no campo ele consiste em adicionar água ao material tornando-o pegajoso, a massa deve ter um volume capaz de caber na palma da mão. Com a massa contida na palma da mão bate-se vigorosamente uma mão de encontro à outra várias vezes e espreme-se a massa entre os dedos. De acordo com o tipo de reação podemos determinar se o solo é plástico ou não. No caso de solos não plásticos como areia e silte ao

espremer a amostra na palma da mão aparece água livre que é rapidamente drenada novamente, similar a secagem da areia na beira da praia. Nas amostras argilosas esse processo gera uma reação nula indicando a plasticidade do solo. Outro teste bastante utilizado é retirar pequenas porções de solo e moldando o mesmo, se o comportamento for similar a massa de modelar pode-se inferir que o solo possui plasticidade elevada.



Figura 13 - Teste de Dilatância (Gonzatti, 2013)

A compactidade é o estado de compactação dos solos grossos, variando de fofo a muito compacto. Pode ser medida pela densidade relativa ou pela sondagem penetrométrica. A consistência é a característica de solos finos e qual a facilidade com que podem ser deformados, ela varia de muito mole a dura. Um ensaio de compactação simples pode avaliar facilmente este índice. Ambos os índices são descritos na sondagem SPT de acordo com o número de golpes para atravessar a camada em questão. Com essa simples divisão compactidade para solos grossos e consistência para solos finos.

Para identificação dos solos no campo utilizamos uma sequencia de pequenos testes além dos já descritos.

Teste de resistência do solo seco: Pegamos um torrão do solo amostrado e moldamos 3 bolinhas deixando secar durante 12 horas. Após o processo de secagem ao aplicar-se uma força sobre a bolinha a reação dela indica o material predominante na amostra, pois argilas apresentam uma alta resistência não se desfazendo com facilidade, silte com certo esforço e em areia são facilmente destruídas.

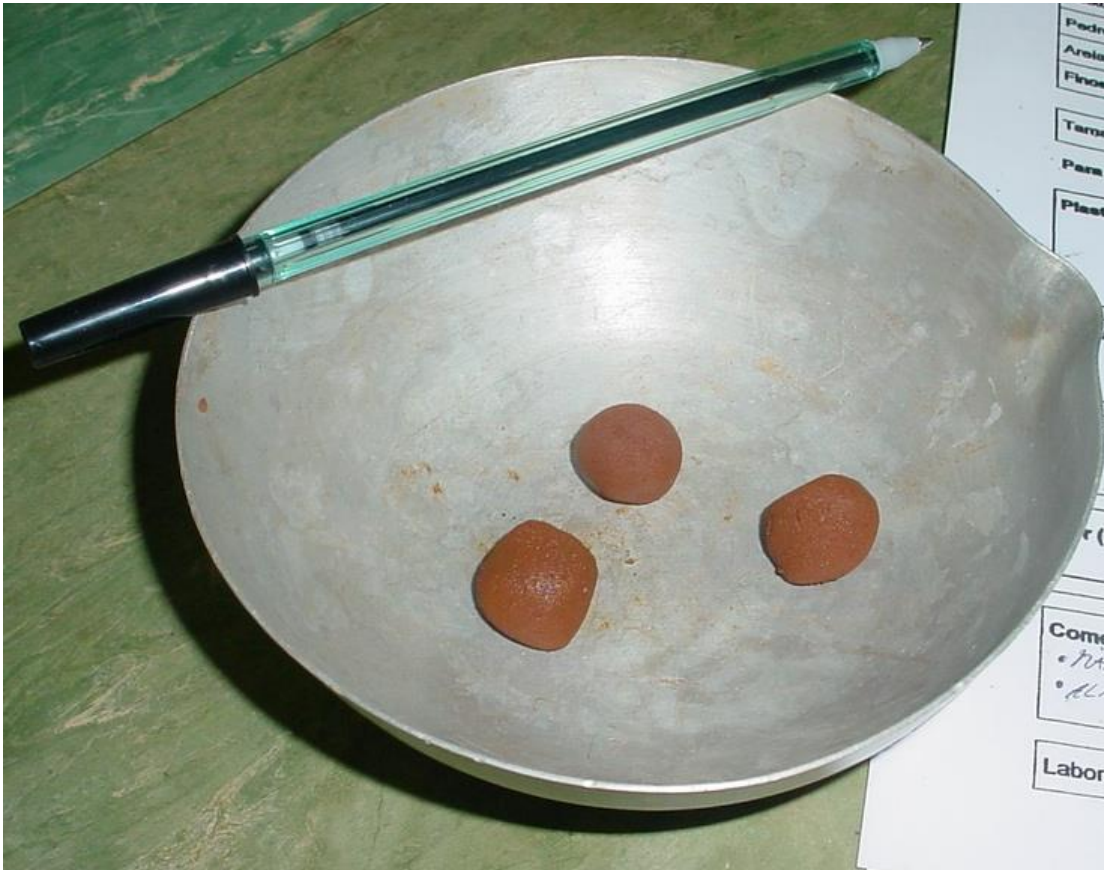


Figura 14 - Teste de Resistência do Solo Seco (Gonzatti, 2013)

Teste Tátil e Visual: Após realizar uma mistura de solo e água, podemos perceber a aspereza da areia ao tato, o silte menos áspero, mas também perceptível enquanto a argila se comporta praticamente como uma pasta entre os dedos.

Teste de Lavar as mãos: primeiro se pega uma pasta de solo úmido na palma da mão colocando sobre água corrente e observa-se a lavagem do solo da palma da mão (figura 15). Solo arenoso sai facilmente com a água enquanto o solo siltoso é lavado após certa quantidade de água passar pelas mãos. O solo argiloso fica grudado e é necessário esfregar para retirá-lo das mãos.

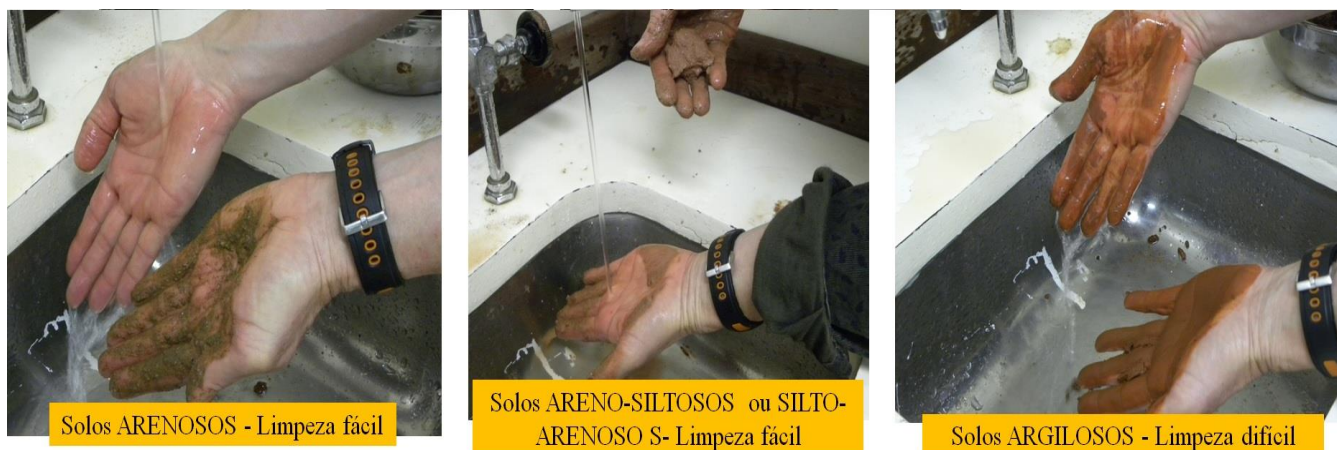


Figura 15 - Teste de Lavar as Mãos (Gonzatti, 2013)

Para a observação de cor nas amostras sempre se utiliza as amostras úmidas, pois a mudança de cor é muito forte com a ausência da umidade, podendo não ser possível distinguir camadas originalmente distintas. Basicamente os solos de cor vermelha indicam a presença de óxidos de ferro e lençol freático próximo. Solos de cor cinza ou manchados indicam uma variação do nível d água. Deve-se no máximo utilizar duas variações de cores por amostra acompanhadas do termo variegado/variado junto destas, por exemplo, Argila siltosa cinza amarelada variada. As cores descritas junto à norma para a descrição são: Branco, cinza, preto, marrom, amarelo, vermelho, roxo, azul e verde junto das designações claro e escuro.

Com todas estas observações realizadas chega o momento de transcrever para o boletim de sondagem (figura 16) o resultado dos testes. Primeiro devemos descrever as frações dominantes na amostra com no máximo duas frações presentes como: Argila arenosa, silte argiloso, etc. é permitido no caso da presença de pedregulhos incluir essa determinação na descrição da amostra. O boletim de sondagem de campo contem campos que devem ser preenchidos com os seguintes dados: Localização, data nível d água inicial e 24 horas, descrição das amostras, número de golpes, metragem do revestimento e nome do sondador.

BOLETIM DE CAMPO DE SONDAGEM

FURO	Bentonita	<input checked="" type="checkbox"/>	Sim _____ m	Nível d'água inicial	4.48
5906		<input type="checkbox"/>	Não		
	Chuva	<input checked="" type="checkbox"/>	Sim	Nível d'água 24 hrs	3.76
		<input type="checkbox"/>	Não		
Revestimento	6.00	m	Furo esgotado até		m

nº de amostras	Amostra					nº de golpes		Mudança de camada	Material
	Profundidade		Penetração			1º	2º		
	de	para	/15	/15	/15				
0	0.00	1.00	TC	TC	TC			0.00	ATERRO DE AREIA FINA SILTOSA PEL ARGILOSA C/ COR CINZA ESCURA
01	1.00	1.45	2	2	2				
02	2.00	2.45	2	2	3			0.98	ARGILA SILTOSA ARENOSA C/ COR CINZA C/ VEIOS AMARELO
03	3.00	3.45	4	5	6			2.34	AREIA MÉDIA ARGILOSA C/ COR CINZA
04	4.00	4.45	5	7	8			3.70	AREIA MÉDIA ARGILOSA C/ COR CINZA C/ VEIOS AMARELO
05	5.00	5.61	1/31	1/30				4.90	ARGILA SILTOSA C/ COR CINZA
06	6.00	6.48	1/18	1	1			5.87	AREIA FINA SILTOSA C/ COR CINZA
07	7.00	7.45	4	4	11			6.00	AREIA FINA SILTOSA C/ COR CINZA AMOSTRA Nº 6 N/ RECUPERADA ARGILA SILTOSA C/ COR CINZA
08	8.00	8.45	3	3	3			6.80	AREIA MÉDIA ARGILOSA C/ COR CINZA
09	9.00	9.45	4	6	8			7.30	AREIA MÉDIA SILTOSA C/ COR CINZA
10	10.00	10.45	5	6	9			7.90	ARGILA SILTOSA ARENOSA C/ COR CINZA C/ VEIOS AMARELO
11	11.00	11.45	4	4	6			8.76	ARGILA SILTOSA ARENOSA C/ COR CINZA C/ COR CINZA
12	12.00	12.45	4	5	7			9.64	ARGILA SILTOSA C/ COR CINZA
13	13.00	13.48	4/18	6	7			11.00	ARGILA SILTOSA C/ COR CINZA ARENOSA C/ COR CINZA C/ VEIOS AMARELO
14	14.00	14.45	8	13	24			13.50	AREIA FINA SILTOSA COMPACTADA C/ COR CINZA
15	15.00	15.45	5	8	13				
16	16.00	16.45	5	6	18				

CLIENTE:

OBRA: PORTO ALEGRE

LOCAL: HOSPITAL DE CLINICAS

INÍCIO: 24/12/13

FIM: 27/11/2013

ON:

A/C:

SONDADOR: BOUAFRÉDIO

Figura 16 - Boletim de Sondagem (Meirelles, 2015)

A transição dos horizontes e camadas deve ser feita pela variação de alguma das características básicas do solo como textura, cor ou estrutura. Na modificação da quantidade das frações presentes ou até mesmo no aparecimento de algum novo constituinte.

O Relatório de sondagem (figura 17) referente a área amostrada é realizado no escritório e seu grande diferencial é o gráfico da resistência do solo. Além de inserido o gráfico, uma nova descrição das amostras é realizada.

SONDAGEM F06		COTA		PESO: 65 kg		REVESTIMENTO 0 63,5mm = 2.1/2"							
				ALTURA DE QUEDA: 75 cm		AMOSTRADOR { Ø INTERNO 34.9mm = 1 3/8" Ø EXTERNO 50.0mm = 2"							
COTA RELACIONADA BR	NÍVEL D'ÁGUA	NÚMERO DE GOLPES PARA PENETRAÇÃO DE 30 cm DO AMOSTRADOR					PROFUNDIDADE (m)	AMOSTRAS	PROFUNDIDADE DA CAMADA	CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS	MÉTODO DE PERFURAÇÃO		
		Nº DE GOLPES		GRÁFICO									
		*	**	10	20	30						40	
				5	15	25	35	45					
	NÍVEL D'ÁGUA INICIAL: 4,48 m. NÍVEL D'ÁGUA APÓS 24 HORAS: 3,76 m.												
									1- 0,98	Aterro de areia e argila, cor variada.	Percussão		
									2- 4	Argila siltosa, pouco arenosa, cor variada, de consistência mole a rija.			
									3- 4				
									4- 5				
									5- 11				
									6- 15				
									7- 1/31	Argila siltosa, cor cinza variado, de consistência muito mole.			
									8- 1/30				
									9- 2	Areia de granulação variada, pouco argilosa, cor cinza variado, de pouco compacta a medianamente compacta.			
									10- 2				
									11- 15				
									12- 8	Argila siltosa, cor cinza variado, de consistência rija.			
									13- 6				
									14- 6				
									15- 14				
									16- 10	Areia de granulação fina, pouco siltosa, cor cinza variada, compacta.			
									17- 13				
									18- 21	Areia de granulação variada, pouco siltosa, cor cinza variado, de pouco compacta a compacta.			
									19- 37				
									20- 13				
									21- 21				
									22- 11	Argila siltosa, cor cinza, de consistência média a dura.			
									23- 24				
									24- 6				
									25- 7	continua..			

CLIENTE: HOSPITAL DE CLINICAS

OBRA: AV PROTASIO ALVES, XX - PORTO ALEGRE/RS

Elaborado por:

Pedro Meirelles

ON:

2013/XXXX-S

PRANCHA:

ESCALA:

PERCUSSÃO

INÍCIO: 25/11/2013

FIM: 29/11/2013

ROTATIVA

INÍCIO:

FIM:

* 1º E 2º PENETRAÇÃO

** 2º E 3º PENETRAÇÃO

Figura 17 - Relatório de Sondagem (Meirelles, 2015)

5.2. Fundações

As fundações de uma edificação são a parte responsável pela transmissão dos esforços aplicados pelo peso (carga) da construção sobre o solo. Normalmente são utilizados diversos pontos de fundações de modo a dividir a carga aplicada sobre o solo não sobrecarregando o terreno e assim evitando danos estruturais a edificação.

De acordo com uma investigação prévia do solo através de métodos como a sondagem a percussão (SPT), a sondagem penetrométrica (CPT), geofísica, etc. pode se avaliar a capacidade de carga do solo e em conjunto com o tipo de edificação a ser ali instalado é determinado o tipo de fundação ideal para o local. As fundações são classificadas como rasas/diretas, quando a escavação é feita em baixa profundidade (de 3 a 5 metros) e como indiretas/profundas com profundidades de até 50 metros em casos extremos.

5.2.1. Fundações Diretas

As fundações diretas são geralmente executadas com baixa tecnologia, muitas vezes sendo escavados através de trabalho manual e/ou pequenos trados de baixa potencia.

5.2.1.1. Sapata

As sapatas (figura 18) são escavações de pequeno porte onde são dimensionados blocos com o objetivo de resistir às tensões resultantes da carga aplicada sobre o solo. Estes blocos são construídos numa combinação de concreto e uma armadura de ferro e projetados de acordo com a tensão aplicada naquele ponto ou região do terreno.

Sapatas podem ser do tipo simples ou corridas. A sapata simples fica responsável pela carga aplicada em um ponto somente, por isso é necessária sua ligação com

pilares e vigas para a transmissão das forças aplicadas. A sapata corrida é similar a um muro de contenção, pois cobre uma grande área tornando mais fácil a construção pela não necessidade de pilares e vigas no projeto inclusive podendo ser construída em alvenaria.

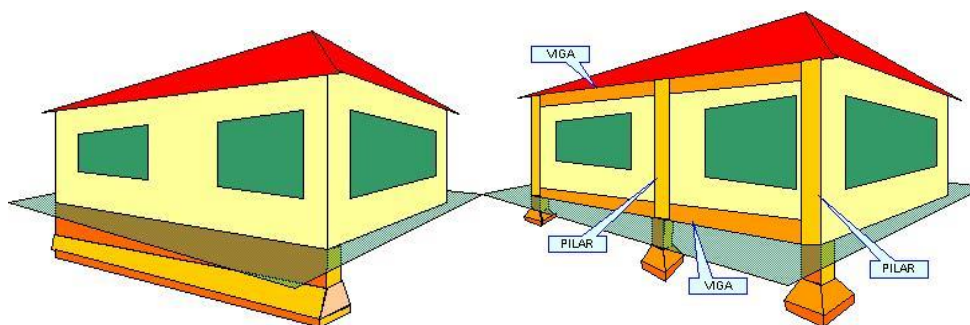


Figura 18 - Sapata Corrida e Sapata Simples (Watanabe, 2008)

5.2.1.2. Radier

Radier é um tipo de fundação rasa que se assemelha a uma placa ou laje que abrange toda a área da construção. Os radiers (figura 19) são lajes de concreto armado em contato direto com o terreno que recebe as cargas oriundas dos pilares e paredes da superestrutura e descarregam sobre uma grande área do solo. Geralmente, o radier é escolhido para fundação de obras de pequeno porte. O radier apresenta vantagens como baixo custo e rapidez na execução, além de redução de mão de obra comparada a outros tipos de fundação superficiais ou rasas. O radier é um tipo de fundação mais utilizado em obras de casa populares, pois pode ser reproduzido rapidamente através de formas de metal cobrindo uma ou duas unidades de cada vez.

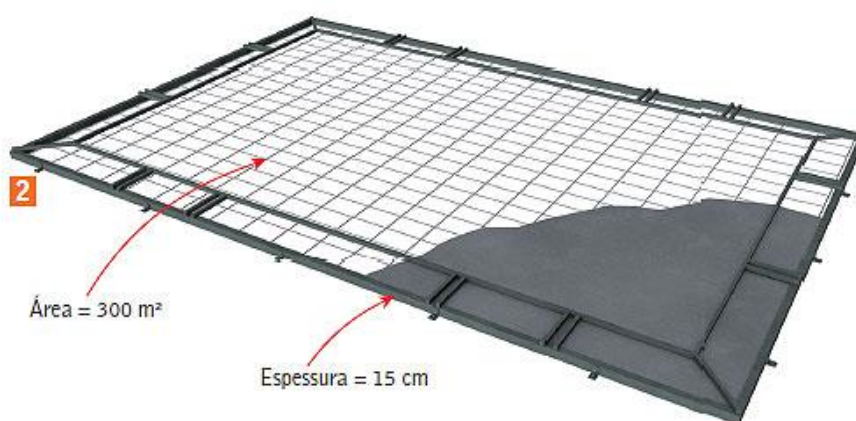


Figura 19 - Laje tipo Radier (Watanabe, 2008)

5.2.1.3. MicroEstacas

As micro estacas são estacas de até 400 mm de diâmetro escavadas com trados de pequena potência a profundidades de até 5,0 metros. As escavações podem ser revestidas evitando o desmoronamento do material. A micro estaca é constituída de uma armadura de ferro e calda de cimento. A calda de cimento pode ser injetada a pressão ou por gravidade, as micro estacas são recomendadas para residências de até dois pisos em solos de resistência média a alta e em locais de difícil acesso.

5.2.2.Fundações Indiretas

As fundações indiretas utilizam o princípio da transferência de carga através do atrito lateral do elemento com o solo. Os elementos podem ser moldados “in loco” ou ser encomendados prontos. Fundações indiretas são recomendadas para projetos de grande porte com alta carga aplicada no solo ou quando o solo é muito mole com baixa capacidade de carga. A execução é realizada através de máquinas de grande potência com mão de obra especializada. Muitas vezes é necessário preparar o terreno para a entrada desses equipamentos com até 30 toneladas de peso. Em compensação a execução segue um padrão garantindo a qualidade das fundações pelas ferramentas de monitoramento aplicadas aos equipamentos.

5.2.2.1. Bate-Estacas

Nesse tipo de fundações os elementos, de tamanho pré-determinado, são cravados no solo com a utilização de um martelo de cerca de 1500 kg acoplado a um motor elétrico ou hidráulico (figura 20). Os elementos são posicionados e golpeados até a profundidade desejada. As estacas podem ser de concreto pré-moldadas ou estacas metálicas. As estacas pré-moldadas podem ser encomendadas previamente na forma (cilíndrica ou quadrada) desejada e com o comprimento adequado ao projeto de fundações, geralmente de acordo as possibilidades do fabricante. As estacas metálicas são pedaços de trilhos descartados ou reciclados, a grande vantagem em relação às estacas pré-fabricadas é a possibilidade do corte do elemento de acordo com a profundidade de cravação e

o uso de bate estacas de menor dimensão sendo possível o uso em espaços restritos.

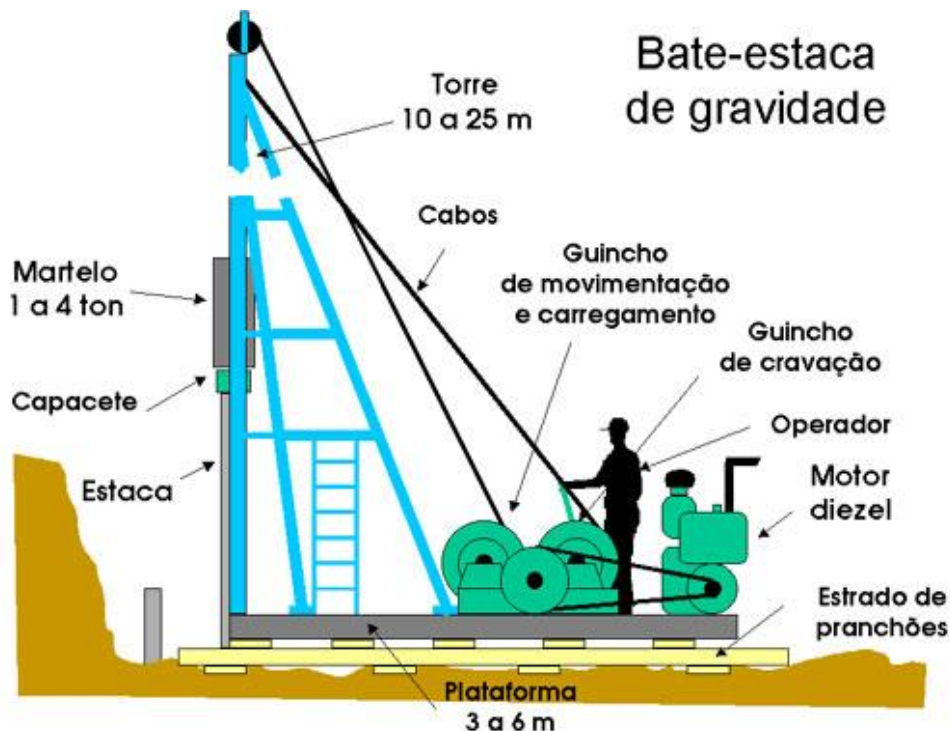


Figura 20 - Bate - Estacas (Watanabe, 2008)

5.2.2.2. Estacas Escavadas

As estacas escavadas são executadas através da perfuração do solo com grandes perfuratrizes acopladas em caminhões, com diâmetro de até 1500 mm. O processo executivo (figura 21) consiste na perfuração do solo com a perfuratriz até a profundidade determinada no projeto na sequencia é colocada a armadura de ferro e por fim colocada a calda de cimento. A grande vantagem do processo é a capacidade da abertura de diversas cavas num mesmo dia aumentando a produtividade. A principal desvantagem é a impossibilidade da execução em solos com muita água, pois durante a perfuração ocorre a inundação do espaço impossibilitando o processo de concretagem.

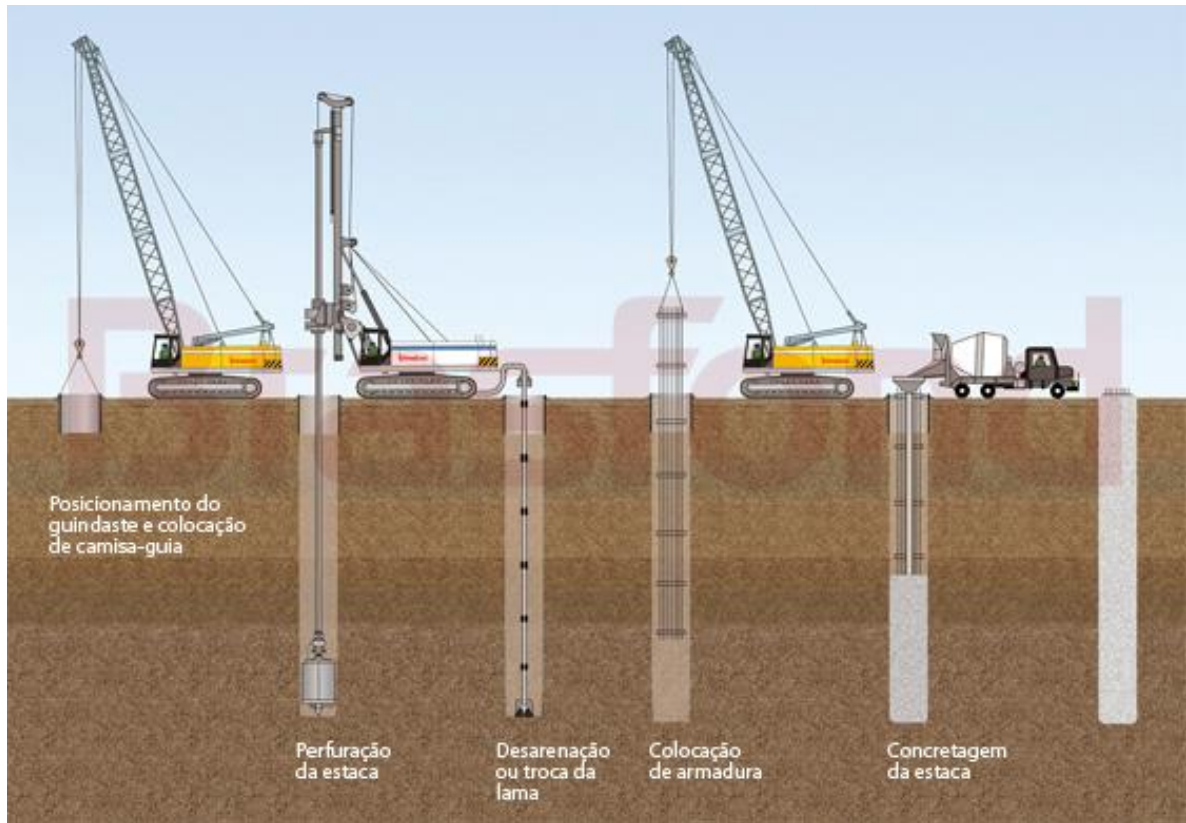


Figura 21 - Processo Construtivo de Estacas Escavadas (Watanabe, 2008)

5.2.2.3. Hélice Contínua Monitorada

As estacas do tipo hélice contínua monitorada são altamente recomendadas para todo tipo de construção, pois aliam uma grande produtividade com a análise constante da qualidade da estaca. O método construtivo (figura 22) consiste na perfuração do solo, ao fim da escavação o concreto pressurizado é injetado durante o movimento de retirada do trado. Esse padrão de execução assegura o total preenchimento do espaço escavado sem o desabamento das paredes. Com a retirada do trado é introduzida armadura metálica no concreto e concluída a estaca. O equipamento é dotado de sensores com monitoramento em tempo real do torque, volume de concreto e pressão do concreto, além disso, as estacas são locadas por GPS o que garante uma qualidade superior às estacas.

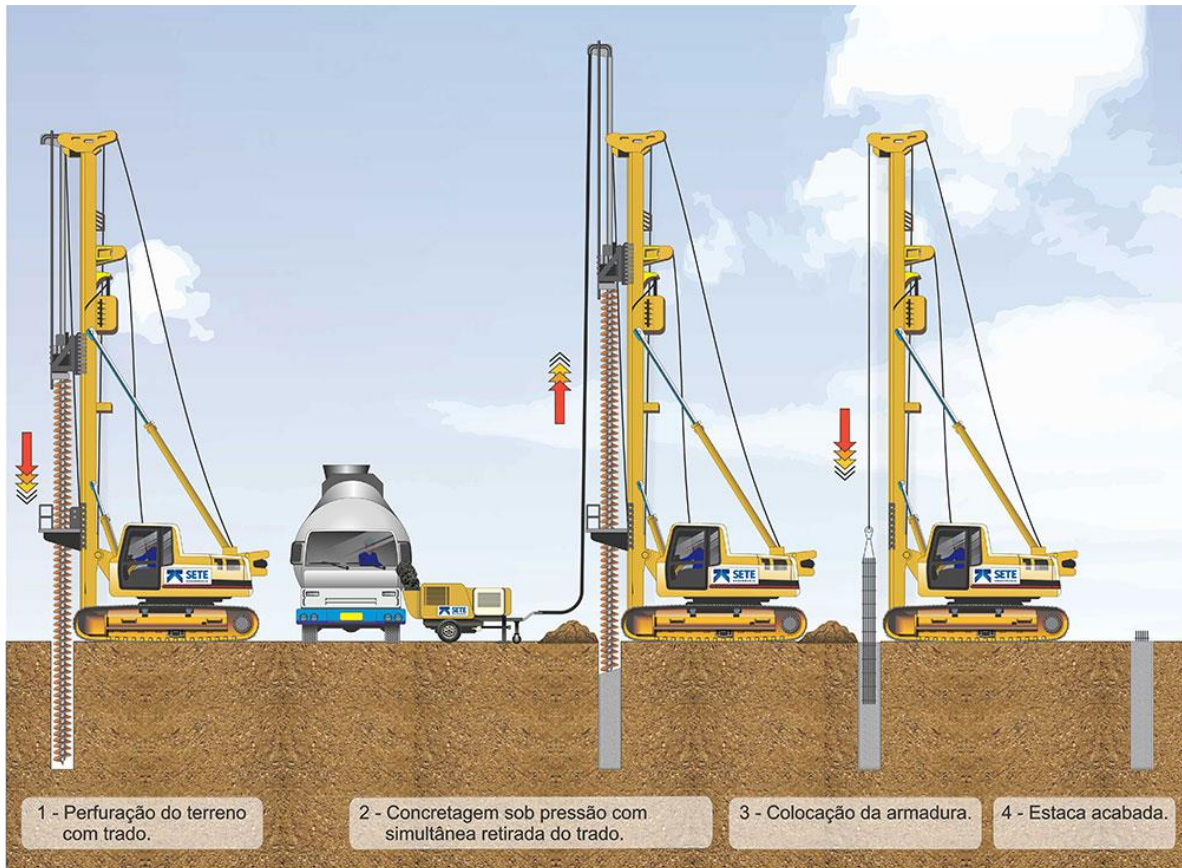


Figura 22 - Método Construtivo da Estaca Tipo Hélice Contínua (Watanabe, 2008)

5.2.2.4. Estaca Raiz

Estacas raiz são indicadas para fundações diretamente em rocha sã. O equipamento é de médio a grande porte dependendo do tamanho da estaca desejado. A execução é dividida em três partes distintas (figura 23), a primeira parte consiste na perfuração (no caso de rocha pode-se utilizar uma ponteira diamantada ou um martelo hidráulico) com circulação de lama bentonítica e no revestimento do furo com elementos rosqueáveis garantindo a estabilidade do furo. A segunda etapa é a colocação da armadura dentro do furo e por fim a injeção de argamassa pressurizada. A composição da argamassa é especial com a secagem rápida e alta rigidez. Quando o furo está completamente preenchido de argamassa é iniciada a retirada dos elementos do revestimento e injeção de argamassa para complementação de possíveis falhas.

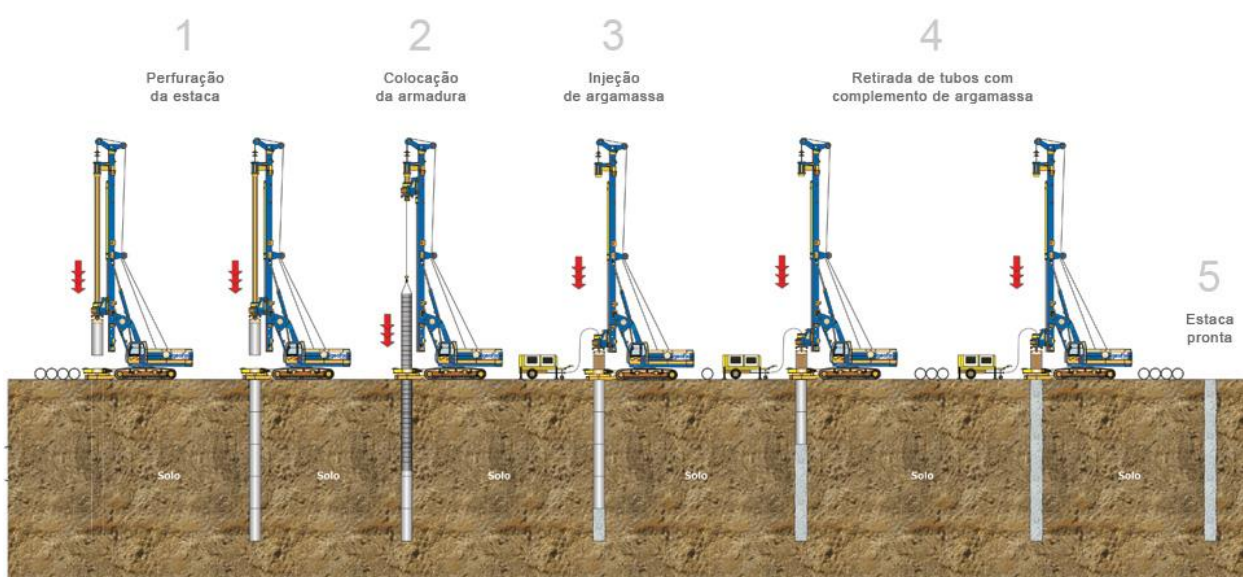


Figura 23 - Execução Estacas Raiz (Watanabe, 2008)

5.3. Banco de Dados

A criação do banco de dados foi a tarefa mais difícil de todo projeto, transformar relatórios e boletins de sondagem num grupo de atributos unificado e coeso requereu esforço e criatividade.

Primeiramente foram analisados os atributos fornecidos pelo teste SPT: número de golpes, tipo de material, cor, presença de estruturas especiais e o nível de água inicial e 24 horas após o fim dos trabalhos. Quanto a localização dos furos foram utilizadas coordenadas UTM no Datum WGS-84, de cada um dos furos coletadas com GPS portátil em cada sitio amostrado. Os furos foram catalogados e foi atribuído um número para cada um dos furos. Com todos dados em mãos foi utilizado o programa Excel para construção de uma tabela completa com todos os atributos de interesse:

- Número do Furo
- Coordenada UTM Norte
- Coordenada UTM Leste
- Nível de água inicial
- Nível de água 24 horas
- Número de golpes (metro a metro)
- Tipo de material (metro a metro)

- Profundidade Final

Foi necessário um tratamento dos dados para validação dos valores. No atributo número de golpes existiam muitos valores não aceitos pelo programa Excel, devido a serem números fracionados como 30/15, 13/04, etc. com isso foi necessário definir uma troca de valores para que o processamento de dados fosse possível, como estes valores ficam geralmente no final do furo de sondagem e o valor máximo do número de golpes é 60. Quanto a descrição do material contido em cada amostra como, por exemplo, “Silte argiloso”, a fração maior fica como material predominante naquela amostra portanto “Silte”.

Dos 181 furos iniciais após essa triagem restaram 164 furos de sondagem dentro destes a profundidade média foi de 11,15 metros, o mais profundo teve 27,40 metros e o mais raso 1,87 metros.

FURO	UTM N	UTM E	N. ÁGUA	NIVEL 24 H	PROF. FINAL	Nº GOLPES	0,00-0,45	5,00-5,45	10,00-10,45	15,00-15,45
1	6668499.07	475965.32	XX	3,45	11,4		8	18	60	
2	6668517.79	475961.11	XX	3,65	10,6		8	18	60	
3	6678472.61	481174.47	1,98	1,82	18,05		6	27	32	60
4	6678476.99	481150.72	1,9	1,77	12,02		11	19	60	
5	6678474.40	481165.06	1,56	1,6	16,04		8	47	23	60
6	6676597.41	481722.69	XX	XX	15,45		6	14	29	39

Tabela 1 - Dados Pontuais (Meirelles, 2015)

FURO	UTM N	UTM E	PROF. FINAL	MATERIAL	0,00-0,45	5,00-5,45	10,00-10,45	15,00-15,45	20,00-20,45	25,00-25,45
1	6668499.07	475965.32	11,4		AR	AL	AL	AL		
2	6668517.79	475961.11	10,6		AR	AL	AL	AL		
3	6678472.61	481174.47	18,05		AR	ST	AL	AL		
4	6678476.99	481150.72	12,02		AR	AL	AL			
5	6678474.40	481165.06	16,04		AR	ST	AL	AL		

Tabela 2 - Tipo de Material (Meirelles, 2015)

Nas tabelas 1 e 2 estão representadas somente as profundidades que foram representadas no mapa final e com os dados devidamente tratados. A tabela completa esta inserida junto dos anexos ao final do trabalho.

Para inserção dentro do software ArcGis foi necessária a utilização de planilhas em formato Excel 97-2003 que não apresentaram erros de posicionamento dos furos. Dentro da plataforma ArcGis foi necessário a confecção de planilhas individuais para cada tipo de dado inserido como o número de golpes a cinco metros numa planilha diferente do número de golpes a dez metros. Cada coluna da planilha deve ser identificada dentro do programa com o tipo de atributo ideal, como no caso

do número de golpes toda a coluna é classificada no Excel como número. Sem essa modificação não é possível dividir os valores em classes com valores limites, uma questão fundamental para a representação dentro do mapa final.

5.4. Mapeamento Geotécnico

A cartografia geotécnica é o instrumento que fornece a base para o planejamento e uso do território em estudo, com a confecção de cartas geotécnicas temos a possibilidade de prever o comportamento dos terrenos e indicar possíveis soluções para cada problema apresentado. O mapeamento para fundações consiste em indicar através de atributos base o comportamento do substrato e através deste comportamento recomendar entre os diferentes tipos de fundações aquele com maior segurança para aquela área. Esse mapeamento visa um melhor uso do solo com uma ocupação planejada contribuindo para segurança de todos residentes daquela região.

De acordo com o artigo “Cartografia Geotécnica por classificação de Unidades de Terreno e Avaliação de Suscetibilidade e Aptidão” (Diniz, 2009) A metodologia de classificação de terrenos baseia-se na caracterização, análise qualitativa e avaliação quantitativa de atributos que caracterizam as unidades de terrenos – UT são unidades que representam a síntese entre as características geológicas geomorfológicas dos terrenos com o desempenho de infraestruturas instaladas no terreno, ou seja, a interação entre solo e a fundação profunda em questão. Estas unidades são definidas com a utilização de cartas geotécnicas e é a menor escala de avaliação geotécnica possível. Neste trabalho a escala é diferente por se tratar de um município inteiro, mas os princípios de aplicação são os mesmos.

O início trata-se de indicar um objetivo da carta a ser gerada como risco geológico, hidrogeologia, urbanização, etc. são diversos os campos que podem ser abordados. Definido o objetivo é essencial a elaboração de uma base de dados, que no caso do trabalho são os atributos fornecidos pelo teste SPT (nº de golpes, nível d água, tipo de material), que devem ser organizados de forma a gerar arquivos base para a modelagem. Como a modelagem é um processo cansativo e extenso é necessário facilitar para não se criar unidades e/ou atributos em excesso que

acabam por transformar o objetivo da carta numa superposição de dados sem valor algum. Assim definir exatamente quais atributos tem representatividade e quais são acessórios é o grande objetivo desta etapa do trabalho.

No caso de um mapa geotécnico de fundações é possível definir entre áreas aptas e inaptas de acordo com os atributos analisados, no caso o número de golpes, o material amostrado e a litologia da área. Contudo a solução indicada para cada sitio é específica e pode refletir ou não a recomendação global estipulada no zoneamento, nesse ponto que o atributo nível d água é fundamental para orientar a escolha do método de fundação ideal. Uma localização precisa dos pontos também faz parte do mapeamento, sendo o uso do GPS imprescindível para a correta confecção da carta.

5.4.1. Confecção da Carta Geotécnica

A etapa da confecção do mapa em si, consiste em unificar todos os dados adquiridos com o teste SPT dentro de uma carta geotécnica. O avanço desta parte do trabalho levantou muitas duvidas em relação às quais informações teriam relevância e quais poderiam ser descartadas. Como aperfeiçoar a presença do máximo de informações sem criar um mapa muito poluído que perde a facilidade de uso. A saída foi unificar informações criando um numero menor de categorias dentro da carta

Os dados organizados e definidos são inseridos no programa ArcGis da seguinte forma:

1. Execução de uma tabela base, com todos os dados organizados na forma de banco de dados do projeto facilitando o acesso a cada parâmetro.
2. Organização de cada atributo numa tabela própria naquela camada do desenho, por exemplo, na camada dos cinco metros de profundidade uma tabela com o numero de golpes e outra tabela com o material descrito.
3. Formatar cada tabela individual de forma a ser reconhecida facilmente pelo programa gerador de mapas (ArcGis) com todas correções necessárias como a definição de atributo em número ou em texto, o separador de unidades como a virgula não o ponto e outras pequenas correções para a implantação desta tabela como dado no mapa.

4. Salvar todas tabelas em formato xls, do programa Excel 2003 que se integra melhor ao software ArcGis.
5. Inserindo os dados no mapa, primeiramente definir o Datum (no caso do projeto WGS 1984) inserir as tabelas individuais de cada dado representado.
6. Ao inserir a tabela no software definem-se quais atributos representam as coordenadas x (UTM leste), coordenadas y (UTM norte) e atributo em questão (Número do furo), os furos são locados corretamente ao longo do mapa.
7. Com os pontos locados no mapa num arquivo prévio, se exporta os dados para o formato shapefile próprio do ArcGis, facilitando a edição dos dados de acordo com o atributo selecionado.
8. O número de golpes como um atributo em forma de número será representado por uma escala de cores enquanto que o material amostrado será representado por uma simbologia individual para cada tipo de material (argila, silte, areia, aterro, argila orgânica e alteração de rocha) o que torna possível a representação de ambos no mesmo mapa.
9. Com estes dados representados dentro do mapa geológico de Porto Alegre é feita a parte estatística entre os resultados dos ensaios e a integração com a litologia da área de estudo, desta integração resulta a conclusão do trabalho com as recomendações quanto ao tipo de fundação a ser utilizado dentro de cada litologia.

Com a inserção dos dados e sua representação cartográfica inicia-se o processo de definição das zonas aptas para fundações, dentro dos pontos amostrados. Foram definidas três zonas de adequabilidade de fundações de acordo com as seguintes características:

- Alta adequabilidade: Zonas de alta resistência (N° SPT > 30), possibilidade da execução de fundações simples;
- Media adequabilidade: Zonas de resistência intermediária (N° SPT entre 30 e 10 golpes), possibilidade de execução de fundações simples de grande dimensão ou profundas;
- Baixa adequabilidade: Zonas de baixa resistência (N° SPT < 10), a execução de fundações profundas é imprescindível para estabilidade da edificação;

- Zona não amostrada: Região sem furos de sondagem.

Com a definição de cada parâmetro a definição das zonas foi feita pela associação entre pontos com similaridades entre resistência, material e litologia naquela profundidade.

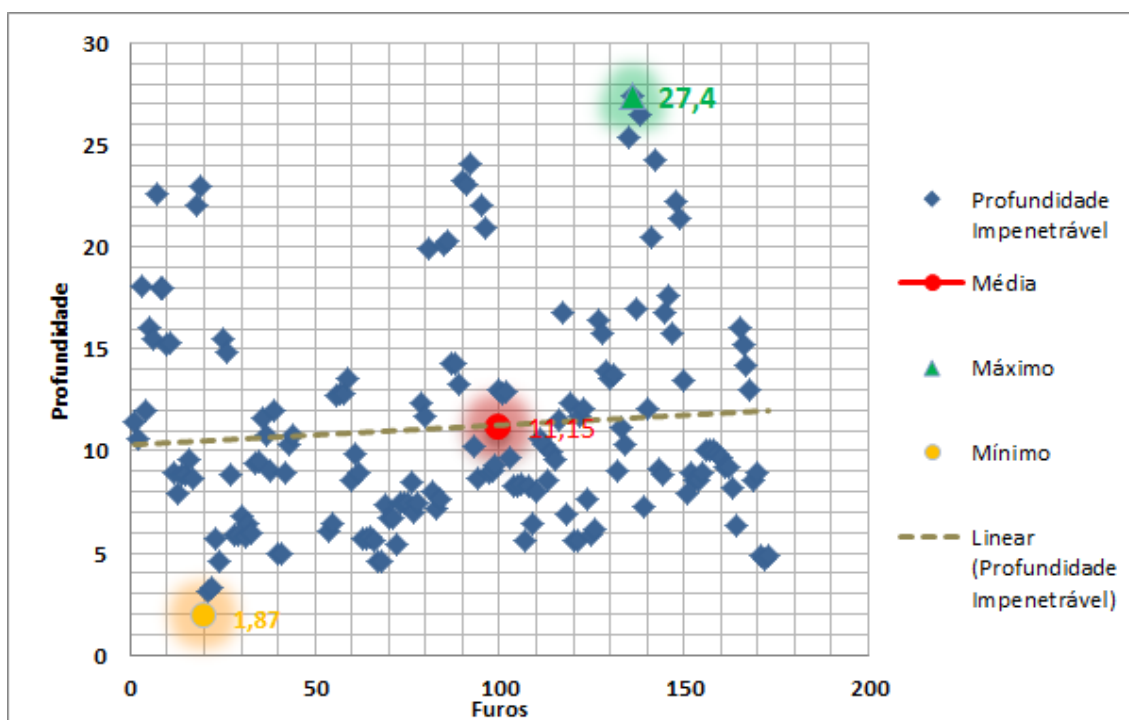


Gráfico 1 - Pontos Amostrados x Profundidade (Meirelles, 2015)

A profundidade média dos furos executados é de 11,15 metros (gráfico 1), a grande maioria dos pontos amostrados se concentra nas profundidades (gráfico 2) entre 0 e 10 metros. Para uma clara visualização da evolução da resistência do solo com o aumento da profundidade serão apresentados mapas com as profundidades de 0,00 metros, 5,00 metros, 10,00 metros e 15,00 metros. Profundidades maiores não apresentam um número suficientemente representativo conforme o gráfico 2.

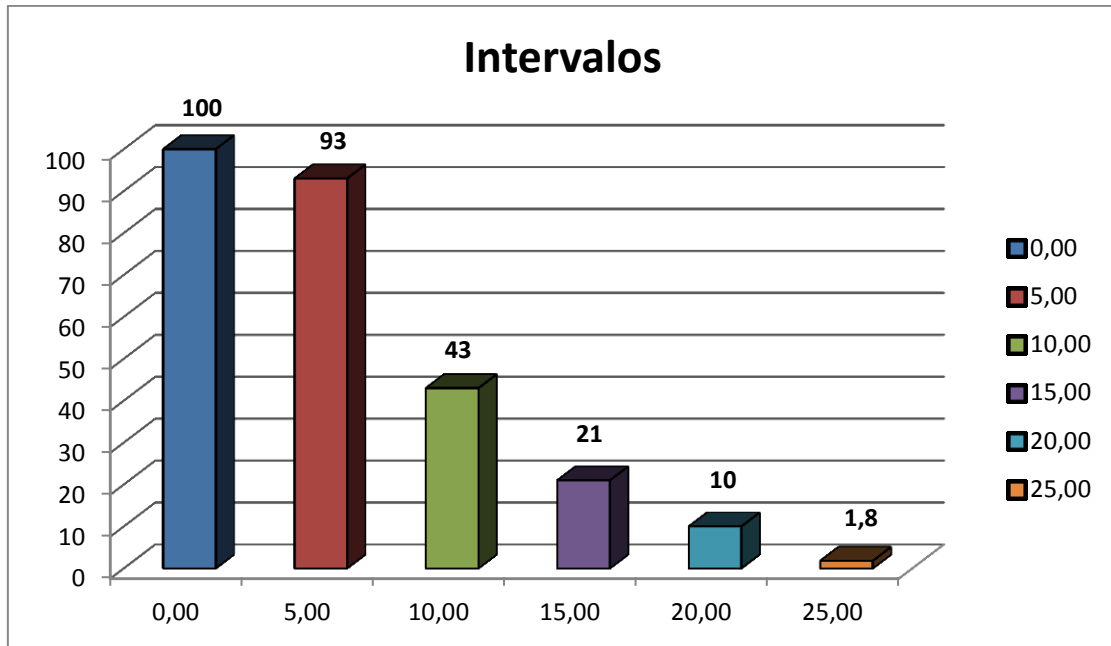


Gráfico 2- Percentagem de Furos Representada com o Avanço da Profundidade (Meirelles, 2015)

Os dados referentes ao nível de água (gráfico 3) de cada furo executado são divididos entre o nível inicial e o nível 24 horas após o fim da execução. No nível d água inicial 84 furos não acusaram a presença de água, no nível d água 24 horas apenas 47 furos não acusaram a presença de água pelo mesmo motivo do item anterior (representatividade) o nível 24 horas foi escolhido para representar este item dentro da carta.

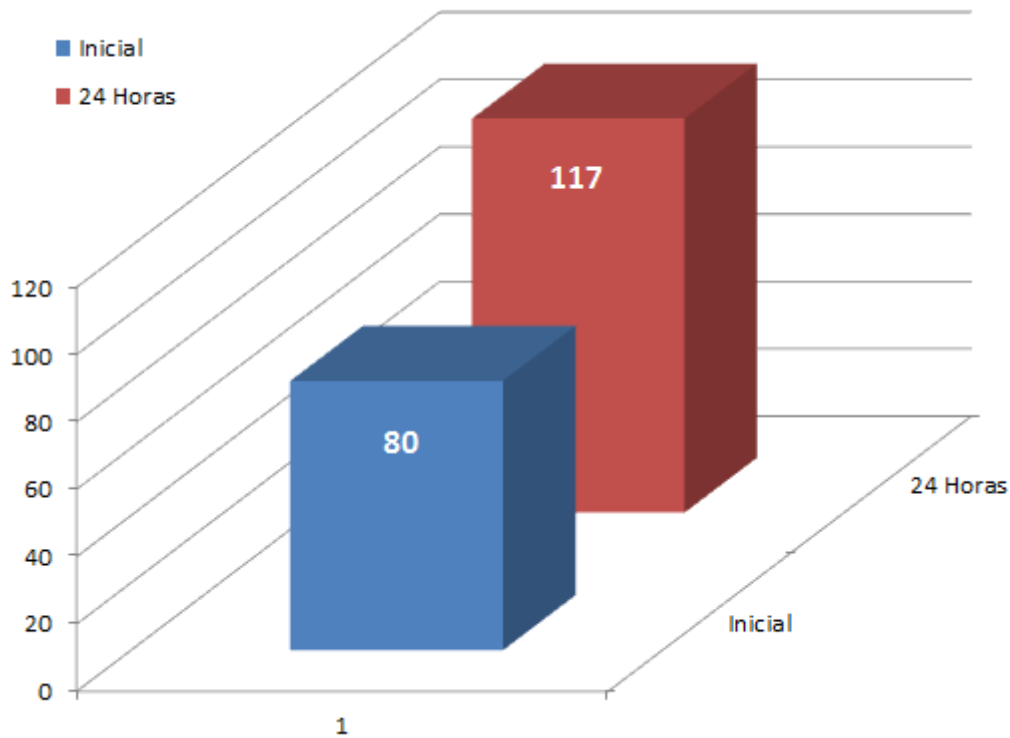


Gráfico 3 - Nível d'água inicial e 24 horas (Meirelles, 2015)

Os mapas de estudo de caso são diferentes, pois são específicos à área do terreno estudado, nesse caso o programa Target foi utilizado, pois nesse caso sim é possível um exagero dos dados cobrindo toda área do terreno e tem como objetivo ilustrar de forma simples as potencialidades do uso da sondagem SPT e dos problemas causados pela má interpretação da mesma.

6.RESULTADOS

Com base nos objetivos propostos no início do trabalho:

- Elaboração de uma carta geotécnica de fundações aplicável às regiões cobertas pelas sondagens;
- Organização de um banco de dados com pelo menos 150 sondagens;
- Realizar dois estudos de casos relevantes ao entendimento das potencialidades da sondagem SPT e produzir os mapas da região em destaque;
- Identificar o potencial da sondagem SPT suas vantagens e limitações.

Os resultados abaixo são apresentados de forma técnica e objetiva enfatizando os pontos do estudo com maior relevância para o trabalho. O grande objetivo do trabalho, que são as cartas geotécnicas, se encontram em anexo ao fim do trabalho junto com os mapas em tamanho A3 de estudo do caso.

6.1. Estudos de Caso

Nesse capítulo serão abordados dois casos específicos dentro dos locais amostrados no Município de Porto Alegre onde ficam claras as vantagens de uma investigação geotécnica correta na fase de projeto de cada um dos empreendimentos aqui expostos. Foram analisados todos os 47 pontos de sondagem amostrados e seus resultados, o projeto implantado no terreno e possíveis problemas causados pela falta de atenção as informações resultantes da investigação do solo e do laudo geotécnico entregue ao corpo técnico de cada empreendimento.

Nos dois casos são observadas as consequências negativas de uma escolha baseada na velocidade de execução e as positivas quando se investe na investigação do solo de maneira correta. No primeiro estudo o erro crasso por parte dos Engenheiros/Arquitetos responsáveis, foi escolha da velocidade na execução dos serviços de escavações/fundações. Este tipo de erro é comum visto que a grande maioria das obras é realizada por incorporadoras de pequeno e médio porte, que não possuem o vigor financeiro para a execução completa do empreendimento.

Isso acaba gerando um aporte de recursos irregular, geralmente de acordo com a venda das unidades do empreendimento em questão. Essa irregularidade contribui e muito nos prazos de execução de cada etapa da obra trazendo junto essa velocidade que acarreta os problemas descritos na sequência.

No segundo estudo, como foram detectadas anormalidades na investigação do solo, os responsáveis seguiram todas as recomendações da equipe de sondagem sem contenção de custos. A obra seguiu sem maiores problemas de execução.

O resultado na comparação puramente financeira é de que o investimento na investigação do subsolo é muito menor do que o valor das remediações necessárias no caso de uma surpresa indesejada.

6.1.1. Estudo de Caso I – Prédio 7 Andares e Estacionamento Subterrâneo

O Primeiro Caso estudado é de um prédio de 7 andares com dois estacionamentos subterrâneos com obra iniciada em março de 2013, na zona sul de Porto Alegre. Os serviços de sondagem foram contratados e executados durante o mês de junho de 2013 com os posteriores serviços de fundações executados durante os meses de agosto a outubro do mesmo ano.

O terreno onde foi feita a investigação estava previamente ocupado com edificações ocupando cerca de 70% de sua área. A metragem total do terreno é de 1800 m², recomendando-se pela norma NBR 8036 um número de 8 sondagens para uma completa verificação do subsolo. Pela presença de edificações sobre o terreno, com um pé direito baixo em alguns casos (menor que 3,0 m), foram determinados pontos de sondagem locais externos e dentro de pavilhões com pé direito alto, ideal para um tripé de sondagem de pequeno porte.

Nesse ponto resulta o primeiro erro de avaliação do contratante, na contratação dos serviços de sondagem a marcação dos pontos de investigação sempre fica a cargo do contratante, contudo no primeiro encontro para marcação dos furos sempre é enfatizado a necessidade de uma atenção maior a locais no projeto onde serão executadas escavações profundas, poço do elevador, instalação

de fossa séptica, etc. estes locais são mais suscetíveis a problemas de acordo com as características do solo.

Os pontos de sondagem foram atribuídos de acordo com a facilidade de acesso e não com uma consulta simples ao projeto na planta de implantação. Como o projeto previa dois andares de estacionamentos subterrâneos toda parte coberta pelas escavações deveria ser coberta por sondagens, o que acabou não acontecendo, por determinação dos contratantes. Foram executados seis furos de sondagem ao longo do terreno com dois destes furos com tripé de pequeno porte dentro das edificações existentes no terreno, além de uma sondagem adicional ao furo 4 pela pouca profundidade do mesmo. Os resultados dos testes SPT foram os seguintes:

Spt 1 : Profundidade total 16,80 metros

Camadas encontradas na sondagem : 3

Aterro argiloso : 0,00 a 1,70 m

Silte argiloso, pouco arenoso : 1,70 a 4,10 m

Alteração granítica : 4,10 a 16,80 m.

Spt 2 : Profundidade total 6,90 metros

Camadas encontradas na sondagem : 4

Piso de concreto : 0,00 a 0,20 m

Aterro argiloso : 0,20 a 2,90 m

Silte argiloso, pouco arenoso : 2,90 a 4,00 m

Alteração granítica : 4,00 a 6,90 m.

Spt 3 : Profundidade total 12,31 metros

Camadas encontradas na sondagem : 3

Aterro argiloso : 0,00 a 1,80 m

Silte argiloso, pouco arenoso : 1,80 a 5,90 m

Alteração granítica : 5,90 a 12,31 m.

Spt 4 : Profundidade total 5,60 metros

Camadas encontradas na sondagem : 3

Piso de concreto : 0,00 a 0,30 m

Silte argiloso, pouco arenoso : 0,30 a 2,20 m

Alteração granítica : 2,20 a 5,60 m.

Spt4A : Profundidade total 5,63 metros

Camadas encontradas na sondagem : 3

Piso de concreto : 0,00 a 0,30 m

Silte argiloso, pouco arenoso : 0,30 a 2,37 m

Alteração granítica : 2,37 a 5,63 m.

Spt 5 : Profundidade total 11,70 metros

Camadas encontradas na sondagem : 3

Aterro argiloso : 0,00 a 1,50 m

Argila arenosa : 1,50 a 4,25 m

Alteração granítica : 4,25 a 11,70 m.

Spt 6 : Profundidade total 12,07 metros

Camadas encontradas na sondagem : 4

Piso de concreto : 0,00 a 0,40 m

Argila arenosa : 0,40 a 3,00 m

Silte arenoso, pouco argiloso : 3,00 a 6,95 m

Alteração granítica : 6,95 a 12,07 m.

Terminada a execução dos furos foram constatados dois locais de duvida, junto ao furo 4 foi realizado mais um furo com profundidade final similar (5,60 x 5,63) e junto ao furo 2 onde não foi realizado outro furo por decisão do contratante. Com todos resultado em mãos a próxima etapa foi a escolha do tipo de fundações a serem executados no terreno. O nível de água durante as sondagens foi raso (entre 0,60 e 1,94) mas como o material predominante nas camadas do solo era argila e principalmente alteração granítica foi escolhido a estaca escavada, após a execução de dois furos teste de 400 mm de diâmetro e como nesses furos não houve desabamento e também não ficaram cheios de água ao ficarem dois dias abertos indicando condições para a realização desse tipo de fundações.

Como mencionado anteriormente o terreno seria escavado e para a execução das fundações na região do estacionamento subterrâneo enquanto se manteria o

relevo natural do terreno no resto dos pilares. A execução das fundações na parte coberta pelos furos 1,2,3 ocorreu tranquilamente, na região do furo 2 de pouca profundidade ocorreram pedriscos pelos 6,50 metros o que ocasionou o fim da sondagem mas não foi problema para a máquina perfuratriz que conseguiu chegar aos 10,00 metros de profundidade estimado pelo projeto de fundações.

O Grande problema foi encontrado na área dos furos 4 e 4-A, furos curtos com um aumento brusco da resistência. Nesse local foram feitas escavações até cerca de -10,00 metros do nível original do terreno. Ao se escavar a região dos Furos 4 e 4-A foi descoberto um matacão de grandes proporções (cerca de 3,0 metros de largura x 4,0 de comprimento, figura 24). Uma rocha dessas proporções poderia ser facilmente destruída com o uso de desmonte a fogo com posterior remoção dos destroços, numa operação que duraria algumas horas. Contudo como já estavam sendo executadas estacas no resto do terreno e muito próximas da parte escavada uma explosão poderia causar danos ou até mesmo inutilizar as estacas. A solução encontrada foi do desmonte com ferramentas manuais, um processo longo que impactou diretamente no cronograma da obra em cerca de 1 mês de atraso com alto custo (aluguel de equipamento, contratação de equipe especializada, procedimentos de segurança, interrupção na execução das fundações, etc.) que poderia ser evitado caso os responsáveis pela obra seguissem as recomendações e realizassem um furo de sondagem rotativa naquele ponto.



Figura 24- Parte Restante do Matacão "in situ" (Meirelles, 2015)

Esta situação ilustra bem como a sondagem SPT é um bom instrumento para investigações de subsolo e que mesmo com suas limitações quanto a materiais mais rígidos pode sim indicar locais com problemas para a execução de trabalhos em profundidade. Uma boa e criteriosa análise dos resultados é necessária e caso se apresente a necessidade de uma nova malha de furos, inclusive com uso de sondagem rotativa, na maioria dos casos acaba por diminuir o custo global da obra como observado no caso descrito. Onde muitos recursos e principalmente tempo foram perdidos por uma simples decisão de economizar nos serviços de investigação do solo.

ESTUDO DE CASO 1 - PRÉDIO 7 PAVIMENTOS + 2 SUBSOLOS

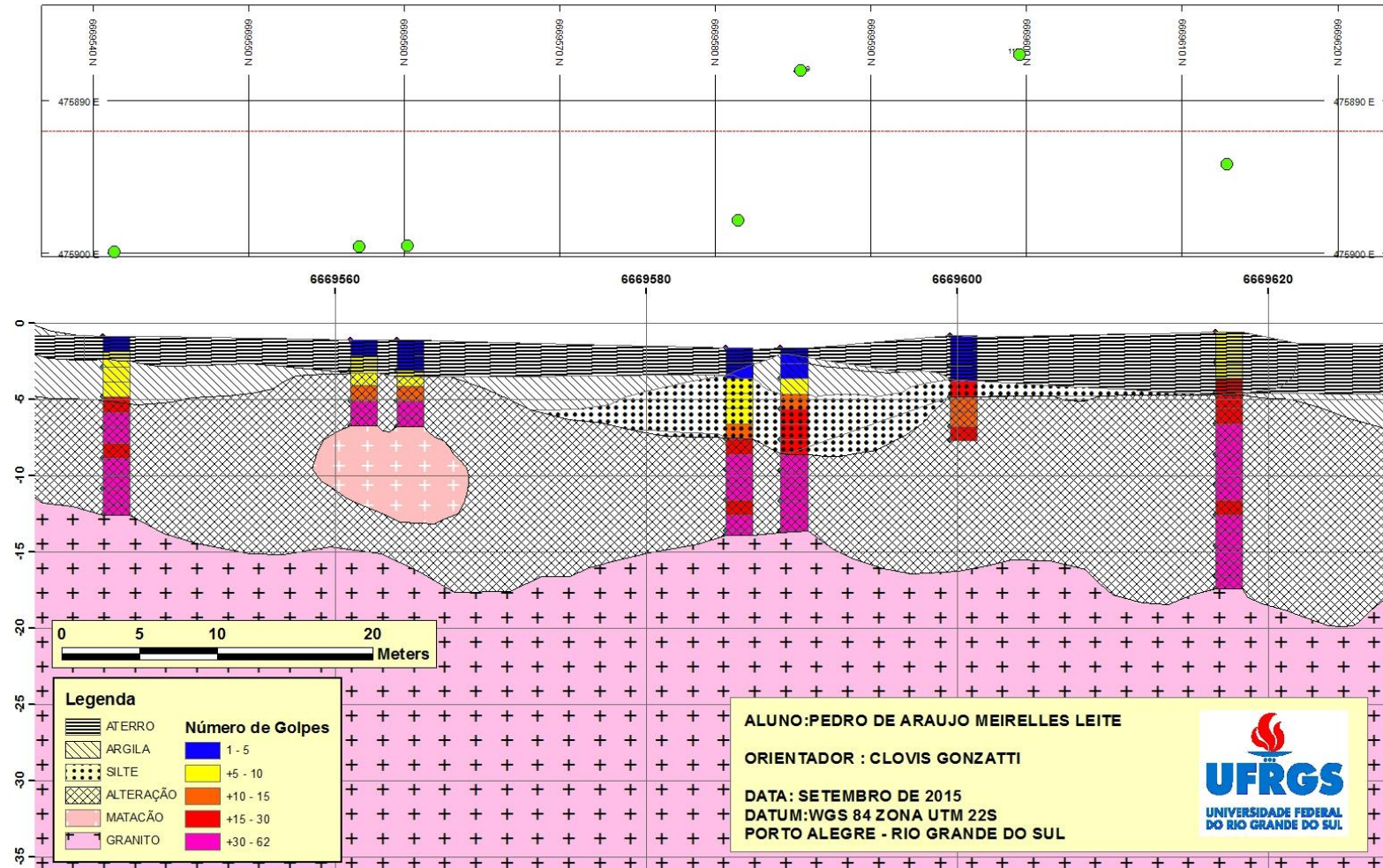


Figura 25 - Estudo de Caso 1 (Meirelles, 2015)

6.1.2. Caso 2 – Zona de baixa resistência

No segundo caso estudado no bairro Petrópolis, um prédio de grande porte com uma base de 3 andares de estacionamentos e duas torres de 12 andares em um terreno já limpo e preparado para os trabalhos de investigação. A metragem total do terreno era de 1355 m² com 7 sondagens como recomendado pela norma NBR 8036. Foram executados seis furos de sondagem ao longo do terreno com mais um furo extra junto ao furo 5. Os resultados dos testes SPT foram os seguintes:

Spt 1 : Profundidade total 25,40 metros

Camadas encontradas na sondagem : 5

Aterro : 0,00 a 0,97 m

Argila arenosa : 0,97 a 3,50 m

Areia com pedregulhos : 3,50 a 5,00 m

Alteração micácea : 5,00 a 11,86 m

Alteração granítica : 11,86 a 25,40 m.

Spt 2 : Profundidade total 27,40 metros

Camadas encontradas na sondagem : 5

Aterro : 0,00 a 0,53 m

Argila arenosa : 0,53 a 2,87 m

Areia com pedregulhos : 2,87 a 4,79 m

Alteração micácea : 4,79 a 12,57 m

Alteração granítica : 12,57 a 27,40 m.

Spt 3 : Profundidade total 16,98 metros

Camadas encontradas na sondagem : 5

Aterro : 0,00 a 0,50 m

Argila arenosa : 0,50 a 3,00 m

Areia com pedregulhos : 3,00 a 5,16 m

Alteração micácea : 5,16 a 12,86 m

Alteração granítica : 12,86 a 16,98 m.

Spt 4 : Profundidade total 26,45 metros
Camadas encontradas na sondagem : 4
Aterro : 0,00 a 1,74 m
Argila arenosa : 1.74 a 5,30 m
Alteração micácea: 5,30 a 12,50 m
Alteração granítica : 12,50 a 26,45 m

Spt 5 : Profundidade total 7,26 metros
Camadas encontradas na sondagem : 3
Aterro : 0,00 a 1,00 m
Argila arenosa : 1,00 a 5,50 m
Alteração granítica : 5,50 a 7,26 m.

Spt 5A : Profundidade total 12,11 metros
Camadas encontradas na sondagem : 4
Aterro : 0,00 a 0,98 m
Argila arenosa : 0,98 a 5,46 m
Alteração micácea: 5,46 a 12,11 m

Spt 6 : Profundidade total 20,45 metros
Camadas encontradas na sondagem : 4
Aterro : 0,00 a 0,93 m
Argila arenosa : 0,93 a 5,73 m
Alteração micácea: 5,73 a 12,62 m
Alteração granítica : 12,62 a 20,45 m

A grande surpresa com os resultados dos furos com camadas de alteração de rocha de até 15 metros. Normalmente as camadas de alteração tem entre 5 e 8 metros com resistência alta (N°Spt >30 Golpes) nesse caso foi observado um uma zona com menor resistência entre 5 e 13 metros na maioria dos furos. De acordo com (Aguiar, 2006) o teor de mica pode diminuir consideravelmente a resistência do solo saprolítico, grande parte pela presença de mica em tanto nas frações mais finas como silte e argilas como mais grossas como areia. Exatamente o observado junto a

esta grande camada durante as investigações realizadas. O motivo para a presença dessa maior quantidade de mica é difícil de determinar com o método utilizado na investigação. Os motivos podem ser diversos (zonas de falha, fraturas, etc.) e indicá-los sem precisão não passa de mera especulação.

Como a região de estudo é altamente povoada e o terreno em questão já havia sofrido com construções anteriores, determinar as características de relevo e das condições originais do terreno é impossível. O que se pode inferir pelas obras de infraestrutura executadas pela prefeitura na região é de que um arroio ou drenagem menor corria naquele ponto com o talvegue afetando a rocha diretamente. A outra situação existente na área são concentrações de solo arenoso grosso com partículas maiores (pedregulhos) concentradas antes da camada rica em mica na profundidade de 3 a 5 metros, fruto de aterros ou/e preparação do solo para construção dos prédios datados dos anos 40 que ocupavam a área anteriormente. Na época de tais construções era necessário um grande trabalho de assentamento do solo, pois ainda não existiam fundações profundas.

A solução indicada para as fundações com uma camada mais mole a altas profundidades foi a hélice contínua monitorada, que foi prontamente aceita pela equipe responsável e teve execução tranquila com estacas com uma média de 15 metros de profundidade. Nessa profundidade o torque da escavação (medida de resistência do solo pela máquina, quanto maior o torque necessário maior a resistência do solo) aumentava e podia se terminar a escavação das estacas.

A sondagem SPT foi executada conforme manda a norma e os pontos de sondagem foram distribuídos nos locais de maior necessidade de escavação, ou seja, foi uma execução da boa prática de campo ocasionando resultados interessantes ao contratante. A sondagem tipo SPT também pode servir para a detecção de camadas mais fracas mesmo que aparentemente, o material encontrado possa ser idêntico durante a execução. Nesse caso a diferença foi a presença de um profissional com treinamento prático e conhecimento teórico avançado dentro das limitações do ensaio.

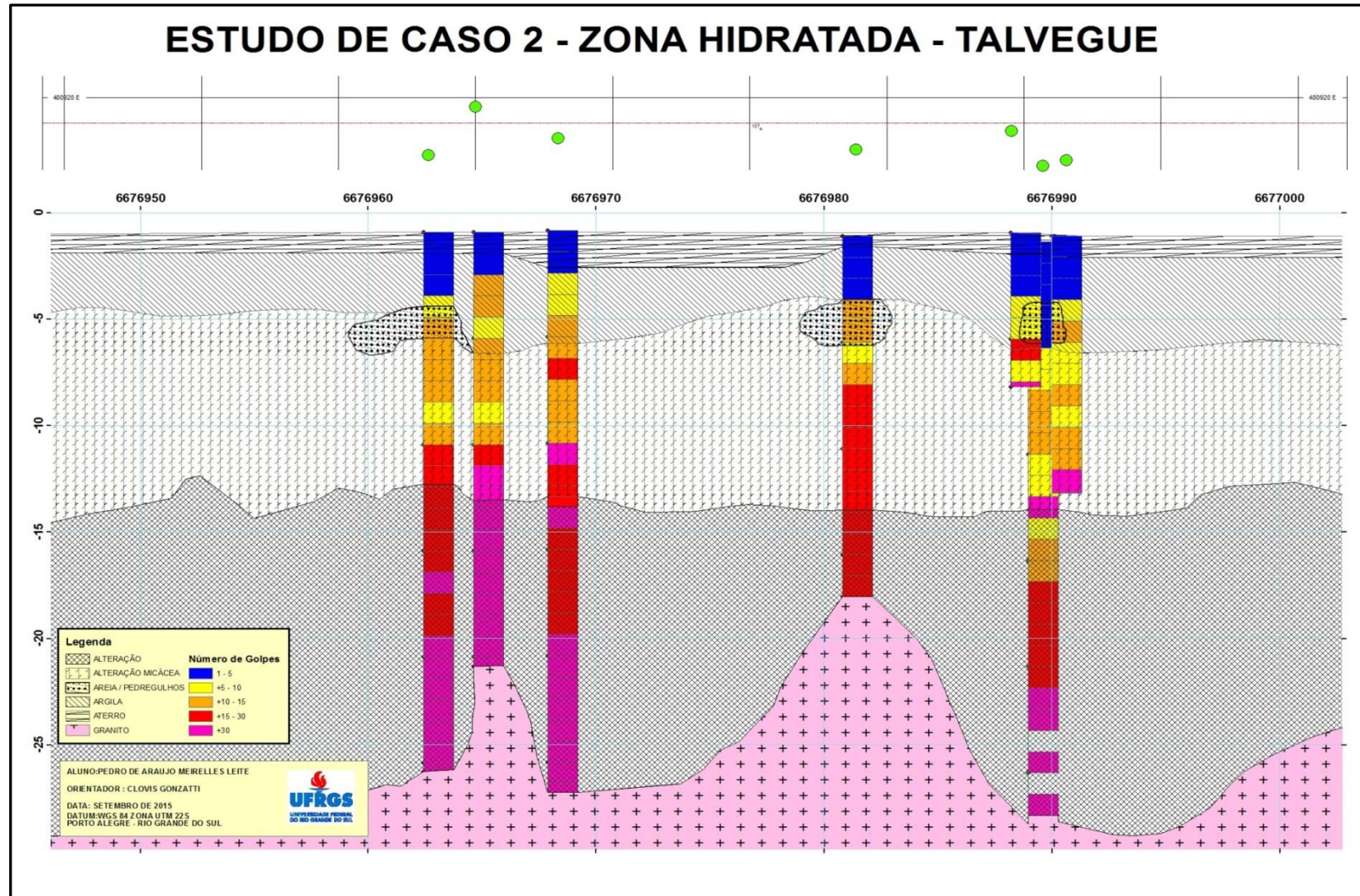


Figura 26 - Estudo de Caso 2 (Meirelles, 2015)

6.2. Análise de Regiões Amostradas

Os resultados referentes às regiões amostradas serão divididos de acordo com a profundidade amostrada, em ordem da menor profundidade à maior de forma a ilustrar melhor a evolução da resistência e a delimitação das zonas de adequabilidade e sua interação com as litologias do município.

A malha de sondagens com seus 164 furos foi ineficiente quanto a cobertura de toda a cidade, como todos os pontos amostrados são de obras reais houve uma grande concentração nas áreas de maior urbanização da cidade. As litologias amostradas foram os granitos Ponta Grossa, Santana e Independência; O gnaisse Porto alegre; As unidades sedimentares aluvionares, eluviais, coluviais e deltaicas. Mesmo assim como já foi dito anteriormente, são estas áreas que concentram a maior população da cidade, com isso as cartas geotécnicas confeccionadas no trabalho continuam como uma grande ferramenta de informações disponível a população.

Na profundidade inicial (0,00 metros) os resultados foram claramente negativos quanto ao uso de fundações diretas, todo universo de furos amostrados apresentou valores de resistência entre 1 e 10 golpes caracterizando zonas de baixa adequabilidade a fundações. Outro ponto a ser destacado foi a grande modificação sofrida pelas camadas superficiais do solo com cerca de 60% dos pontos amostrados apresentando camadas de aterro sobre o solo.

Na profundidade de 5,00 metros é possível observar uma pequena mudança de comportamento entre as unidades geológicas amostradas. Pontos próximos e sobre a zona granito-gnáissica apresentam valores intermediários de resistência, sendo demarcadas como zonas de média adequabilidade. As unidades sedimentares têm resultados divergentes enquanto uma região apresenta valores baixos, outra foi delimitada como uma zona de alta adequabilidade. Analisando essas duas zonas no quesito de material predominante fica claro a diferença entre as duas zonas. Na zona de alta adequabilidade o material predominante é a alteração de rocha enquanto na zona de baixa adequabilidade siltes, argilas e areias predominam entre os materiais amostrados.

A partir dos 10,00 metros de profundidade as zonas apresentam uma interação muito evidente com as litologias, com zonas de alta adequabilidade junto a zona granito-gnáissica enquanto sobre a unidade aluvionar predomina uma zona de média adequabilidade. Em ambos os casos o material que domina é a alteração de rocha, contudo junto às unidades sedimentares ocorrem pontos onde a aparece areia como material predominante.

Na camada final à 15,00 metros de profundidade os pontos amostrados sobre unidades sedimentares apresentam alta resistência e a delimitação de uma zona de alta adequabilidade é possível. Nessa profundidade 71% dos pontos amostrados apresentam resistência superior a 30 golpes. Os pontos com menores resistências, o valor mínimo amostrado nesta profundidade foi de 11 golpes (furo 146), estão situados na região do arroio do Salso na zona sul da cidade. Nesta profundidade a grande maioria dos furos nas regiões granito-gnáissicas já atingiu a profundidade impenetrável caracterizando a maior resistência destas litologias.

6.3. O Potencial da Sondagem a Percussão

A sondagem a percussão tem como objetivo a aquisição de três dados básicos: Resistência do solo (Nº de golpes), Material predominante e nível d água. Sendo assim após análise fica claro que a sondagem a percussão é um ótimo instrumento de verificação das condições do solo. Os horizontes A, B e C do solo até o contato com o substrato rochoso são facilmente identificados junto às amostras coletadas principalmente no limite entre o solo e o perfil saprolítico (horizonte C) onde, facilitado pelas litologias presentes no município, é possível muitas vezes observar a estrutura residual dos granitos com a alteração parcial de feldspatos e preservação do quartzo dentro da trama mineral da rocha sã. Outra vantagem é a facilidade na execução do ensaio que se justifica pela capacidade de mobilidade do equipamento, fácil operação e não necessidade de ligação direta na eletricidade ou na rede de água. Terrenos totalmente fechados e abandonados sofrem a investigação de maneira tão simples quanto em locais com infraestrutura instalada.

As desvantagens do ensaio são muitas, a impossibilidade da descrição precisa da litologia encontrada é uma delas. Determinar que a amostra é um granito é relativamente fácil, mas determinar que a amostra coletada é do granito Ponta

Grossa e não do granito Viamão, por exemplo, é muito difícil pelo fato do ensaio chegar somente em regiões do perfil de alteração da rocha. Nessas condições é impossível se determinar com clareza qual a litologia presente naquela região, pois a grande maioria dos minerais originais já está destruída e/ou alterada. Outra grande dificuldade é o treinamento do sondador, não existe na nossa região um curso específico de sondador a profissão é transmitida dos profissionais mais antigos para os jovens auxiliares que na maioria das vezes não tem interesse em continuar naquela função, pois é um trabalho pesado, sujo e de baixa remuneração. Essa condição indica uma grande rotatividade dentro das equipes de sondagem o que gera uma defasagem técnica enorme, diminuindo o potencial investigativo do ensaio.

A falta de manutenção nos equipamentos também é um fator a ser considerado, hastes tortas, amostradores defeituosos e motores são as principais peças problemáticas do conjunto de sondagem, a manutenção das hastes, por exemplo, é um processo praticamente artesanal e de alto custo. Hastes tortas significam uma perda considerável na transferência de energia entre o peso padrão e o amostrador como citado na tese de doutorado (Odebrecht, 2003), chegando a perdas de até 50% em situações com mais de 15 metros de profundidade. A utilização de sondagens a percussão em solos muito moles também não é indicada, pois o peso total do equipamento acaba penetrando o solo de maneira muito fácil, na maioria das vezes sem a necessidade de nenhum golpe. Para situações deste tipo recomenda-se o uso de sondagens do tipo CPT (cone penetrométrico) que é muito mais sensível a pequenas mudanças na resistência do solo do que a sondagem a percussão.

Em resumo, os principais pontos em relação a utilização da sondagem são os seguintes:

Vantagens

- Execução rápida;
- Descrição básica, mas confiável;
- Alta Mobilidade;
- Baixo Custo;
- Baixo uso de insumos;

Desvantagens

- Descrições mais complexas;
- Rotação dentro da equipe;
- Equipamentos mal conservados;
- Falta de treinamento;

7. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos no trabalho é possível concluir que na sua grande maioria, os objetivos do trabalho foram atingidos. A utilização da sondagem a percussão se mostrou uma escolha correta e viável para o mapeamento da resistência do solo na área de estudo. A coleta de dados que iniciou como um processo básico foi sendo aprimorada constantemente, o que reflete toda a experiência e treinamento adquirida pelo autor durante a execução de sondagens e no mapeamento geotécnico do município de Porto Alegre

Os furos executados e amostrados não chegaram a cobrir toda a extensão da cidade, contudo se concentraram em áreas de alta densidade demográfica dentro de Porto Alegre, onde se localizam a maioria dos novos empreendimentos imobiliários. Sendo assim as zonas mapeadas tem grande valor informativo à população.

A sondagem a percussão possui grandes limitações quanto à identificação de litologias e estruturas. Os pontos fortes são principalmente a descrição dos materiais, identificação da capacidade de carga do solo e sua facilidade de execução.

Os dados referentes ao nível d'água medidos não refletem nenhum comportamento particular em relação às litologias do município. Não foi possível nenhuma forma de zoneamento através deste atributo em particular.

A resistência dos pontos amostrados indica de forma global um aumento na resistência do solo com o aumento da profundidade. As unidades cristalinas como granitos e gnaisses apresentam o pico de resistência entre 7,00 e 9,00 metros de profundidade em média enquanto as unidades sedimentares tem o seu pico de resistência a cerca de 13,00 metros em média. As unidades cristalinas apresentam uma maior capacidade de carga útil na comparação com as sedimentares.

Em superfície não foi encontrado nenhum ponto com resistência maior que 5 golpes , conclui-se que não é recomendado a construção de edificações sem o uso de qualquer tipo de fundações. Pontos de alta resistência em baixa profundidade refletem a presença de impedimentos físicos para a continuidade dos trabalhos de sondagem, sendo necessária a correta interpretação das amostras e principalmente dos furos adjuntos a estes resultados anômalos.

Modificações simples nas camadas mais superficiais do solo como aterros de calça, pequenas camadas de argila entre outras, não modificam em nada a capacidade do solo criando simplesmente um efeito visual no terreno. Uma investigação prévia do solo é recomendada para se evitar possíveis surpresas com o terreno.

A criação de um curso básico com foco na operação de sondagens e descrição de solos seria de extrema importância para uma melhora no nível de confiabilidade das sondagens. A regulamentação da profissão de sondador poderia aumentar o interesse dos trabalhadores da construção civil na função associando a atividade de sondador a um piso salarial mínimo equiparado ao de outras funções do canteiro de obras como ferreiros e carpinteiros.

A carta geotécnica aplicada a fundações conseguiu numa forma simples juntar diversos atributos numa única representação cartográfica sendo plenamente acessível a qualquer pessoa com ou sem formação técnica na área. Cópias das cartas foram encaminhadas a Prefeitura de Porto Alegre com o objetivo de tornar disponível a consulta a qualquer habitante do município.

8. BIBLIOGRAFIA

- ABEF. (2004). *Manual de Especificações de Produtos e Procedimentos ABEF*. São Paulo: Pini.
- ABNT, A. B. (Junho de 1983). NBR 8036 - Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- ABNT, A. B. (Setembro de 1995). NBR 6502 - Rochas e Solos. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT, A. B. (Fevereiro de 2001). NBR 6484 - Solo: Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil: ABNT.
- Aguiar, V. N. (2006). Influência do teor de mica na resistência ao cisalhamento residual em taludes de solos saprolíticos de gnaiss. *Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso na Ciência*. Florianópolis.
- Bastos, C. A. (1991). *Mapeamento e caracterização geomecânica das unidades de solos oriundos dos granitos, gnaisses e migmatitos de Porto Alegre*. Porto Alegre: Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Bastos, C. A., & Dias, R. D. (1995). Unidades Geotécnicas de solos de Porto Alegre. *Revista IG, São Paulo*, 87-89.
- Chemale Jr., F. (2000). Evolução Geológica do Rio Grande do Sul. In: L. F. De Ros, & M. Holz, *Geologia do Rio Grande do Sul* (pp. 13-32). Porto Alegre: CIGO/UFRGS.
- DataViva. (dezembro de 2014). *Data Viva*. Acesso em abril de 2015, disponível em Data Viva - Beta : Visualizando a Economia do Brasil: <http://dataviva.info/profiles/bra/rs020416/?app=2>
- DEINFRA/SC. (1994). *Instruções Normativas para Execução de Sondagens*. Florianópolis: Setor de Geologia.
- Diniz, N. C. (2009). Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. *Revista Brasileira de Geologia e Engenharia Ambiental*, 29-77.
- Gonzatti, C. (2013). Noções Básicas de Mecânica dos Solos e Classificação Geotécnica dos Solos. *Notas de Aula*. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Jost, H., & Hartmann, L. (1984). Provincia Mantiqueira - Setor Meridional. In: F. Almeida, & Y. Hasuy, *Pré Cambriano do Brasil*. São Paulo: Bucher.

- Machado, N. A., Klamt, E., Leão, M. I., Zurita, M. L., Kindel, A., & Crawshaw, D. (2004). *Diagnóstico Ambiental do Município de Porto Alegre*. Porto Alegre: FAURGS.
- Meirelles, P. d. (2015). *Análise da Resistência do Solo através da Sondagem SPT e a comparação com as litologias da região*. Porto Alegre: UFRGS.
- Neto, L. d. (2010). *Pedogênese e Matéria Orgânica de Solos Hidromórficos da Região metropolitana de Porto Alegre*. Porto Alegre: Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo; Faculdade de Agronomia; Universidade federal do Rio Grande do Sul.
- Odebrecht, E. (2003). *Medidas de Energia no Ensaio SPT. Tese de Doutorado*. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil: UFRGS.
- Philipp, R. P., & Campos, R. S. (2004). Geologia, Petrografia e Litogeoquímica dos Gnaisses Porto Alegre RS, Brasil: Implicações Geotectônicas. *Pesquisas em Geociências*, 79-94.
- Philipp, R. P., & Machado, R. (2001). Suítes Graníticas do Batólito Pelotas no Rio Grande do Sul - Petrografia, Tectônica e Aspectos Petrogenéticos. *Revista Brasileira de Geociências*, 257-266.
- Philipp, R. P., Machado, R., & Nardi, L. V. (2002). O magmatismo granítico Neoproterozóico do Batólito Pelotas no sul do Brasil novos dados e revisão da geocronologia regional. *Revista Brasileira de Geociências*, pp. 277-290.
- Santos, R. D., Lemos, R. C., Santos, H. G., Kerr, J. C., & Anjos, L. H. (2005). *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Schneider, A. L. (1974). Mapa Geológico da Folha Porto Alegre,RS. *Mapa*. Porto Alegre: CNPQ.
- Secretaria de Planejamento Municipal. (2000). *Solo Criado , Programa de Adensamento Populacional de Porto Alegre*. Porto Alegre: Prefeitura de Porto Alegre.
- Secretaria Municipal de Planejamento. (s.d.). *Secretaria Municipal do Planejamento - Prefeitura de Porto Alegre*. Acesso em 3 de Junho de 2015, disponível em <http://www.portoalegre.rs.gov.br/planeja/>
- Secretaria Municipal de Turismo. (s.d.). *Geografia de Porto Alegre*. Acesso em 12 de Março de 2015, disponível em SMT: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/turismo/default.php?p_secao=258
- Vilaverde Moura Fujimoto, N. S., & Soares Dias, T. (2008). *Compartimentos de Relevo do Município de Porto Alegre, Capital do Estado do Rio Grande do*

Sul. Mapa Geomorfológico de Porto Alegre, Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

Watanabe, R. (2008). *Fundações*. Fonte:
<http://www.ebanataw.com.br/roberto/fundacoes>

Zanini, L. F., & Pimentel, G. B. (Abril de 2006). Plano Diretor de Mineração da Região Metropolitana de Porto Alegre. *Mapa Geológico*. Porto Alegre: CPRM.