

**UNIVERSIDADE SANTA CECILIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GEORGE DE SOUZA JUNIOR  
KELVYN VINICIUS VALLE DE SOUZA  
LUCAS DE MELO ROSOLINI**

**APLICATIVO DE PROCESSO DE DADOS DE SONDAgens**

**Santos - SP**

**Maio/2016**

**UNIVERSIDADE SANTA CECILIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**GEORGE DE SOUZA JUNIOR  
KELVYN VINICIUS VALLE DE SOUZA  
LUCAS DE MELO ROSOLINI**

**APLICATIVO DE PROCESSO DE DADOS DE SONDAgens**

**Trabalho De Conclusão de Curso  
apresentado com exigência parcial para  
obtenção de título de Engenheiro Civil à  
Faculdade de Engenharia da Universidade  
Santa Cecília, sob orientação do Professor  
Me. Pedro Manuel Mascarenhas de Menezes  
Marcão e coorientação dos professores Me.  
Orlando Carlos Batista Damin e Me. Sandro  
Roberto Menegatti.**

**Santos - SP**

**Maió/2016**

GEORGE DE SOUZA JUNIOR  
KELVYN VINICIUS VALLE DE SOUZA  
LUCAS DE MELO ROSOLINI

APLICATIVO DE PROCESSO DE DADOS DE SONDAgens

Trabalho De Conclusão De Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil à Faculdade de Engenharia da Universidade Santa Cecília

Data da Aprovação: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

Nota: \_\_\_\_\_

Banca Examinadora

---

Prof. Me. Pedro Manuel Mascarenhas de Menezes Marcão  
Orientador

---

Prof.(a) Me./Dr.(a)

---

Prof.(a) Me./Dr.(a)



## DEDICATÓRIA

Aos nossos pais, familiares e amigos que nos acompanharam em todos os momentos difíceis por qual passamos. E aos professores que nos auxiliaram nesse processo.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de agradecer primeiramente aos nossos familiares, amigos e colegas próximos que participaram direta ou indiretamente para que fosse possível a confecção desse trabalho. Não esquecendo de agradecer o nosso orientador Pedro Manuel Mascarenhas de Menezes Marcão e os nossos coorientadores Orlando Carlos Batista Damin e Sandro Roberto Menegatti pela competência, dicas e todo o tempo que se disponibilizaram a nos ajudar na confecção deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Agradecemos também aos colaboradores da Universidade do Arizona, Harvard, ao professor Paulo Milton Barbosa Landim da UNESP que nos ajudaram muito fornecendo bibliografias e conhecimentos indispensáveis para realização do nosso TCC.

E a Universidade Santa Cecília, que além de nos fornecer toda a educação necessária para que chegássemos aqui hoje, nos proporcionou muitos momentos bons e lembranças que levaremos por toda nossa vida.

Por isso a todos muito obrigado!

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.” (Arthur Schopenhauer)

## RESUMO

SOUZA, George de; SOUZA, Kelvyn Vinícius Valle de; ROSOLINI, Lucas de Melo. **Aplicativo de Processo de Dados de Sondagem**. 2016. 86 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso II) – Curso Superior de Engenharia Civil, Universidade Santa Cecília. SANTOS, 2016

A construção civil, como em qualquer outro campo, desenvolve continuamente novas tecnologias para auxiliar e otimizar os processos que existem no setor. Logo, procuramos encontrar dentro desse universo, formas de aperfeiçoar ou até mesmo reduzir métodos comumente utilizados atualmente. A partir disso, a ideia do aplicativo veio com o desejo de fazer algo que pudesse ajudar no ramo da Engenharia Civil e ao mesmo tempo fosse algo inovador. Decidimos criar um programa que os usuários consigam cadastrar as sondagens SPT em um banco de dados e consigam acessá-lo diretamente de um site para usar essas informações. Além disso, poderão ser desenhadas curvas de nível do subsolo e através da interpolação linear, serão traçados perfis geológicos entre as sondagens, gerando o provável terreno existente entre elas.

**Palavras-chave:** Construção civil; Novas tecnologias; Aplicativo;

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Solo aluvial.....	19
Figura 2 - Etapas de formação dos solos residuais.....	20
Figura 3 - Triângulo de grupamento textural .....	23
Figura 4 - Escala de colorações segundo Munsell .....	24
Figura 5 - Ilustração de sondagem SPT .....	34
Figura 6 - Detalhamento do amostrador.....	34
Figura 7 - Seguimento de reta utilizado para fórmula da interpolação linear .....	35
Figura 8 - Pesquisa de pares para malhas irregulares.....	40
Figura 9 - Semivariograma com patamar (linha horizontal) e alcance (linha vertical) definidos.....	40
Figura 10 - Funções experimentais .....	41
Figura 11 - Fecho convexo.....	44
Figura 12 - Área interpolada com krigagem, respeitando o fecho convexo.....	45
Figura 13 – Versão do e-mail em português .....	49
Figura 14 - Versão do e-mail em inglês.....	49
Figura 15 Gráfico sobre ocupação .....	53
Figura 16 Gráfico Idade.....	53
Figura 17 Gráfico Idade.....	54
Figura 18 Gráfico sobre sondagens em obras .....	54
Figura 19 Gráfico projeto.....	55
Figura 20 Gráfico Cadastro .....	55
Figura 21 Gráfico sobre valores .....	56
Figura 22 Gráfico possibilidade de valores .....	57
Figura 23 Gráfico Consulta do Sistema.....	57
Figura 24 - Distinção e formato de camadas de solo .....	60
Figura 25 - Horizontes de solo .....	61
Figura 26 – Imagem ilustrativa da tela de navegação .....	62
Figura 27 – Fluxograma da tela de navegação .....	63
Figura 28 – Imagem ilustrativa do mapa, com sondagens a partir de uma posição de acesso.....	63
Figura 29 – Fluxograma de cadastro de sondagens .....	64
Figura 30 – Imagem ilustrativa da tela de cadastro de sondagens .....	65

Figura 31 – Fluxograma de interpolação .....	65
Figura 32 – Imagem ilustrativa de perfis selecionados para interpolação .....	66
Figura 33 – Imagem ilustrativa de perfis interpolados .....	67
Figura 34 – Fluxograma de cadastro de usuários .....	68
Figura 35 – Imagem ilustrativa da tela de cadastro de usuários .....	68
Figura 36 – Fluxograma de cadastro de sondagens .....	69
Figura 37 – Fluxograma de exibição de perfis.....	70
Figura 38 – Imagem ilustrativa de um perfil de sondagem SPT.....	71
Figura 39 – Fluxograma de krigagem.....	72
Figura 40 – Semivariograma com semivariograma experimentais.....	73
Figura 41 - Análise SWOT.....	74

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Escalas granulométricas .....	21
Quadro 2 - Minerais, fórmulas, tamanhos e cor .....	25
Quadro 3 - Classificação dos solos .....	25
Quadro 4 - Avaliação dos parâmetros de resistência em função do SPT .....	28
Quadro 5 - Avaliação dos parâmetros de resistência e de deformabilidade em função do SPT .....	29
Quadro 6 - Peso específico de solos argilosos.....	29
Quadro 7 - Peso específicos de solos arenosos .....	30
Quadro 8 - Consistência, número de golpes e compressão simples.....	30
Quadro 9 - Resistência à compressão e coesão para argilas .....	31
Quadro 10 - Relação entre índice de resistência a penetração SPT com as taxas admissíveis para solos arenosos .....	31
Quadro 11 - Quantidade de sondagens por área da edificação .....	32
Quadro 12 – Cronograma do TCC .....	51

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVO .....	14
<b>1.1.1 Geral.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2 Especifico .....</b>	<b>15</b>
1.2 JUSTIFICATIVA.....	15
1.3 HIPÓTESES .....	15
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....</b>	<b>16</b>
2.1 SOLOS.....	16
<b>2.1.1 O que é solo? .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.2 Formação dos solos .....</b>	<b>17</b>
<i>2.1.2.1 Intemperismos .....</i>	<i>17</i>
<i>2.1.2.1.1 Intemperismos físicos.....</i>	<i>17</i>
<i>2.1.2.1.2 Intemperismos químicos.....</i>	<i>17</i>
<i>2.1.2.1.3 Intemperismos biológicos .....</i>	<i>18</i>
<i>2.1.2.2 Erosão .....</i>	<i>18</i>
<b>2.1.3 Classificação dos solos .....</b>	<b>18</b>
<i>2.1.3.1 Classificação quanto à origem.....</i>	<i>18</i>
<i>2.1.3.1.1 Solos transportados.....</i>	<i>18</i>
<i>2.1.3.1.2 Solos residuais .....</i>	<i>19</i>
<i>2.1.3.1.3 Solo residual maduro.....</i>	<i>20</i>
<i>2.1.3.2 Classificação quanto à granulometria (textura) .....</i>	<i>20</i>
<i>2.1.3.2.1 Areia .....</i>	<i>21</i>
<i>2.1.3.2.2 Silte .....</i>	<i>22</i>
<i>2.1.3.2.3 Argila .....</i>	<i>22</i>
<i>2.1.3.3 Diagrama de classificação textural .....</i>	<i>22</i>
<b>2.1.4 Coloração dos solos.....</b>	<b>23</b>

<b>2.1.5 Nomenclatura dos solos .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.6 Índices físicos dos solos .....</b>	<b>26</b>
2.1.6.1 <i>Massa específica</i> .....	26
2.1.6.2 <i>Índice de vazios</i> .....	27
2.1.6.3 <i>Porosidade</i> .....	27
<b>2.1.7 Parâmetros dos solos .....</b>	<b>27</b>
2.1.7.1 <i>Areias</i> .....	27
2.1.7.2 <i>Argilas</i> .....	27
2.2 DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES FÍSICOS DO SOLO DE ACORDO COM O ÍNDICE SPT .....	28
2.3 SONDAGEM.....	31
<b>2.3.1 O que é sondagem.....</b>	<b>31</b>
2.3.1.1 <i>Número e locação de sondagens</i> .....	32
2.3.1.2 <i>Tipos de sondagem</i> .....	32
2.3.1.3 <i>Sondagem SPT</i> .....	33
2.4 INTERPOLAÇÃO.....	34
<b>2.4.1 Conceito .....</b>	<b>34</b>
<b>2.4.2 Tipo .....</b>	<b>35</b>
2.4.2.1 <i>Interpolação linear entre dois pontos</i> .....	35
2.5 GEOESTATÍSTICA.....	36
<b>2.5.1 Conceito .....</b>	<b>36</b>
2.5.1.1 <i>Autocorrelação espacial – A lei de Tobler</i> .....	37
2.5.1.2 <i>Inferência espacial</i> .....	38
2.5.1.2.1 <i>Semivariograma</i> .....	39
2.5.1.3 <i>Krigagem</i> .....	42
2.5.1.3.1 <i>Krigagem ordinária</i> .....	42
2.5.1.4 <i>Fecho convexo</i> .....	44

<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>46</b>
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	46
<b>3.1.1 Linguagens de programação</b> .....	<b>46</b>
3.2 METODOLOGIA .....	47
<b>3.2.1 Tipo de pesquisa</b> .....	<b>47</b>
<b>3.2.2 Instrumento de coleta de dados</b> .....	<b>48</b>
3.2.2.1 <i>Delimitação do objeto de estudo</i> .....	49
3.2.2.2 <i>Envio de e-mails</i> .....	49
3.2.2.3 <i>Questionário</i> .....	49
3.2.2.4 <i>Estruturação da pesquisa</i> .....	50
3.2.2.5 <i>Cronograma do trabalho</i> .....	51
<b>3.2.3 Análise dos resultados</b> .....	<b>51</b>
3.2.3.1 <i>Pesquisa de campo</i> .....	51
3.2.3.1.1 <i>Metodologia adotada</i> .....	52
3.2.3.2 <i>Dados da pesquisa</i> .....	52
<b>3.2.4 Análise mercadológica</b> .....	<b>58</b>
3.2.4.1 <i>Conceito</i> .....	58
<b>3.2.5 Conceitos prévios</b> .....	<b>59</b>
3.2.5.1 <i>Camadas, perfis e horizontes e corpo de solo</i> .....	59
3.2.5.1.1 <i>Camadas</i> .....	59
3.2.5.1.2 <i>Perfis</i> .....	60
3.2.5.1.3 <i>Horizonte</i> .....	60
<b>3.2.6 Funcionamento</b> .....	<b>61</b>
3.2.6.1 <i>Client side</i> .....	61
3.2.6.2 <i>Tela de navegação</i> .....	62
3.2.6.3 <i>Cadastro de sondagens</i> .....	64
3.2.6.4 <i>Interpolação simples entre pontos</i> .....	65

3.2.6.5 Cadastro de usuários.....	67
3.2.6.6 Server side .....	68
3.2.6.7 Cadastrar sondagem .....	69
3.2.6.8 Exibir perfis.....	70
3.2.6.9 Exibir mapa de isoípsas.....	71
<b>3.2.7 Análise SWOT .....</b>	<b>73</b>
<b>4. CONCLUSÃO .....</b>	<b>75</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>76</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Dentre todos os problemas que assolam a engenharia civil, um dos mais preponderantes (e preocupantes) no que tange a segurança e viabilidade de uma obra certamente é o desconhecimento das condições edáficas do terreno a ser construído. Constantemente gerando frutos desastrosos, a ausência de dados confiáveis sobre a disposição das camadas constituintes do solo bem como de suas características finda por gerar onerosos custos e relativa perda de tempo à fase de pré-projeto e pré-obra.

Nas áreas de solos e fundações quando fazemos sondagens *Standard Penetration Test* (SPT) para alçar conhecimento pleno sobre o terreno que desejamos examinar, temos severas dificuldades em saber como é realmente o perfil dessa massa, pois obtivemos perfurações distantes umas das outras (com pouco valor estatístico) e com uma amostragem relativamente pequena para se conseguir alguma conclusão construtiva sobre a realidade subterrânea da obra.

O SPT é reconhecidamente a mais popular, rotineira e econômica ferramenta de investigação geotécnica em praticamente todo o mundo. Ele serve como indicativo da densidade de solos granulares e é aplicado também na identificação da consistência dos solos coesivos, e mesmo de rochas brandas. Métodos rotineiros de projeto de fundações diretas e profundas usam sistematicamente os resultados de SPT, especialmente no Brasil. (SCHNAID; ODEBRECHT, 2012)

A fim de resolver este problema, foi proposta a criação de uma ferramenta que demonstrasse a composição aproximada das camadas subjacentes ao terreno, utilizando-se da maior quantidade possível de informação para a geração destes perfis. Sendo assim, decidimos pelo desenvolvimento de um aplicativo que fará essa tarefa com valores próximos aos reais.

Utilizando-se do método da interpolação será efetuado o registro das sondagens cedidas por empresas e órgãos públicos, bem como o processamento dos dados obtidos, com a finalidade da geração do perfil deste solo (considerando todo o entorno e sondagens próximas ao local a ser examinado).

### 1.1 OBJETIVO

### **1.1.1 Geral**

Criação de Aplicativo de Processamento de Dados de Sondagem

### **1.1.2 Especifico**

Criação de um aplicativo que tem por finalidade o processamento de dados de sondagens do tipo SPT, utilizando-se de banco de dados com sondagens cadastradas para a elaboração de perfis geológicos e topo e base de camadas.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

Pela falta de ferramentas com estas funcionalidades, decidiu-se realizar a elaboração de um aplicativo que suprisse esta necessidade de mercado na Engenharia Civil.

## **1.3 HIPÓTESES**

- É possível a criação de um aplicativo que tanto registre quanto gere perfis geológicos e curvas de níveis a partir de dados de sondagens SPT?
- Como garantir a fidelidade da informação da interpolação de perfis geológicos?
- É possível a obtenção de sondagens SPT para a criação de um banco de dados?
- É possível elaborar um banco de dados que possa ser atualizado tanto por usuários quanto pelos desenvolvedores do aplicativo?
- Como interpolar perfis geológicos SPT considerando todo o entorno?

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

### 2.1 SOLOS

#### 2.1.1 O que é solo?

Segundo Muggler et al. (2006) “O solo é um componente essencial do meio ambiente, cuja importância é normalmente desconsiderada e pouco valorizada”. Para Fernandes (2015) “A maioria das atividades humanas depende do uso da terra”, pecuária, agricultura, saneamento são algumas delas, porém neste trabalho será explanada a importância de um bom embasamento sobre solos aplicado à construção civil em seus pormenores, como explanarão os tópicos seguintes.

De acordo com Brady, Weil (1983), a palavra solo deriva do latim *solum*, vocábulo cujo significado explanado pelo dicionário Michaelis online remete à superfície, base, suporte. De fato, seu sentido atual ainda converge ao senso original do termo: o solo fornece suporte e base para as formas de vida como conhecemos, para a agricultura e para toda sociedade humana, assim como para as edificações moldadas aos atuais modelos construtivos, exacerbando sua imensurável importância à economia, à sociedade e aos ecossistemas de nosso planeta. Entretanto em termos leigos, para muitos se trata apenas do material que está disposto na superfície terrestre, porém do ponto de vista geotécnico, solo significa muito mais que isso.

Como conceito abstrato, é possível definir solo de inúmeras maneiras de acordo com o indivíduo (ou profissional) a conceitua-lo. Para Balbo (2015),

Solo é o material natural constituído de minerais e matéria orgânica, geralmente não consolidado, diferenciado por horizontes, distinguindo-se do material genético subjacente em morfologia, constituição propriedades físicas e características biológicas. (BALBO, 2015).

De maneira mais sucinta, para Caputo (1973, p. 15) os solos são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas, por desintegração mecânica ou decomposição química.

Dito isto, como são originários de processos intempéricos de natureza química e mecânica, os solos possuem diversas composições, características e comportamentos de modo que torna-se possível classifica-los de acordo com as

suas características ou com os modos aos quais foram submetidos ante sua formação.

### **2.1.2 Formação dos solos**

Parafraseando Lavoisier “na natureza nada se perde e nada se cria, tudo se transforma”, tão verdadeira é esta frase que não poderia ser diferente quando aplicado à pedogênese. Solos são materiais cuja formação remete à transformação de rocha em material degradado, seja ele por meios químicos ou físicos.

Diversos são os fatores que agem para estas degradações. De sismos, dobras e fraturas a vulcanismos e ataques químicos, o que rege no que diz respeito à pedogênese certamente são os intemperismos.

#### *2.1.2.1 Intemperismos*

De acordo com Lina (2008) “o termo intemperismo é aplicado ao conjunto das alterações químicas, físicas e biológicas a que estão sujeitas as rochas expostas na superfície da Terra.”, sendo este fator preponderante para a formação dos solos e transformação dos materiais pode-se conceituar intemperismo como ação agressiva do meio ambiente perante o determinado material.

##### 2.1.2.1.1 Intemperismos físicos

Para Lina (2008) “o intemperismo físico é responsável pela cominuição das rochas no ambiente superficial”, pode-se partindo deste ponto classifica-las como agressões cuja origem seja de natureza física devida ao ambiente. Tais agressões acabam por tornar a rocha um material fragilizado, descontínuo ou com friabilidade aumentada.

##### 2.1.2.1.2 Intemperismos químicos

Segundo Lina (2008) “o intemperismo químico atua para estabelecer um equilíbrio químico de assembleias minerais, originalmente formadas em condições distintas daquelas vigentes no ambiente superficial atual”, dito isto, é possível dizer

que intemperismo químico é aquele que ocorre a fim de trazer equilíbrio químico entre determinado mineral e o meio ambiente.

#### 2.1.2.1.3 Intemperismos biológicos

Para Sodré (2012):

O intemperismo biológico é responsável pelos processos decorrentes da ação de microrganismos como líquens, fungos, algas e vegetais inferiores que, através de colônias formadas nas superfícies das rochas, decompõem-na pela extração de nutrientes e pela formação de complexos metálicos solúveis e ácidos orgânicos originados a partir dos próprios compostos excretados.(SODRÉ, 2012, p.18).

#### 2.1.2.2 *Erosão*

Segundo o dicionário Michaelis online, erosão é a degradação produzida na camada terrestre pela ação de agentes externos, podendo ser eólica, mecânica, química e pluvial.

### **2.1.3 Classificação dos solos**

#### 2.1.3.1 *Classificação quanto à origem*

##### 2.1.3.1.1 Solos transportados

Segundo Gurgel (s/d, p. 2) pode se entender por solos transportados aqueles que sofreram ação de agentes transportadores, ou seja, aqueles que tiveram sua origem em local diferente de seu depósito final, podem ser classificados aluvionares (Figura 1) (quando transportados pela água), eólicos (quando transportados pelo vento), coluvionares (transportados pela gravidade) e glaciares (transportados por geleiras).

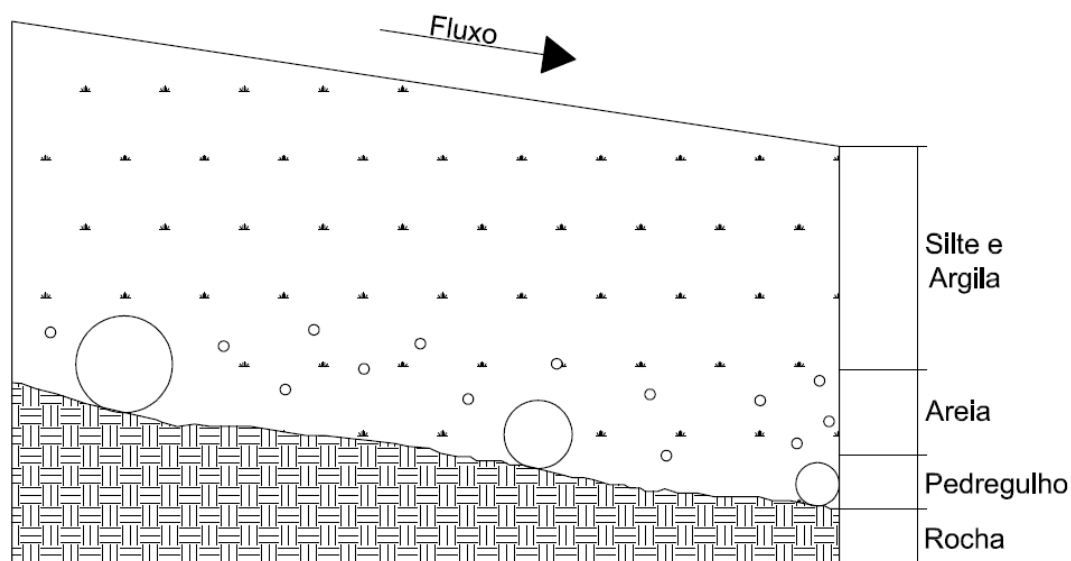


Figura 1 - Solo aluvial

Fonte: Elaborada pelo autor

#### 2.1.3.1.2 Solos residuais

Para Gurgel (s/d, p. 2), entende-se por solos residuais solos cuja posição atual é a mesma posição da rocha (ou solo) matriz, onde o processo de intemperismo ocorreu isolado, sem manifestação de erosão. Para que ocorra, faz-se necessário que a velocidade de remoção deste solo a partir de rocha matriz por agentes erosivos seja menor que a velocidade do processo de intemperismo que deu origem ao mesmo. A composição do solo originado depende diretamente do tipo e características químicas da rocha afetada, bem como do tempo que o material resultante ficou exposto à intemperismos. Com o passar do tempo a camada de solo se transforma recebendo detritos e passando por novas agressões criando camadas (horizontes) morfologicamente distintas quanto a cor, textura e espessura. Regiões tropicais favorecem sua ocorrência devido à alta carga de intemperismos que sofre a rocha sã. Podemos ver esse processo na Figura 2:

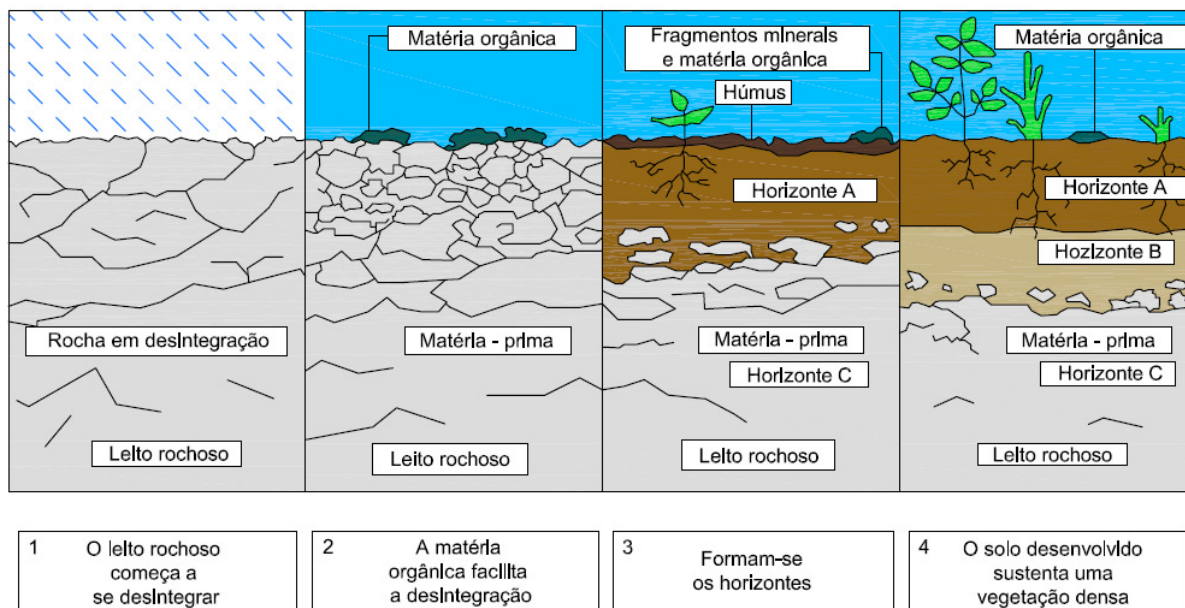


Figura 2 - Etapas de formação dos solos residuais

Fonte: Elaborada pelo autor

#### 2.1.3.1.3 Solo residual maduro

Representa a camada mais superficial do solo, geralmente a mais antiga camada do solo residual. Perdeu praticamente toda estrutura e característica da rocha mãe, em grande parte dos casos é marcada pela forte presença de matéria orgânica e húmus em sua composição. Neste tipo de solo, de modo geral, quanto maior a profundidade maior é a resistência e menor é a permeabilidade.

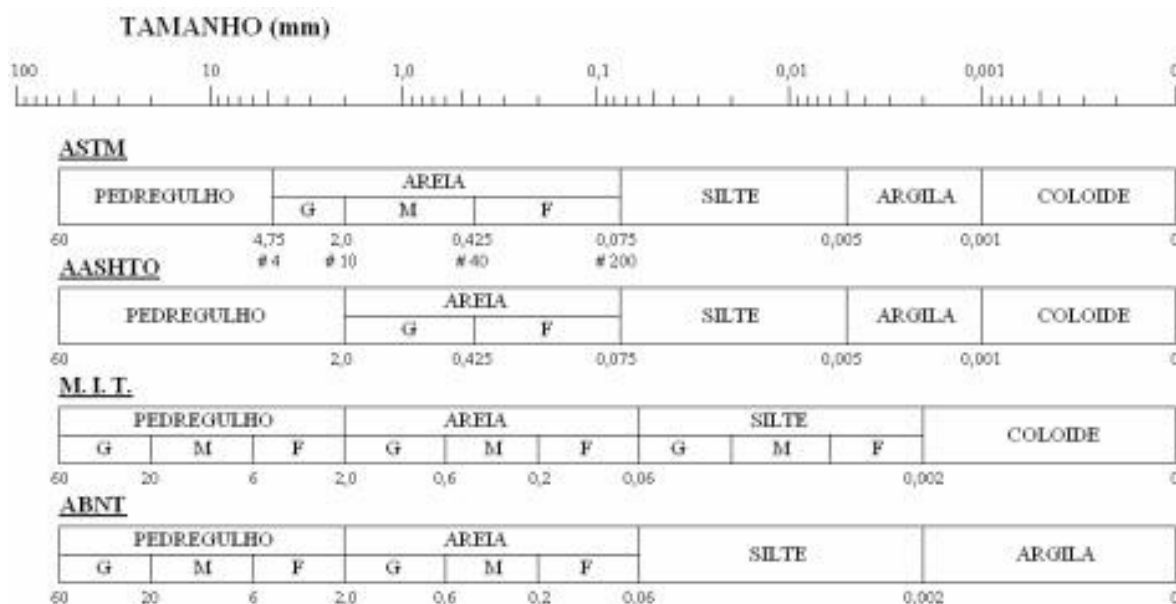
#### 2.1.3.2 Classificação quanto à granulometria (textura)

##### Segundo Casagrande (1975)

As classificações dos solos pela textura não levam em conta outras propriedades dos solos senão a sua composição granulométrica. É um princípio classificação que data do tempo em que não se compreendia ainda que as propriedades físicas de solos de granulação fina, tendo a mesma textura, podiam ser completamente diferentes. Hoje em dia ainda alguns laboratórios usam esse tipo de classificação, porém a única justificativa que tem é a sua simplicidade e pequena soma de experiência que elas exigem para serem utilizadas. (CASAGRANDE, 1975, p.48)

Dito isto, quanto a granulometria é possível classificar os solos em três tipos segundo a NBR 6502/95: areias, siltes e argilas, como pode-se ver no Quadro 1.

Quadro 1 – Escalas granulométricas



Fonte: <https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/03/granulometria.pdf>

### 2.1.3.2.1 Areia

Segundo AMP Carneiro, MA Cincotto, VM John (1997) “de modo geral a areia é caracterizada pelo seu módulo de finura, ou ainda selecionada por normas nacionais e internacionais, as quais especificam granulometria dentro de faixas recomendadas”. Segundo a ABNT/NBR 6502 (1995, p.8), define-se areia como solo de natureza não coesiva e não plástica com grãos com diâmetros que variam entre 0,06mm e 0,2mm. Divide-se este grupo em outros três:

- Areia fina: solos cujos grãos possuam diâmetros que variem entre 0,06mm e 0,2mm;
- Areia média: materiais cujos grãos tenham dimensões variando entre 0,2mm e 0,6mm;
- Areia grossa: solos de granulometria maior, com grãos variando em seus diâmetros na ordem de 0,6mm e 2,0mm.

#### 2.1.3.2.2 Silte

De acordo com a ABNT/NBR 6502 (1995, p.17), uma das características marcantes dos siltes é a baixa ou nenhuma plasticidade e pouquíssima resistência mecânica quando seco ao ar. É formado por partículas com diâmetros entre 0,002mm e 0,006mm.

#### 2.1.3.2.3 Argila

De acordo com a ABNT/NBR 6502 (1995, p.17), conceitua-se argila como solo de elevada pequenez, com suas partículas menores que 0,002 mm, de modo a apresentarem coesão e plasticidade.

#### 2.1.3.3 *Diagrama de classificação textural*

É sabido que dificilmente solos encontram-se em sua fase pura, sem a presença de demais texturas em sua formação. Para tanto, faz-se necessário o uso de métodos de determinação do tipo de solo de acordo com a textura predominante no mesmo.

De acordo com Costa (2004) “infelizmente não se chegou a acordo internacional quanto à definição de classes de textura”, apesar disto, de acordo com BRANCO (2013)

São bastante conhecidas as classificações francesa e portuguesa, muito usadas para os solos africanos; e a classificação adotada pela FAO (*Food and Agricultural Organization*, órgão da ONU), usada para uma classificação mundial dos solos. A mais difundida, porém, é a classificação norte-americana (*Soil Taxonomy*), que compreende 12 ordens de solo divididas em subordens, grandes grupos, grupos, famílias e séries. (BRANCO, 2013, p.1).

Para a classificação de um solo de acordo com a porcentagem de seus constituintes é possível fazê-lo utilizando o diagrama triangular de classificação textural.

Segundo Suguio (1973):

“Se uma distribuição puder ser expressa em quantidades de três componentes, então o sedimento poderá ser representado por um ponto no

diagrama triangular. Isto é comumente feito com solos, onde as porcentagens de areia, silte e argila fornecem um único ponto sobre o diagrama”(SUGUIO, 1973)

ou seja com o uso do diagrama triangular de classificação textural (Figura 3) é possível classificar os solos de acordo com a porcentagem de areia, silte e argila presente em seus constituintes.

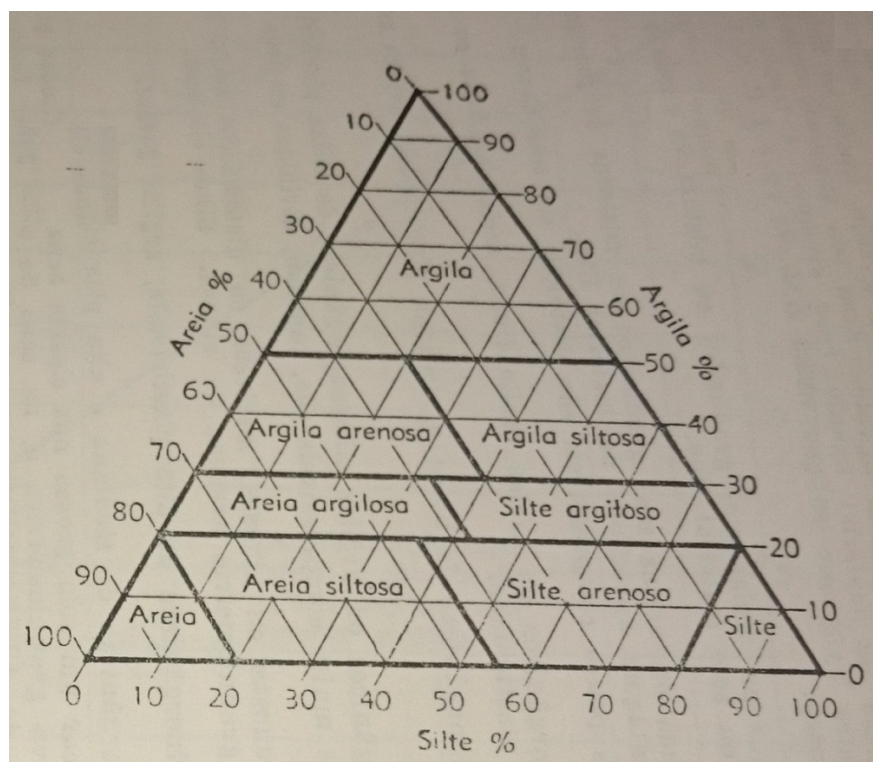


Figura 3 - Triângulo de grupamento textural

Fonte: Livro Manual do Engenheiro

#### 2.1.4 Coloração dos solos

Segundo a ABNT/NBR 6502 (1995), “a coloração é dada pela cor predominante dos minerais da rocha”, dito isto, é possível concluir que a coloração dos mesmos é resultado do efeito da impressão que causa a reflexão de determinadas faixas de luz pelos materiais presentes no solo, facilitando a distinção e caracterização dos horizontes de solo, bem como para mais fácil visualização dos materiais presentes no mesmo.

De acordo com Botelho et al. (2006) “A cor do solo é uma característica facilmente determinada através da comparação visual com a carta de Munsell e está

relacionada com a presença de óxidos de ferro e matéria orgânica no solo. “, é possível verificar a carta de Munsell conforme a Figura 4.

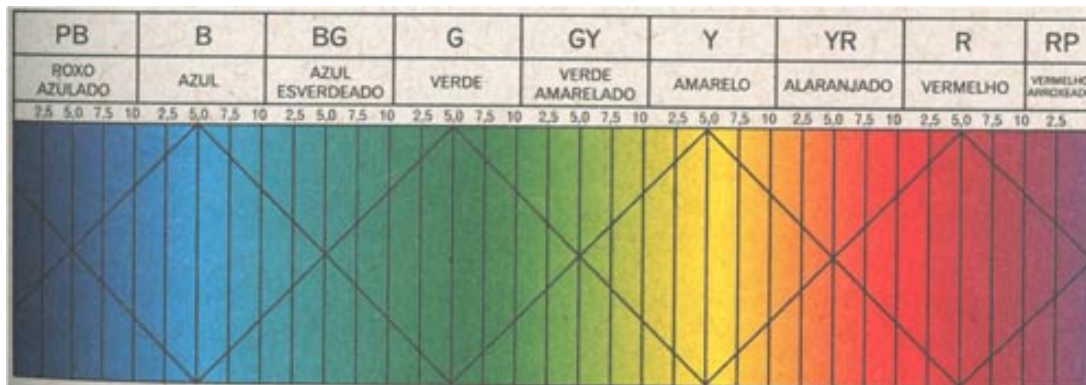


Figura 4 - Escala de colorações segundo Munsell

Fonte: <http://www.pedologiafacil.com.br/enquetes/enq43.php>

- Hematita: óxido de ferro não hidratado pode possuir diversas cores quando em estado natural, porém quando em pó ou em partículas de pequena dimensão, tornam-se avermelhadas;
- Goethita: óxido de ferro hidratado, pode variar em coloração do amarelado, prateado ao castanho claro. um dos minerais presentes na bauxita é responsável pela cor amarela ou marrom escura nos solos;
- Matéria orgânica: coloração negra, podendo aparecer pequenas variações em sua tonalidade.
- Quartzo: coloração branca ou transparente, formada de dióxido de silício é um dos mais abundantes minerais do planeta.
- Caulinita: um dos materiais mais abundantes nas argilas, a caulinita confere cor branca ao material que a possui.
- Lepidocrocita: hidróxido de ferro responsável por colorações alaranjadas nos solos;
- Glauconita: quando em solos, pode ser responsável por acréscimo de coloração cinza escura ao mesmo.

Apesar dos minerais citados acima serem mais comuns, existem diversos minérios que dão cor aos solos, conforme indicado no Quadro 2:

Quadro 2 - Minerais, fórmulas, tamanhos e cor

MINERAL	FÓRMULA	TAMANHO	MUNSELL	COR
Goethita	FeOOH	1-2 mm	10YR 8/6	amarelo
Goethita	FeOOH	~0.2 mm	7.5YR 5/6	marrom escuro
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	~0.4 mm	5R 3/6	vermelho
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	~0.1 mm	10R 4/8	vermelho
Lepidocrocita	FeOOH	~0.5 mm	5YR 6/8	laranja
Lepidocrocita	FeOOH	~0.1 mm	2.5YR 4/6	vermelho
Ferrihidrita	Fe (OH) <sub>3</sub>	--	2.5YR 3/6	vermelho escuro
Glauconita	K(Si <sub>x</sub> Al <sub>4-x</sub> )(Al,Fe,Mg)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	--	5Y 5/1	cinza escuro
Sulfeto de ferro	FeS	--	10YR 2/1	preto
Pirita	FeS <sub>2</sub>	--	10YR 2/1	preto metálico
Jarosita	K Fe <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	--	5Y 6/4	amarelo pálido
Todorokita	MnO <sub>4</sub>	--	10YR 2/1	preto
Humus	--	--	10YR 2/1	preto
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	--	10YR 8/2	branco
Dolomita	CaMg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	--	10YR 8/2	branco
Gesso	CaSO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	--	10YR 8/3	marrom pálido
Quartzo	SiO <sub>2</sub>	--	10YR 6/1	cinza claro

Fonte: Adaptado de

[http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2\\_054286](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2_054286)

A partir dos dados acima, é possível saber muito sobre a natureza dos solos e seus constituintes, única e exclusivamente através das cores.

### 2.1.5 Nomenclatura dos solos

Segundo a norma ABNT NBR 6484/2001 é possível dividir solos arenosos e argilosos em agrupamentos relativos à consistência dos mesmos de acordo com o índice de resistência à penetração (SPT), sendo eles os que seguem no Quadro 3:

Quadro 3 - Classificação dos solos

SOLO	ÍNDICE DE RESISTENCIA À PENETRAÇÃO	DESIGNAÇÃO
Areia e Silte e Arenoso	≤ 4	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	< 40	Meio compacta (o)
Argila e Silte argiloso	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	> 19	Dura (o)

Fonte: Adaptado da NBR 6484/2001

Essa classificação é preponderante para o correto arranjo da nomenclatura do solo a ser estudado.

Ainda segundo a norma ABNT NBR 6484/2001 as amostras devem ser examinadas procurando identifica-las no mínimo nas seguintes categorias:

- Granulometria: Devem ser aplicados os critérios exemplificados anteriormente, todavia não se deve utilizar nomenclaturas com três tipos de solos diferentes, como por exemplo, “argila silto-arenosa”, todavia é usual aplicar este termo quando há ocorrência de pedregulhos;
- Plasticidade: Deve-se realizar a análise relativa à plasticidade do solo examinado;
- Compacidade (no caso de solos grossos): Caracterização obtida através do índice SPT da amostra;
- Consistência (no caso de solos finos): Característica obtida através do índice SPT da amostra;
- Origem no caso de solos residuais, orgânicos, marinhos ou aterros.
- Cor: solos podem ser classificados como branco, cinza, preto, marrom, amarelo, vermelho, roxo, azul e verde.

Quando encontrada presença de mica pelo exame tátil visual, pode-se acrescentar micácea a nomenclatura.

## 2.1.6 Índices físicos dos solos

### 2.1.6.1 Massa específica

Segundo Casagrande (1975),

Por massa específica  $\rho$  dos grãos de uma amostra de solo entende-se a massa dos seus grãos (determinada em balança) dividida pela de igual volume de água a 4°C. Essa constante corresponde, assim a massa específica do solo considerado absolutamente compacto (sem poros). Em geral determina-se essa constante em picnômetro de 500 cm (CASAGRANDE, 1975, p.10)

isto quer dizer que massa específica resume-se a massa da amostra sobre o volume que a mesma ocupa e pode ser resumida pela Equação 1:

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}} \quad (1)$$

### 2.1.6.2 Índice de vazios

Segundo Terzaghi et al. (1996, p. 20) índice de vazios pode ser entendido como a relação entre o volume de vazios e o volume de sólidos da amostra. Expresso em porcentagem. Representado pela Equação 2:

$$e = \frac{\text{volume vazios}}{\text{volume sólidos}} \quad (2)$$

### 2.1.6.3 Porosidade

Segundo Casagrande (1975) “Define-se como porosidade de um solo a porcentagem de volume de vazios sobre volume total, isto é, a porosidade seria representada pelo volume de poros considerando o volume total da amostra como 100 ”, isto quer dizer que porosidade é a relação do volume de vazios da amostra com o volume total da mesma, tal índice pode ser resumido pela Equação 3:

$$n = \frac{\text{volume vazios}}{\text{volume amostra}} \quad (3)$$

## 2.1.7 Parâmetros dos solos

### 2.1.7.1 Areias

Segundo Maragon (2009) No caso das areias e siltes arenosos, são utilizados os seguintes parâmetros:

- Grau de compactidade (GC);
- Ângulo de atrito ( $\varphi$ );
- Módulo de elasticidade não drenado (E);
- Tensão admissível;
- Modulo de poisson ( $\nu$ ).

### 2.1.7.2 Argilas

Ainda para Maragon (2009) quando se trata das argilas e siltes argilosos, serão utilizados os parâmetros que seguem:

- Índice de consistência (IC);
- Coesão não drenada ( $S_u$ );
- Módulo de elasticidade drenado ( $E'$ );
- Tensão admissível;
- Módulo de poisson ( $\nu$ ).

## 2.2 DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES FÍSICOS DO SOLO DE ACORDO COM O ÍNDICE SPT

Conforme Maragon (2011) explanou

Nas areias a amostra indeformada, bem como a moldagem de corpos de prova para a execução de ensaios de laboratório, são operações extremamente difíceis de proceder. Por tais motivos, recorre-se, em geral, a procedimentos indiretos para se obter dados sobre as características “in situ” de resistência ao cisalhamento e também de compressibilidade desses solos, em especial. As sondagens de percussão, bem como os ensaios de penetração estática de cone (tipo holandês), usualmente as únicas disponíveis em análises preliminares, são muito utilizadas nesses procedimentos. (MARAGON, 2011, p.1)

Dito isto, é possível estimar a consistência e a coesão não drenada nas argilas bem como o grau de compactação e o ângulo de atrito das areias, como pode-se ver no Quadro 4.

Quadro 4 - Avaliação dos parâmetros de resistência em função do SPT

SOLOS	N (GOLPES)	ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (IC)	COESÃO NÃO DRENADA ( $S_u$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>ARGILAS</b>	--	--	--
Muito mole	$\leq 2$	0	$< 0,10$
Mole	2 - 4	0 - 0,25	0,10 - 0,25
Média	4 - 8	0,25 - 0,50	0,25 - 0,50
Rija	8 - 15	0,50 - 0,75	0,50 - 1
Muito rija	15 - 30	0,75 - 1	1 - 2
Dura	$\geq 30$	$> 1$	$> 2$
--	--	<b>GRAU DE COMPACTAÇÃO (GC)</b>	<b>ÂNGULO DE ATRITO (<math>\phi</math>)</b>
<b>AREIAS</b>	--	--	--
Muito fofa	$< 4$	0	$< 0,10$
Fofa	4 - 10	0 - 0,25	0,10 - 0,25
Média	10 - 30	0,25 - 0,50	0,25 - 0,50
Compacta	30 - 50	0,50 - 0,75	0,50 - 1
Muito compacta	$> 50$	0,75 - 1	1 - 2

Fonte: Adaptado de <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF03-Par%C3%A2metros-dos-Solos-para-C%C3%A1culo-de-Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf>

É possível também executar a verificação dos parâmetros de resistência e deformabilidade por meio do número SPT como evidencia o Quadro 5:

Quadro 5 - Avaliação dos parâmetros de resistência e de deformabilidade em função do SPT

AREIAS E SOLOS ARENOSOS					
COMPACIDADE	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	C (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	E (T/m <sup>2</sup> )	v
Fofa	1,6	0	25 - 30	100 - 500	0,3 a 0,4
Pouco compacta	1,8	0	30 - 35	500 - 1400	
Medianamente compacta	1,9	0	35 - 40	1400 - 4000	
Compacta	2	0	40 - 45	4000 - 7000	
Muito compacta	> 2	0	> 45	> 7000	
ARGILAS E SOLOS ARGILOSOS					
CONSISTÊNCIA	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	C (t/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	E' (T/m <sup>2</sup> )	v
Muito mole	1,3	0 - 1,2	0	30 - 120	0,4 a 0,5
Mole	1,5	1,2 - 2,5	0	120 - 280	
Média	1,7	2,5 - 5	0	280 - 500	
Rija	1,9	5 - 15	0	500 - 1500	
Dura	> 2	> 15	0	> 1500	

Fonte: Adaptado de <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF03-Par%C3%A2metros-dos-Solos-para-C%C3%A1culo-de-Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf>

Caso não haja exames laboratoriais nem dados concretos sobre os índices físicos dos solos da região, torna-se possível o uso do Quadro 6 para a determinação do peso específico das argilas.

Quadro 6 - Peso específico de solos argilosos

N (GOLPES)	CONSISTÊNCIA	PESO ESPECÍFICO (KN/m <sup>3</sup> )
≤ 2	Muito mole	13
3 - 5	Mole	15
6 - 10	Média	17
11 - 19	Rija	19
≥ 20	Dura	21

Fonte: Adaptado de <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF03-Par%C3%A2metros-dos-Solos-para-C%C3%A1culo-de-Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf>

Para a determinação do peso específico da areia, faz-se as mesmas recomendações utilizadas para o quadro anterior, porem com o uso de valores do Quadro 7:

Quadro 7 - Peso específicos de solos arenosos

N (GOLPES)	COMPACIDADE	PESO ESPECÍFICO (KN/m <sup>3</sup> )		
		AREIA SECA	ÚMIDA	SATURADA
< 5	Fofa	16	18	19
5 - 8	Pouco compacta			
9 - 18	Medianamente compacta	17	19	20
19 - 40	Compacta	18	20	21
> 40	Muito compacta			

Fonte: Adaptado de <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF03-Par%C3%A2metros-dos-Solos-para-C%C3%A1culo-de-Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf>

Para a obtenção da coesão de argilas e siltes argilosos Terzaghi e Peck desenvolveram o Quadro 8 onde a coesão simples aparece em função do SPT:

Quadro 8 - Consistência, número de golpes e compressão simples

CONSISTÊNCIA	N (GOLPES)	COESÃO SIMPLES (kg/cm <sup>2</sup> )
Muito mole	2	0,25
Mole	2 - 4	0,25 - 0,50
Média	4 - 8	0,50 - 1
Rija	8 - 15	1 - 2
Muito rija	15 - 30	2 - 4
Dura	> 30	4 - 8

Fonte: Adaptado de <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF03-Par%C3%A2metros-dos-Solos-para-C%C3%A1culo-de-Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf>

De acordo com MARAGON (2011, p.13) Para o cálculo da tensão admissível em solos coesivos, são bastante difundidas as Equações 4, 5 e 6:

- Argila pura:

$$p = \frac{n}{4} \quad (4)$$

- Argila siltosa:

$$p = \frac{n}{5} \quad (5)$$

- Argila arenosa siltosa:

$$p = \frac{R}{7,5} \quad (6)$$

O Quadro 9 relaciona o número de SPT com a coesão e resistência a compressão:

Quadro 9 - Resistência à compressão e coesão para argilas

CONSISTÊNCIA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (kg/cm <sup>2</sup> )	COESÃO (kg/cm <sup>2</sup> )
Muito mole	0 - 0,25	0 - 0,12
Mole	0,25 - 0,50	0,13 - 0,25
Média	0,50 - 1	0,25 - 0,50
Rija	1 - 2	0,50 - 1
Muito rija	2 - 4	1 - 2
Dura	> 4	> 2

Fonte: Adaptado de <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF03-Par%C3%A2metros-dos-Solos-para-C%C3%A1culo-de-Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf>

Já se tratando de solos arenosos, é possível obter a tensão admissível a partir do Quadro 10:

Quadro 10 - Relação entre índice de resistência a penetração SPT com as taxas admissíveis para solos arenosos

COMPACIDADE	N (GOLPES)	TENSÃO ADMISSÍVEL (kg/cm <sup>2</sup> )
Fofa	≤ 4	< 1
Pouco compacta	5 - 10	1 - 2
Medianamente compacta	11 - 30	2 - 4
Compacta	31 - 50	4 - 6
Muito compacta	> 50	> 6

Fonte: Adaptado de <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/09-MS-Unidade-07-Capacidade-de-Carga-2013.pdf>

## 2.3 SONDAGEM

### 2.3.1 O que é sondagem

Segundo Schnaid, Odebrecht (2012) o reconhecimento do subsolo constitui pré-requisito para projetos de fundações seguros e econômicos. No Brasil o custo envolvido na execução de sondagens de reconhecimento varia normalmente entre

0,2 e 0,5% do custo total da obra, sendo as informações geotécnicas obtidas indispensáveis à previsão dos custos fixos associados ao projeto e sua solução.

A investigação das condições geológicas da superfície pode ser realizada por métodos diretos ou indiretos.

O método indireto ou geofísico é baseado na interpretação de certas medidas físicas.

No método direto ou mecânico são executadas perfurações ou sondagens do subsolo. (CHIOSSI; 2013).

### 2.3.1.1 Número e locação de sondagens

De acordo com a NBR 8036/1983

o número e a sua localização em planta dependem do tipo de estrutura, de suas características especiais e das condições geotécnicas do subsolo. O número de sondagens deve ser suficiente para fornecer um quadro, o melhor possível, da provável variação das camadas do subsolo do local em estudo (NBR 8036/1983)

Observa-se isso no Quadro 11:

Quadro 11 - Quantidade de sondagens por área da edificação

ÁREA DE PROJEÇÃO EM PLANTA DA EDIFICAÇÃO	QUANTIDADE DE SONDAJENS
Até 200m <sup>2</sup>	Mínimo de 2 sondagens
Entre 200m <sup>2</sup> e 400m <sup>2</sup>	3 sondagens
Entre 200m <sup>2</sup> e 1200m <sup>2</sup> (Ex.: 300m <sup>2</sup> , 570m <sup>2</sup> e 990m <sup>2</sup> )	1 sondagem a cada 200m <sup>2</sup> (Ex.: 3, 3 e 5 respectivamente)
Entre 1200m <sup>2</sup> e 2400m <sup>2</sup> (Ex.: 1500m <sup>2</sup> , 1610m <sup>2</sup> e 2200m <sup>2</sup> )	1 sondagem a cada 400m <sup>2</sup> que excederem os 1200m <sup>2</sup> (Ex.: 6, 7 e 8 respectivamente)
Acima de 2400m <sup>2</sup>	De acordo com o plano particular da construção

Fonte: Adaptado da NBR 8036/1983

Já em relação a locação a NBR 8036/1983 diz que

nos casos em que não houver ainda disposição em planta dos edifícios, como nos estudos de viabilidade ou de escolha de local, o número de sondagens deve ser fixado de forma que a distância máxima entre elas seja de 100m, com um mínimo de três sondagens.(NBR 8036/1983)

### 2.3.1.2 Tipos de sondagem

Na engenharia civil existem várias técnicas e aparelhagens para se investigar o subsolo, diferentes técnicas de perfuração, equipamentos e procedimentos de ensaios nos diferentes países, resultantes de fatores locais e grau de desenvolvimento tecnológico no setor, o que resulta em desuniformidade de significado dos resultados obtidos.

Os principais tipos de sondagem e as mais usuais são:

- Ensaio do Cone (CPT);
- Ensaio do Piezocone (CPTU);
- Ensaio da Palheta;
- Ensaio Piezométrico;
- Ensaio Dilatrométrico;
- Standard Penetration Test (SPT).

### *2.3.1.3 Sondagem SPT*

Para Schnaid e Odebrecht (2012) O SPT é reconhecidamente a mais popular, rotineira e econômica ferramenta de investigação geotécnica em praticamente todo o mundo. Ele serve como indicativo da densidade de solos granulares e é aplicado também na identificação da consistência dos solos coesivos, e mesmo de rochas brandas. Métodos rotineiros de projeto de fundações diretas e profundas usam sistematicamente os resultados de SPT, especialmente no Brasil.

O ensaio SPT constitui-se em uma medida de resistência dinâmica conjugada a uma sondagem de simples reconhecimento. A perfuração é realizada por tradoagem e circulação de água utilizando-se um trépano de lavagem como ferramenta de escavação. Amostras representativas do solo são coletadas a cada metro de profundidade por meio de amostrador-padrão, de diâmetro externo de 50 milímetros. O procedimento de ensaio consiste na escavação deste amostrador no fundo de uma escavação (revestida ou não), usando um peso de 65.0 quilogramas, caindo de uma altura de 750 milímetros. O valor  $N_{spt}$  é o número de golpes necessários para fazer o amostrador penetrar 300 milímetros, após uma cravação inicial de 150 milímetros. (SCHNAID, ODEBRECHT 2012, P34)

As vantagens deste ensaio com relação aos demais são: Simplicidade do equipamento, baixo custo e obtenção de um valor numérico de ensaio que pode ser

relacionado às regras empíricas de projeto. (SCHNAID; ODEBRECHT, 2012). Pode-se observar o Ensaio SPT na Figura 5, e o amostrador padrão na Figura 6.

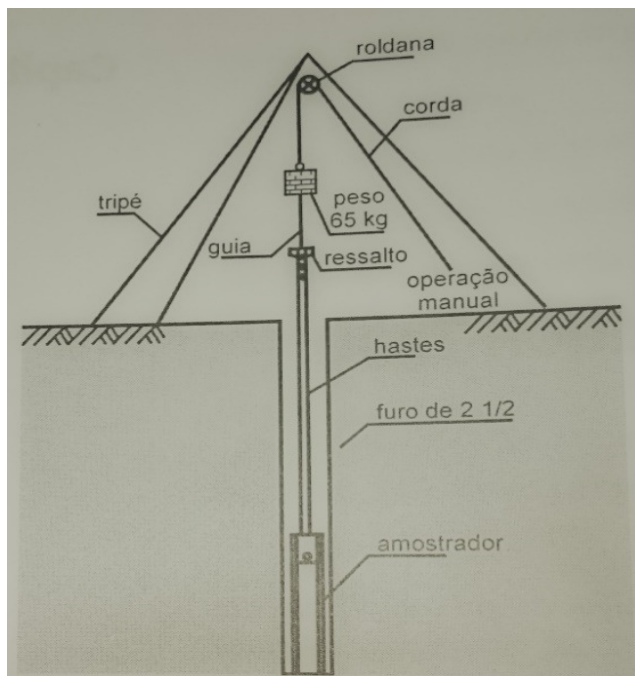


Figura 5 - Ilustração de sondagem SPT

Fonte: SCHNAID, 2000, p. 10

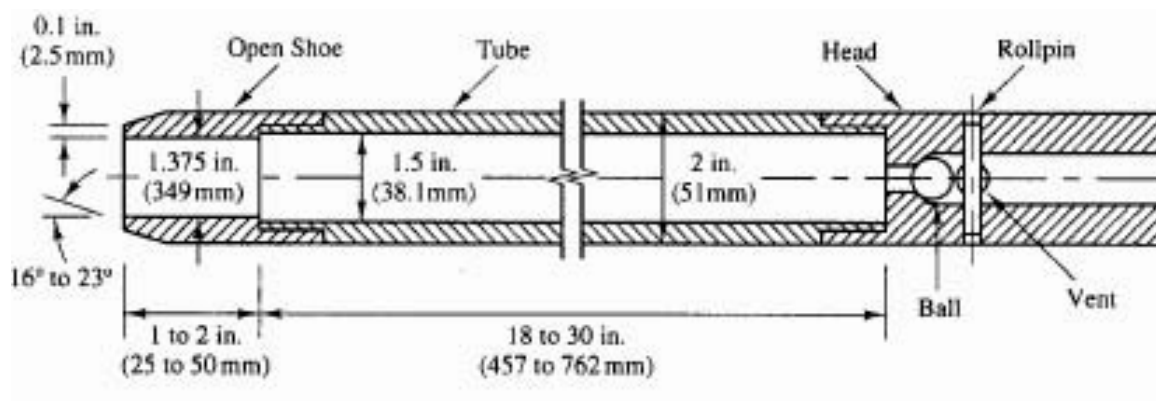


Figura 6 - Detalhamento do amostrador

Fonte: <http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=126>

## 2.4 INTERPOLAÇÃO

### 2.4.1 Conceito

Para VIEIRA (2014) “Denomina-se interpolação o método que permite construir um novo conjunto de dados a partir de um conjunto discreto de dados pontuais previamente conhecidos.”, dito isto pode-se dizer que trata-se de um processo matemático cuja função é gerar, a partir de um conjunto de dados dispostos às cercanias do ponto a ser analisado, uma função (ou conjunto delas) que possam atuar como determinadores de valor, incrementando continuamente e com dada precisão o conjunto discreto.

### 2.4.2 Tipo

Os tipos de interpolação existentes são: interpolação linear, interpolação polinomial, interpolação trigonométrica, interpolação *spline*, interpolação por polinômio de *Lagrange*, interpolação por polinômio de *Newton*, interpolação através da formula regressiva de *Newton-Gregory*, Interpolação através do método de *Gauss*, krigagem, entre outros.

#### 2.4.2.1 Interpolação linear entre dois pontos

Tendo-se as coordenadas de dois pontos A ( $x_1, y_1$ ) e B ( $x_2, y_2$ ), traça-se uma reta entre eles. Escolhe-se então um ponto qualquer entre A e B com uma de suas coordenadas desconhecida e outra conhecida C ( $x, y$ ). Como mostra a Figura 7:

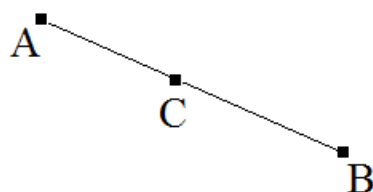


Figura 7 - Seguimento de reta utilizado para fórmula da interpolação linear

Fonte: Elaborada pelo autor

Assim feito, obtém-se a Equação 7:

$$\frac{y-y_1}{x-x_1} = \frac{y_1-y_2}{x_1-x_2} \quad (7)$$

Suponha-se que o valor de  $x$  é conhecido, isola-se  $y$  e tem-se a Equação 8:

$$y = y_2 + \frac{(x-x_2) \times (y_1-y_2)}{x_1-x_2} \quad (8)$$

## 2.5 GEOESTATÍSTICA

### 2.5.1 Conceito

Segundo Sturaro (2015) nas mais variadas áreas onde depende-se do recolhimento empírico de amostras para o reconhecimento parcial de determinado fenômeno, existe uma relação “custo x benefício” onde quanto maior o número de amostras, melhor é conhecimento da população em questão a ser estudada, porém para a obtenção de tal nível de conhecimento sobre o fenômeno observado, envolvem-se diversos custos: financeiros, humanos e temporais.

Ainda para Sturaro (2015), a área das ciências do solo é uma das mais acometidas por este tipo de dilema devido à natureza oculta dos corpos de solos. Dito isto, é constante a necessidade (em maior ou menor grau) da prática de sondagens em pontos espaçados para o conhecimento do corpo a ser analisado. Sabendo dos problemas espaciais e de custos, torna-se necessário a elaboração de um modelo que demonstre o comportamento dos fenômenos naturais nas áreas entre sondagens (onde não se dispõe de amostras) porém, isto é, de difícil (ou impossível) estimativa. Para realizar tal estimativa seria necessário completo conhecimento dos processos químicos e físicos de formação do solo (rocha ou demais fenômenos naturais estudáveis) em questão e caso possível fosse, seria viável a elaboração de modelos matemático-determinísticos que mostrassem com precisão o comportamento da situação estudada. Porém, a complexidade na forma em que se originam os dados a serem estudados fazem os mesmos parecerem aleatórios devido à natureza desconhecida de seus processos originários (inviabilizando o uso preciso de métodos determinísticos), para tanto mostra-se mais adequado o uso de processos estatísticos para o tratamento de tais variáveis com o uso de funções aleatórias, para tanto desenvolveu-se a geoestatística.

Apesar de seu uso bastante difundido, de acordo com STURARO (2015) a geoestatística é uma área relativamente nova. Desenvolvida em meados do século passado com as brilhantes suposições do engenheiro de minas sul-africano D.G. Krige, concluiu-se que seria impossível uma estimação adequada do conteúdo de ouro em blocos mineralizados se não fossem consideradas as características geométricas da amostra (localização e volume). Em posse de tais conjecturas postuladas por Krige, foi possível para o engenheiro francês Georges Matheron desenvolver a teoria que considera o desenvolvimento de variáveis que representam dado fenômeno natural distribuído no espaço.

O termo Geoestatística surgiu para focar o estudo estatístico de um fenômeno natural, por sua vez, caracterizado pela distribuição no espaço de uma ou mais variáveis, denominadas "variáveis regionalizadas" (JOURNEL; HUIJBREGTS, 1978). Segundo Landim (2006) "para muitos geólogos "geoestatística" significa simplesmente a aplicação de métodos estatísticos em Geologia, o que não corresponde à definição do termo". De fato, o conceito de geoestatística é muito mais pontual e específico do que tal definição. Segundo Matheron (1962) "geoestatística é a aplicação do formalismo de funções aleatórias para o reconhecimento e estimativa de fenômenos naturais", em posse de tal constatação é possível formalizar geoestatística como o método (ou conjunto de métodos) que visa à aplicação do estudo estatístico a variáveis com autocorrelação espacial, sendo esta uma das principais diferenças entre geoestatística e a estatística clássica. Tal definição é corroborada por Olea (2006) "uma diferença fundamental entre geoestatística e estatística clássica é a suposição pela geoestatística da existência de autocorrelação espacial".

#### *2.5.1.1 Autocorrelação espacial – A lei de Tobler*

Segundo Tobler (1970) "tudo está relacionado a tudo mais, mas as coisas mais próximas estão mais relacionadas entre si do que as coisas mais distantes". Sendo um conceito bastante útil e intuitivo, é possível concluir por suas palavras que elementos com dependência espacial parecem mais entre si quando mais próximos do que quando mais distantes. Este conceito é útil em diversas áreas de estudo, da biologia à geologia, da epidemiologia à criminalística, sendo aplicado no presente

trabalho à geoestatística. A primeira lei da geografia está no cerne da geoestatística, sendo peça chave na denominada inferência espacial.

#### *2.5.1.2 Inferência espacial*

Sendo a palavra “inferência” também definida como operação intelectual que afirma como verdadeira uma proposição assumindo sua ligação com outras já conhecidas, é possível identificar inferência espacial como a geração de informação espacial a partir de outras já existentes, sendo os processos que levam a este denominados interpolações.

“O processo de reprodução das características do fenômeno espacial baseado em pontos amostrais é denominado interpolação ou estimativa. A interpolação ou estimativa de um ponto não amostrado é feita por meio do ajuste de funções matemáticas locais (pontos mais próximos ao ponto não amostrado) ou globais (todos os pontos amostrais)” (YAMAMOTO, LANDIM, 2015, p. 21).

Segundo Yamamoto e Landim (2015), é possível classificar tais métodos interpoladores (de modo simplificado) em dois grandes grupos: os modelos determinísticos e os modelos estocásticos.

Ainda para Yamamoto e Landim (2015 p. 22), os modelos determinísticos têm por base a utilização de características puramente geométricas, onde as distâncias são euclidianas e não nos é fornecido medidas de incerteza. Um dos métodos que pertencem a este grupo é o famoso método do inverso do quadrado da distância, enquanto os modelos estocásticos são capazes de quantificar a incerteza associada ao estimador e consideram-se os valores coletados como frutos de processos aleatórios, a geoestatística é um destes métodos.

Porém,

A estimativa requer um modelo de como o fenômeno se comporta em localizações onde não foi feita amostragem, sem um modelo tem-se apenas os dados amostrados e nenhuma inferência pode ser feita acerca de valores em localizações onde não foi feita amostragem (ISAAKS, SRIVASTAVA, 1989).

Quando aplicado a geoestatística, dá-se o nome deste modelo representativo da continuidade espacial de semivariograma.

### 2.5.1.2.1 Semivariograma

De acordo com Yamamoto e Landim (2015) a função semivariograma é uma importante ferramenta utilizada em geoestatística para a determinação da variabilidade espacial de determinada variável em uma direção pré-definida por uma distância orientada “h”. Para Landim (2006) “O semivariograma mostra a medida do grau de dependência espacial entre amostras ao longo de um suporte específico e, para sua construção, são usados simplesmente as diferenças ao quadrado dos valores obtidos, assumindo-se uma estacionaridade nos incrementos. Isso significa que o semivariograma é uma medida da variabilidade geológica condicionada pela distância. Tal variabilidade pode ser bastante diferente quando consideradas diferentes direções”.

Segundo Olea (2006) “Dado dois pontos separados por ‘h’ e a diferença para uma variável de interesse para estes dois pontos, o semivariograma  $\gamma(h)$  é metade da variância desta diferença” logo, o semivariograma representa a variância da diferença da variável de interesse calculada em pares de pontos distados por “h”, conforme mostra-se a Equação 9:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [z(x_i + h) - z(x_i)]^2 \quad (9)$$

Sendo “n” o número de pares, “z” a variável a ser estudada, “xi” a localização e “h” o incremento orientado.

Para Yamamoto e Landim (2015) os processos que levam a elaboração do semivariograma variam de acordo com a disposição dos pontos amostrados, dividindo-se tal disposição em malhas regulares e irregulares, quando se tem malhas regulares de amostras, é possível obter o semivariograma simplesmente aplicando a fórmula anterior às direções de estudo. Porém, quando se tem malhas irregulares, a estimação a priori é impossível devido à ausência de pares suficientes distados a mesma extensão e ângulo ao qual deseja-se estudar. Para tanto, convencionou-se o seguinte modelo para obtenção de amostras para malhas irregulares (Figura 8):

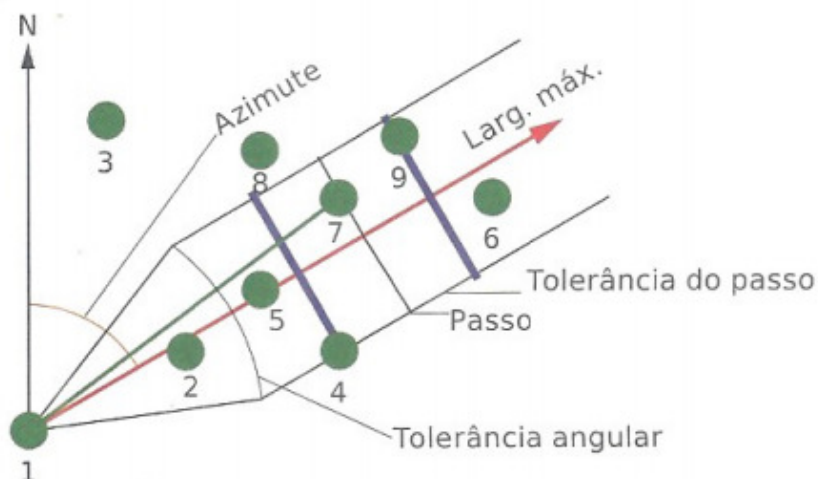


Figura 8 - Pesquisa de pares para malhas irregulares

Fonte: Livro “GEOESTATÍSTICA – conceitos e aplicações”

Onde adota-se um azimute “ $\alpha$ ” para o vetor direção, uma tolerância angular “ $\alpha'$ ” um passo “ $h$ ” e uma tolerância do passo “ $h'$ ”. Sendo assim, o método considera todos os pontos que estão dentro da região demarcada pelo azimute  $\alpha \pm \alpha'$  com o passo  $h \pm h'$ .

Para Olea (2006) elaborada a pesquisa por pares de amostras, torna-se possível o enquadramento de tais dados em um plano cartesiano a fim de escolher um modelo de função empírica que melhor se ajuste aos dados obtidos (Figura 9):

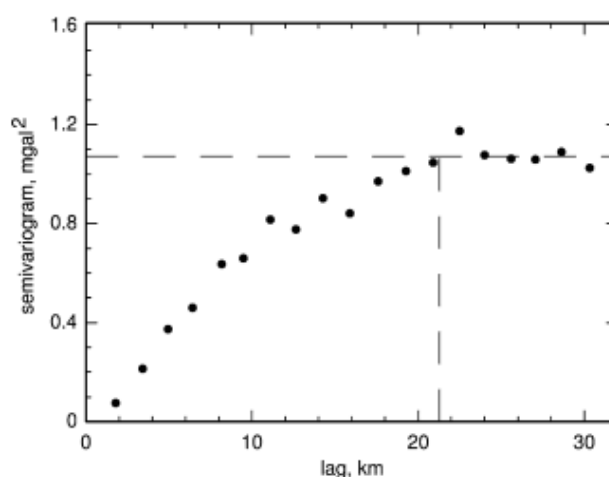


Figura 9 - Semivariograma com patamar (linha horizontal) e alcance (linha vertical) definidos

Fonte: Artigo científico – A six-step practical approach to semivariogram modeling (OLEA, 2006)

Ainda para Olea (2006), em posse da nuvem de pontos fornecida pelo processo anterior, deve-se escolher o modelo experimental que ofereça o melhor *fitting* <sup>1</sup> à nuvem de pontos com base em seu patamar (ponto em que a função semivariograma apresenta tendência constante, denotando ausência de correlação espacial), alcance (distância em que a função apresenta início do patamar) e efeito pepita (descontinuidade na origem do semivariograma). A Figura 10 representa o *fitting* de algumas funções experimentais:

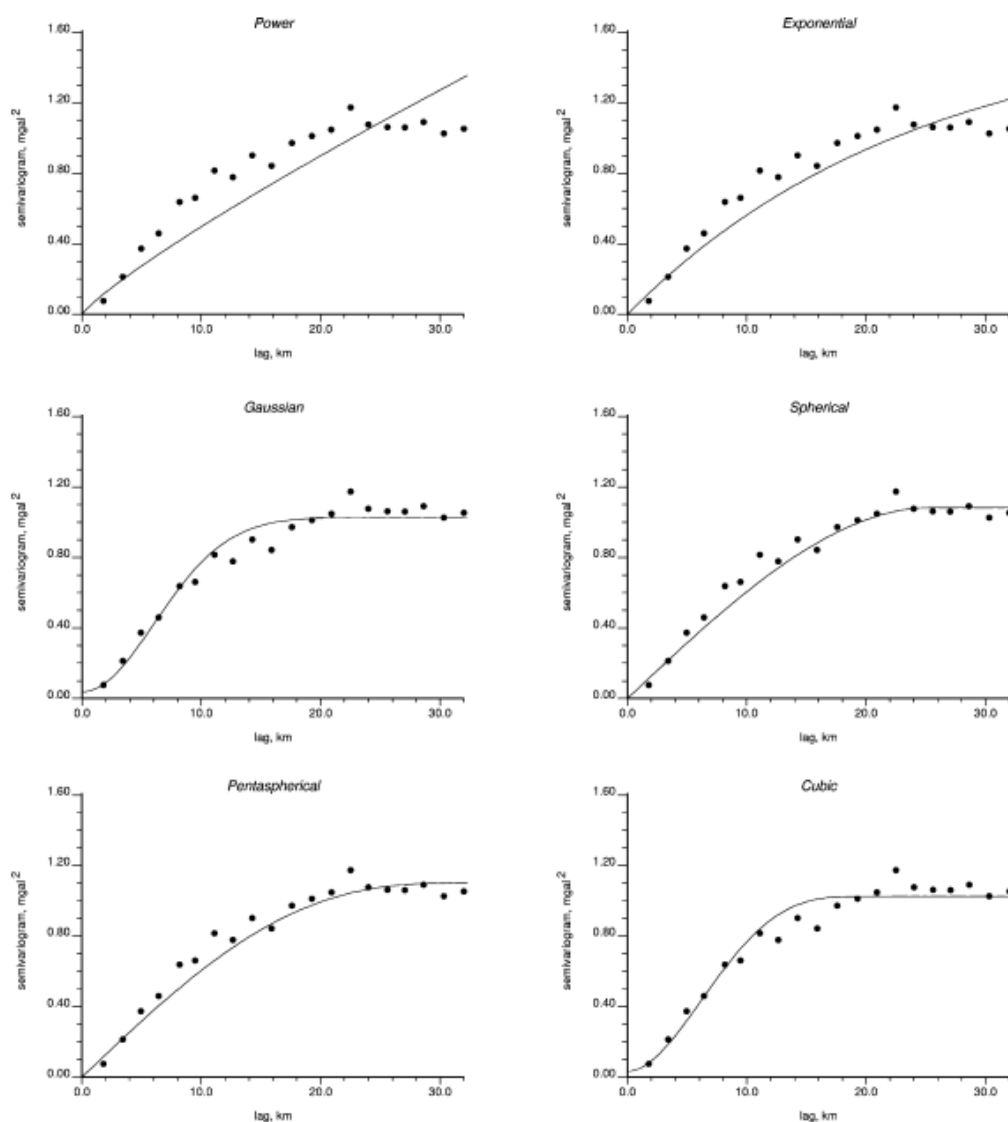


Figura 10 - Funções experimentais

Fonte: Artigo científico – A six-step practical approach to semivariogram modeling (OLEA, 2006)

De acordo com Landim (2006)

Em resumo, para a utilização do semivariograma as seguintes suposições básicas são requeridas:

- As diferenças entre pares de valores de amostras são determinadas apenas pela orientação espacial relativa dessas amostras;
- O interesse é focado apenas na média e na variância das diferenças, significando que esses dois parâmetros dependem unicamente da orientação;
- Por conveniência assume-se que os valores da área de interesse não apresentam tendência que possa afetar os resultados e, assim, a preocupação é apenas com a variância das diferenças entre valores das amostras. (LANDIM, 2006).

Segundo Sturaro (2015, p. 19) usa-se fazer a visualização da variável em questão a diversos ângulos a fim de verificar se o fenômeno é isotrópico ou anisotrópico. Quando o semivariograma apresenta configurações similares nas mais variadas direções, dá-se a ele o nome de fenômeno isotrópico, do contrário este possui alguma anisotropia (descontinuidade). É de suma importância a identificação de anisotropias a fim de obter-se conhecimento das continuidades e descontinuidades do fenômeno estudado, bem como para a confecção de um semivariograma ajustado que melhor represente esta variável.

### *2.5.1.3 Krigagem*

Na visão de Sturaro (2015) a krigagem é um método de regressão linear sem viés, também conhecido como “processo gaussiano de regressão”, que tem por objetivo a estimação de uma determinada variável de estudo dentro de vizinhanças estacionárias e que procura minimizar o erro de estimação.

Segundo Landim; Yamamoto (2015) Recebe seu nome devido a uma homenagem da Escola Francesa de Geoestatística ao pioneiro no uso de estatística aplicada a geologia Daniel G. Krige, engenheiro de minas sul-africano. Abrange uma família de algoritmos diversos, sendo os principais a krigagem simples, krigagem média e krigagem universal. O estimador mais usual é a krigagem ordinária.

#### 2.5.1.3.1 Krigagem ordinária

Segundo Landim (2006) “a krigagem ordinária nada mais é que a krigagem simples com a média local calculada pela krigagem da média”. Dito isto é possível estabelecer seu estimador com a Equação 10:

$$Z^*_{ko}(Xo) = \sum_i^n \lambda_i z(Xi) \quad (10)$$

Onde  $Z^*$  é o valor a estimar,  $Xo$  é a posição do valor a estimar,  $n$  é a quantidade de pontos próximos a utilizar na avaliação  $\lambda_i$  é o peso do valor da variável  $Z$  na posição  $Xi$ .

Segundo Sturaro (2015) para a obtenção do estimador da krigagem ordinária, deve-se pensar na elaboração dos pesos ótimos, que são tidos a partir das seguintes hipóteses:

- O estimador não deve ser enviesado;
- A variância da estimativa deve ser mínima.

Em posse de tais conjecturas, é possível escrever o “sistema de equações da krigagem” (Equações 11 e 12), no caso, escrito em termos do semivariograma:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(x_i - x_j) + \mu = \gamma(x_o - x_j) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \end{cases} \quad (11) \text{ e } (12)$$

De acordo com Yamamoto e Landim (2015) Para a facilitação dos sequenciais cálculos, é de grande valia a adoção do sistema matricial (Equação 13):

$$\begin{bmatrix} \gamma(x_1 - x_1) & \dots & \gamma(x_1 - x_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \gamma(x_n - x_1) & \dots & \gamma(x_n - x_n) & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ -\mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(x_o - x_1) \\ \vdots \\ \gamma(x_o - x_n) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Resolvendo a equação a fim de obter os pesos “ $\lambda$ ”, temos a Equação 14:

$$Z^*_{ko}(Xo) = \lambda_1 z_1 + \lambda_2 z_2 + \dots + \lambda_n z_n \quad (14)$$

Deste modo, é possível repetir o processo de maneira sucessiva para os mais diversos pontos não amostrados, com o objetivo de conseguir melhor visualização do fenômeno em questão.

#### 2.5.1.4 Fecho convexo

Para Hsu; Soma (2007) “O fecho convexo de um conjunto  $Q$  de pontos é o menor polígono convexo  $P$  para o qual cada ponto em  $Q$  está no limite de  $P$  ou em seu interior”. Logo, entende-se por fecho convexo (ou envoltória convexa) como o menor polígono convexo que contém todos os pontos de determinado conjunto (Figura 11). Todos seus pontos ou são os vértices do fecho convexo ou estão em seu interior.

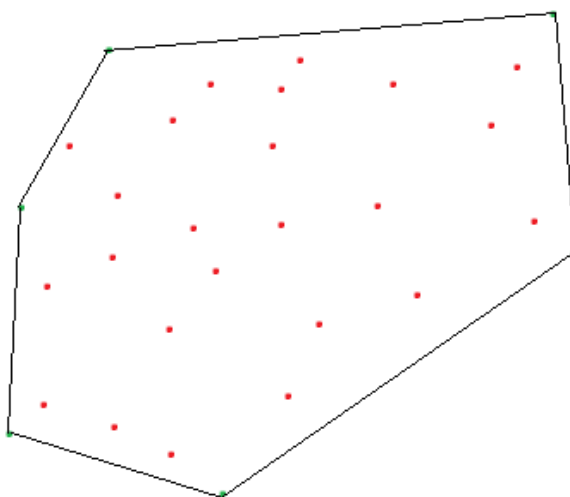


Figura 11 - Fecho convexo

Fonte: Elaborado pelo autor

Para Larkin (1991) “quando se aplica krigagem ou contorna um conjunto de dados, seu fecho convexo pode ser usado para definir a área onde os valores são interpolados em oposição à (área) extrapolada a partir dos dados originais”. Dito isto, é possível assumir que dado um conjunto de pontos distribuídos no espaço, todo valor estimado por krigagem que estiver dentro de seu fecho convexo é considerado interpolação (Figura 12), enquanto valores fora de seu fecho convexo são considerados extrapolações.

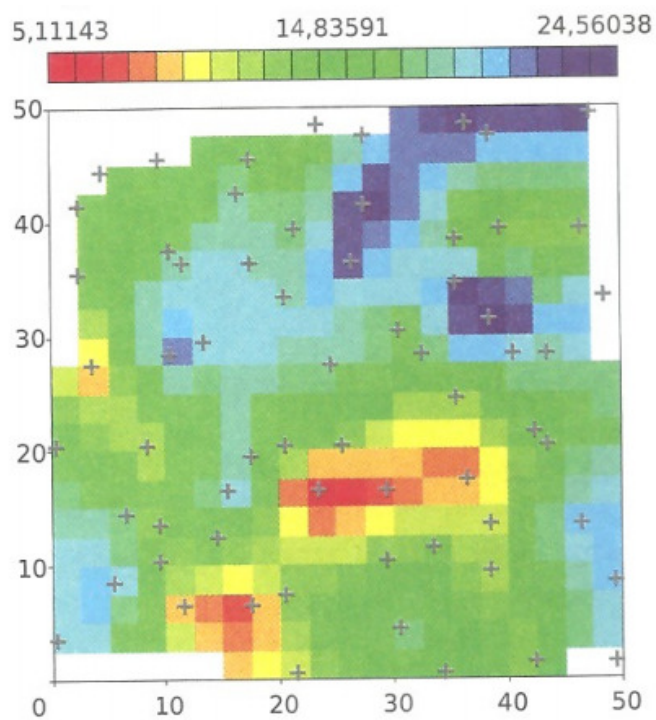


Figura 12 - Área interpolada com krigagem, respeitando o fecho convexo

Fonte: Livro "GEOESTATÍSTICA – conceitos e aplicações"

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento do presente trabalho fez-se uso de três notebooks da marca Dell, onde estavam dispostos os elementos concernentes à concepção do projeto. Para tanto, neles foram instaladas modernas linguagens de programação a fim de obter melhor rendimento no que tange ao processamento de dados. As linguagens de programação, marcação e folha de estilos utilizadas são as que seguem:

- VB.NET/C#.NET;
- Javascript;
- HTML;
- CSS.

##### 3.1.1 Linguagens de programação

- VB.NET/C#.NET: Linguagens de programação orientada a objetos da plataforma .NET, operando no server side da aplicação *WEB*. Elas têm como função principal no projeto o melhor rendimento do processamento dos dados de sondagem, bem como a criação da parte gráfica proveniente das inúmeras funções dispostas nas classes do aplicativo.
- Javascript: Linguagem de programação baseada em scripts, operando no client side da aplicação *WEB*, tem como objetivo na aplicação a aquisição de dados perante os usuários transformando-as em formato conhecido e comum às linguagens de programação que operam no server side. Ela traz mais flexibilidade e praticidade à aplicação, pois reduz problemas com a inflexibilidade trazida pelas linguagens de programação tradicionais.
- HTML: Linguagem de marcação. Na aplicação tem como função principal a divisão e marcação dos elementos das páginas *WEB* de maneira prática, rápida e legível. Cabe a ela também a exibição de conteúdo de maneira organizada.

- CSS: Linguagem de folha de estilos. Tem como função a organização racional dos estilos da página, tendo sob sua regência a imposição de cores, fontes, formas, etc.
- Banco de dados: Na aplicação optou-se pelo uso de bancos de dados da família SQL (structured query language) devido sua alta confiabilidade e uso bem estabelecido no mercado.

## 3.2 METODOLOGIA

Para Severino (2007, p. 117), “a ciência se constitui aplicando técnicas, seguindo um método e apoiando em fundamentos epistemológicos”, neste contexto, é possível afirmar que para a elaboração de dada constatação nas áreas das ciências é indispensável a aplicação de técnicas, o seguimento de metodologias pré-definidas e o embasamento em fundamentos epistemológicos prévios. Porém, ao passo que são indispensáveis o seguimento de determinados padrões e métodos, estes variam de acordo com as diversas linhas epistemológicas dentro da ciência. Para Severino (2007, p. 118) “ocorrem diferenças significativas no modo de se praticar a investigação científica, em decorrência da diversidade de pesquisa epistemológica”, ainda para Severino (2007 p. 118) “Por essa razão, várias são as modalidades de pesquisa que se podem praticar”.

### 3.2.1 Tipo de pesquisa

Segundo Lakatos; Marconi (1992, p.32) “a pesquisa pode ser considerada um procedimento formal com método de pensamento reflexivo que requer um tratamento científico e se constitui no caminho para se conhecer a realidade ou para descobrir verdades parciais”. Ainda para Lakatos; Marconi (1992) os dois métodos iniciais que se podem dividir a pesquisa são os de documentação direta e indireta. Para eles, entende-se documentação direta como aquela que é de próprio desenvolvimento do pesquisador, provenientes de pesquisa de campo ou laboratorial. Já o segundo tipo (pesquisa indireta) resume-se em pesquisa documental e pesquisa bibliográfica. Severino (2007) considera que pesquisa pode ser dividida em dois grandes grupos: a pesquisa quantitativa e a pesquisa qualitativa. Para ele é possível entender como pesquisa quantitativa o tipo que

exprime causa e efeito e pode ser demonstrada por meio de expressões matemáticas, entendendo-se por qualitativa, aquelas que não expressam tal relação.

O presente trabalho apresenta traços dos mais diversos tipos de pesquisa, sendo a pesquisa por documentação indireta realizada em toda nossa fundamentação teórica com a leitura e embasamento em artigos e livros, nacionais e internacionais, dos temas aplicados à geologia, geoestatística, engenharia de solos, etc. No que diz respeito a pesquisa direta, presenciou-se uma reunião com especialistas em geologia, geofísica e geoestatística na Petrobras com o objetivo de sanar determinadas dúvidas relativas à construção e desenvolvimento do software com a metodologia geoestatística, bem como a troca de e-mails (disponíveis no APÊNDICE A) com figuras proeminentes na área da geoestatística, como o professor Paulo M. Barbosa Landim da UNESP, o professor Donald Myers da Universidade do Arizona, bem como como especialistas Universidade de Harvard. Também se identificou como pesquisa direta, os dados de aceitabilidade de mercado em relação ao conceito proposto pelo presente trabalho obtidas em questionário com profissionais da área. Quanto à classificação proposta por Severino (2007), este trabalho apresenta traços mistos de pesquisa quantitativa e qualitativa. Apresenta-se como quantitativa no modo determinístico-estatístico que o sistema funciona, aplicando estatisticamente a técnica explanada anteriormente, krigagem. Sua face determinística é denotada pelo próprio *modus operandi* apresentado pelos algoritmos e linguagens de programação. Quando se pensa em pesquisa qualitativa, esta apresenta-se por meio de pesquisas de mercado, identificação da análise SWOT, bem como na separação e classificação de determinadas características dos solos e dos métodos empregados na elaboração concernente à fundamentação teórica.

### **3.2.2 Instrumento de coleta de dados**

A fim de elaborar o software, fez-se necessário o primário conhecimento sobre a aceitabilidade de tal sistema ante aos potenciais usuários bem como a opinião de especialistas da área de geoestatística sobre a viabilidade da criação de um sistema que elaborasse a interpolação de dados considerando seu entorno. Para sanar esta etapa, focou-se em duas linhas distintas de pesquisa: questionários e envio de e-mails para especialistas.

### 3.2.2.1 Delimitação do objeto de estudo

#### 3.2.2.2 Envio de e-mails

Para a primeira fase de pesquisa, foi necessário o estabelecimento de um norte, bem como um posicionamento específico sobre a possibilidade ou não da elaboração de um sistema que cumprisse todas as demandas presentes nas hipóteses e objetivos apresentados no decorrer do trabalho. Para tanto, foi enviado e-mails para importantes especialistas, a nível nacional e internacional. O corpo padrão dos e-mails iniciais enviados para tais especialistas são os que seguem nas Figuras 13 e 14:

*Bom dia. Meu nome é Kelvyn Valle e sou estudante de engenharia civil.*

*Tive acesso ao seu livro "Introdução à análise estatística de dados geológicos multivariados" e achei uma ótima leitura, sanando boa parte das minhas dúvidas acerca dos métodos geoestatísticos de interpolação. No entanto uma dúvida ainda restou no que tange a composição de variogramas para dados que estão irregularmente distribuídos (devido a falta de exercícios sobre o assunto): como compor o variograma? O senhor teria alguma recomendação de leitura ou exercícios resolvidos sobre o tema?*

*Uma outra dúvida que tenho: É possível interpolar dados de sondagem SPT (no caso, a espessura de camadas do solo) com o uso da krigagem?*

*Desde já agradeço! aguardo a resposta.*  
*Kelvyn Valle.*

Figura 13 – Versão do e-mail em português

Fonte: Elaborada pelo autor

*Hi! My name is Kelvyn Valle, I am a brazilian civil engineering student. I'm developing a tool that makes the geological profile using the SPT (standard penetration test) data from my region. I accessed your page about geostatistics from the Arizona University website and I like very much, the text is very interesting. Reading about the theme in articles written by my compatriots I have solved many of my doubts, but remain some gaps on that material... Can you help me?*

*How can I do the variogram from a irregular mesh of probes? Do you have some material about the theme to recommend (or send) to me? Is possible to use the kriging to do the interpolation of SPT data?*

*Sorry for my bad english, I am self-taught  
Thank you, I am waiting for your answer  
Kelvyn Valle*

Figura 14 - Versão do e-mail em inglês

Fonte: Elaborada pelo autor

As respostas obtidas a partir de tais e-mails estão disponíveis no Apêndice A.

#### 3.2.2.3 Questionário

Para sanar a primeira dúvida sobre a demanda mercadológica relativa a tal serviço, elaborou-se um questionário dotado de 9 perguntas, aplicado via internet na plataforma *google docs*, para um grupo de 105 participantes que trabalham na área da construção civil. A abrangência estatística de tal pesquisa deu-se principalmente no estado de São Paulo. O modelo do questionário segue-se em Apêndice B.

#### 3.2.2.4 Estruturação da pesquisa

A estruturação da pesquisa deu-se conforme os passos que seguem:

- 1ª Fase: Pesquisa bibliográfica, que de acordo com Severino (2007, p.122) “é aquela que realiza, a partir de registros disponíveis decorrentes de pesquisas anteriores, o levantamento de dados que sejam pertinentes ao novo estudo” para Lakatos; Marconi (1992, p. 94) “sua finalidade é colocar o pesquisador em contato direto com tudo aquilo que foi escrito sobre determinado assunto”. Dito isto, no presente caso foi utilizado como referência bibliográfica (nacional e internacional) livros, artigos, revistas e sites relativos aos assuntos de geoestatística, geologia e engenharia civil.
- 2ª Fase: Pesquisa de campo, partindo-se do estabelecimento das hipóteses e objetivos, verificou-se por meio de consulta a especialistas, a viabilidade técnica da execução de tal projeto para tanto, procedeu-se primariamente o envio de e-mails a especialistas nacionais e internacionais verificando se tais hipóteses poderiam ou não ser atendidas. Hipóteses básicas resolvidas, surgiram-se questionamentos de ordem demasiadamente técnicas que só poderiam ser sanadas com respostas presenciais a perguntas pontuais por parte de especialistas da área, fez-se então reunião com geólogos, geoestatísticos e geofísicos da Petrobras a fim de sanar tal dúvida. Dúvidas técnicas sanadas, partiu-se a verificar a possibilidade de viabilidade mercadológica deste conceito, feita a partir da coleta por meios digitais de dados relativos a aceitabilidade. Realizou-se via *google docs* um questionário com 9 questões pontuais acerca da aceitabilidade do sistema.
- 3ª Fase: Registro descritivo, com a documentação exposta na monografia contendo todas as etapas do estudo - proposta de projeto, fundamentação teórica, procedimento metodológico e direcionamento mercadológico – para a viabilização do projeto de graduação em engenharia civil.

- 4ª Fase: Desenvolvimento de fluxogramas, com todas as pesquisas técnicas e mercadológicas tornou-se possível o desenvolvimento de fluxogramas demonstrando o funcionamento prático do sistema, seja pela interação com o usuário, seja pela execução de seus métodos (ações) por parte do servidor e propriamente do algoritmo, bem como o desenvolvimento de possíveis telas que se encaixam ao conceito exposto pelo presente trabalho.

### 3.2.2.5 Cronograma do trabalho

Definidas as hipóteses e objetivos, foi possível para o grupo a definição prévia do cronograma de trabalho (Quadro 12), contendo as atividades que deveriam ser realizadas no decorrer do projeto de graduação, com a finalidade de conseguir sanar todas as hipóteses e objetivos que foram apresentadas.

Quadro 12 – Cronograma do TCC

ETAPAS	2015						2016					
	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Definição do grupo	X											
Definição do projeto de TCC	X	X										
Definição da metodologia		X	X									
Desenvolvimento do projeto			X	X	X							
Apresentação do projeto de TCC 1					X							
Desenvolvimento do embasamento teórico						X	X	X	X	X	X	
Desenvolvimento e estudo dos fluxogramas						X	X	X	X	X	X	
Pesquisa de campo							X	X	X	X		
Perquisa mercadológica											X	
Entrega da versão final do TCC												X

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.2.3 Análise dos resultados

#### 3.2.3.1 Pesquisa de campo

Com a finalidade de observar-se como procederiam previamente as opiniões de possíveis usuários acerca do sistema, bem como verificar a porcentagem dos profissionais que se utilizam de sondagens em suas obras, propôs-se como meio de obtenção de informações pertinentes ao projeto a elaboração de um formulário para filtrar e pesquisar tais interesses.

### 3.2.3.1.1 Metodologia adotada

Com a pesquisa de campo notou-se tendências e opiniões de diversos profissionais da construção civil sobre o tema proposto pelo presente projeto. Dentre os diversos pontos analisados, os dados primeiramente obtidos foram: ocupação, faixa etária, estado federativo, uso de sondagens em obras, consideração pelo uso do sistema, cadastro de sondagens em troca de créditos para uso no sistema, pagamento para uso do sistema, faixa de preço aceitável e uso anterior a compra de um terreno. Realizou-se a pesquisa dos seguintes modos: presencial e *online*. Quando se fez pesquisa presencial, abordou-se cada qual dos indivíduos entrevistados de modo a obter dados de maior confiabilidade. No que tange a pesquisa online, seguiu-se metodologia similar e igualmente confiável. Procurou-se indivíduos que atuavam na construção civil por meio das plataformas *facebook*, *linkedin*, *whatsapp* e *gmail*.

### 3.2.3.2 *Dados da pesquisa*

Foram entrevistados 105 pessoas, sendo estas divididas em sete grupos principais de ocupação: engenheiros, técnicos em edificações, mestres de obras, empreiteiros, arquitetos, estagiários (de engenharia e arquitetura) e outros (profissionais da construção civil). Notou-se pela pesquisa que, dos entrevistados, o maior grupo (36,4%) foi composto por estagiários, o segundo maior grupo (28,3%) por engenheiros. Somando-se todos os mais experimentados em obras (profissionais de engenharia, arquitetos, mestres de obra, empreiteiros, técnicos em edificação e outros profissionais da construção civil) obteve-se mais de 50% dos entrevistados (63,7%) tornando a pesquisa de suma relevância. O segundo maior grupo foi de profissionais com nível superior incompleto, que também podem ser considerados como futuros usuários do sistema. Tais dados são expressos no gráfico a seguir (Figuras 15 e 16):

### Qual sua ocupação?

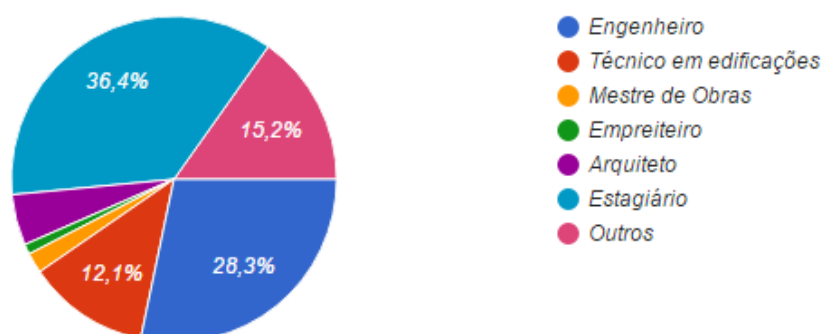


Figura 15 Gráfico sobre ocupação

Fonte Elaborado pelo autor

Dos entrevistados, observou-se também que mais de 50% (53,9%) possuíam idade superior a 25 (vinte e cinco) anos (17,6% 25-30 anos, 18,6% 30-40 anos, 11,8% de 40-50 anos, D% acima de 50 anos) e que a maior faixa etária compreendida na pesquisa foi a dos mais jovens (5,9% de 18-25 anos), conforme pode ser evidenciado no gráfico abaixo:

### Quantos anos você tem?

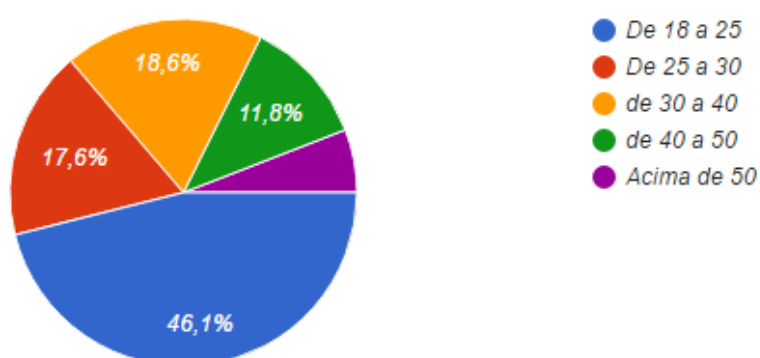


Figura 16 Gráfico Idade

Fonte:Elaborado pelo autor

A abrangência territorial da pesquisa deu-se por dois estados, sendo o com porcentagem mais relevante São Paulo e o segundo, Minas Gerais. O seguinte gráfico (Figura 17) evidencia isto:

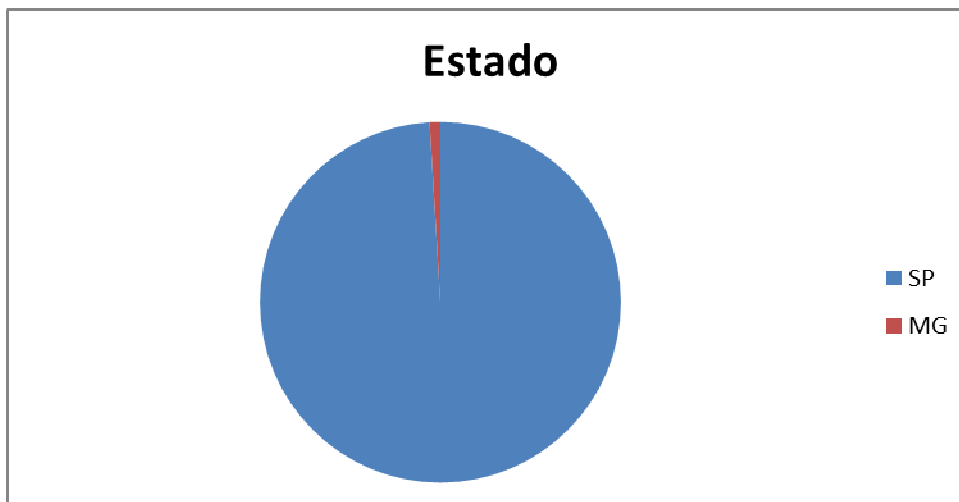


Figura 17 Gráfico Idade  
Fonte: Elaborado pelo autor

Na pesquisa realizada, verificou-se que quase um terço dos profissionais não realizam sondagens em suas obras (Figura 18), o que é de suma preocupação haja vista os potenciais problemas que tal desconhecimento do solo autóctone pode trazer.

Você costuma realizar sondagens nas suas obras?

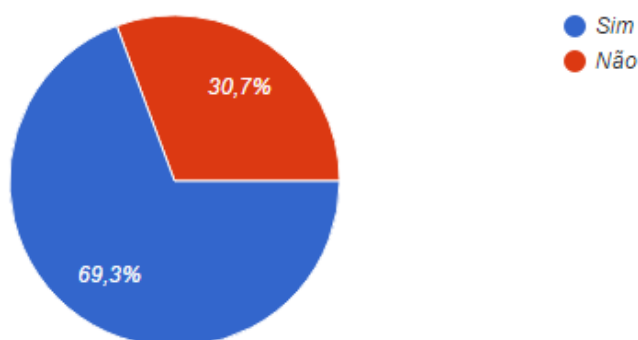


Figura 18 Gráfico sobre sondagens em obras  
Fonte: Elaborado pelo autor

A partir da entrevista, verificou-se que mais de 90% dos entrevistados (91,2%) estavam dispostos a utilizar um sistema que ajudasse a estimar o solo subjacente a determinada obra (Figura 19). Isso pode ser explicado devido ao fato do solo não ser algo tangível tampouco visível como um todo, de modo que qualquer informação que

auxilie no seu entendimento torna-se de grande valia para os quem deseja executar uma obra.

Você consideraria utilizar um sistema que estimasse o solo subjacente a sua obra para a fase de pré-projeto e para o aumento da precisão da estimativa na fase de projeto?

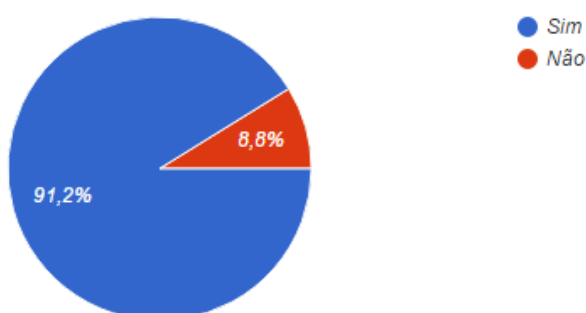


Figura 19 Gráfico projeto

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma porcentagem similar (91,3%) dos entrevistados estaria disposta a trocar sondagens por créditos a serem trocados por serviços (Figura 20) (como interpolação ou consulta de sondagens) mostrando, a priori, a viabilidade econômica deste tipo de sistema.

Você consideraria cadastrar sondagens neste sistema em troca de créditos para estimativa de outros pontos no sistema?

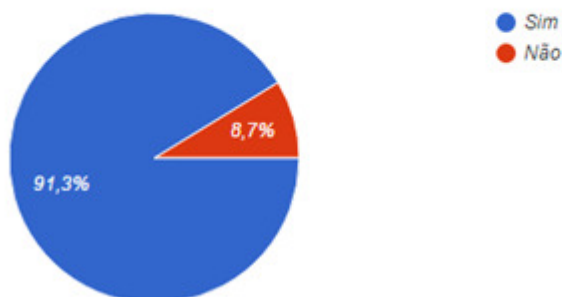


Figura 20 Gráfico Cadastro

Fonte: Elaborado pelo autor

Dos entrevistados, quase o mesmo tanto estariam dispostos a pagar pelo uso do serviço. 90,2% dos mesmos mostraram-se favoráveis ao pagamento pelo uso do sistema, enquanto menos de 10% (9,8%) não estariam dispostos a pagar pelo serviço (Figura 21).

Você pagaria para obter o reconhecimento prévio do solo subjacente a determinado terreno por um sistema que gere estes dados considerando todo o entorno?

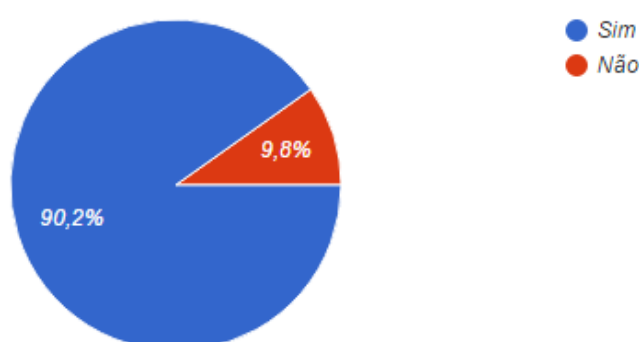


Figura 21 Gráfico sobre valores

Fonte: Elaborado pelo autor

Daqueles que estariam dispostos a pagar pelo serviço, verificou-se que 45,5% estariam dispostos a pagar entre 200 e 500 reais, o segundo maior grupo contando com 33,7% estaria disposto a pagar entre 0 e 200 reais enquanto o último grupo estaria disposto a pagar mais de 500 reais pela consulta. Verificou-se que mais de dois terços dos entrevistados estariam dispostos a pagar valores acima de 200 reais pela consulta dos dados (Figura 22).

## Quanto você pagaria? (R\$)

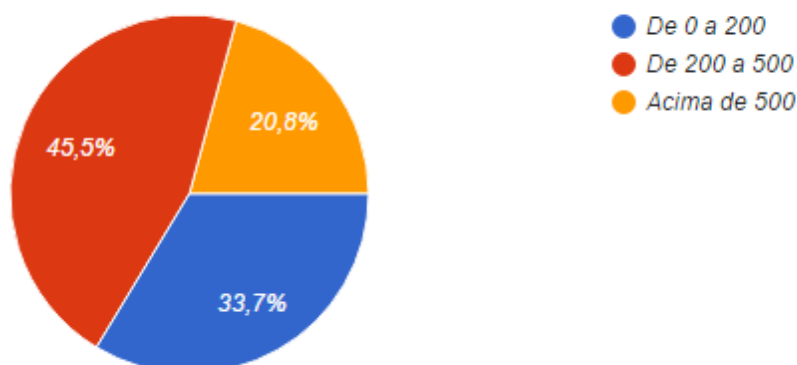


Figura 22 Gráfico possibilidade de valores

Fonte: Elaborada pelo autor

Quando indagados sobre a possibilidade de consulta prévia destes dados em um momento anterior a compra do terreno, verificou-se que mais de 90% dos entrevistados (92,2%) considerariam utilizar o sistema em um momento prévio a compra de determinado terreno, enquanto 5,9% não estariam interessados em usar tal serviço antes da compra do terreno, os demais entrevistados não souberam opinar (Figura 23).

Caso existisse a possibilidade, você consultaria o sistema antes da aquisição de um terreno para saber a disposição do solo que há em seu perímetro?

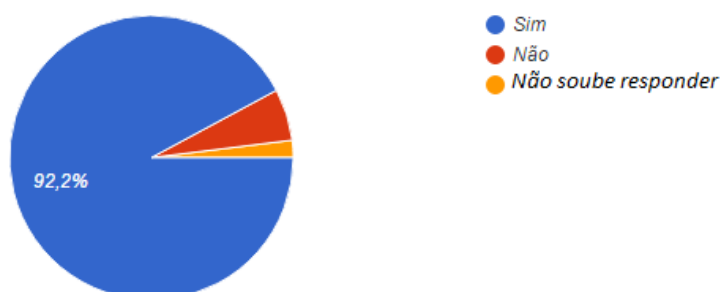


Figura 23 Gráfico Consulta do Sistema

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.2.4 Análise mercadológica

#### 3.2.4.1 Conceito

Trata-se de um aplicativo da plataforma web (inserido em um *website*) cuja função principal é o processamento de sondagem por meio de base de dados dinâmica alimentada pelos usuários. Ele contará com acesso a mapa portador de sondagens georeferenciadas dotadas com todas as características presentes na sondagem SPT, de modo a permitir além de conhecimento sobre os pormenores principais daquele ponto, uma interpolação de dados para formação de perfis e descrição de índices físicos do solo.

Esse aplicativo recebeu o nome de SOIL/SONDAGE<sub>n</sub>, por ser a junção de dois acrônimos, respectivos dos dois grandes módulos que o constituem. São eles:

- Software Operativo de Interpolação Local (SOIL):
  - o Software: Sequência de informações que serão seguidas ou executadas por um computador;
  - o Operativo: Devido as funções de operar as funções internas do programa;
  - o Interpolação: Método estatístico usado para descobrir informações;
  - o Local: As interpolações serão feitas usando as informações do entorno de um local.
- Sistema Organizacional de Navegação Dinâmica Aplicado a Geologia e Engenharia (SONDAGE<sub>n</sub>):
  - o Sistema: Conjunto de partes do programa, que unidas geram informações;
  - o Organizacional: Organiza as informações a serem executadas;
  - o Navegação: O sistema poderá ser navegado pelo usuário;
  - o Dinâmica: O sistema vai apresentando opções de uso conforme a navegação;
  - o Aplicado: Todo o sistema será aplicado na área da Geologia e Engenharia;
  - o Geologia: Estudo da Terra;
  - o Engenharia: É a aplicação dos conhecimentos para solução de problemas.

Dito isto de modo sucinto é possível dizer que o conceito Soil/Sondagen resume-se a junção de dois módulos principais de processamento e apresentação de dados, sendo o primeiro módulo aquele que realiza ações de interpolação dinâmica por meio de krigagem e splines em nível de servidor e o segundo, aquele

que executa a visualização, dinâmica dos dados de sondagem previamente cadastrados em banco de dados pelo usuário do sistema.

### **3.2.5 Conceitos prévios**

#### *3.2.5.1 Camadas, perfis e horizontes e corpo de solo*

No presente trabalho, faremos distinções entre camadas, perfis e horizontes de solo a fim de conceitua-los de maneira coesa para a confecção do aplicativo. Nele, utilizaremos nomenclatura própria a fim de satisfazer as necessidades produtivas e conceituas demandadas para a confecção de um software desta complexidade. Para tanto, dividiremos os corpos de solo em suas parcelas bidimensionais partindo das seguintes nomenclaturas:

##### **3.2.5.1.1 Camadas**

No presente trabalho, adotaremos camadas como as divisões básicas dos perfis de solo, divisões estas morfologicamente distintas entre si no que diz respeito a cor, granulometria, composição química, etc. Elas possuem distinções verticais e horizontais, como mostra a Figura 24:

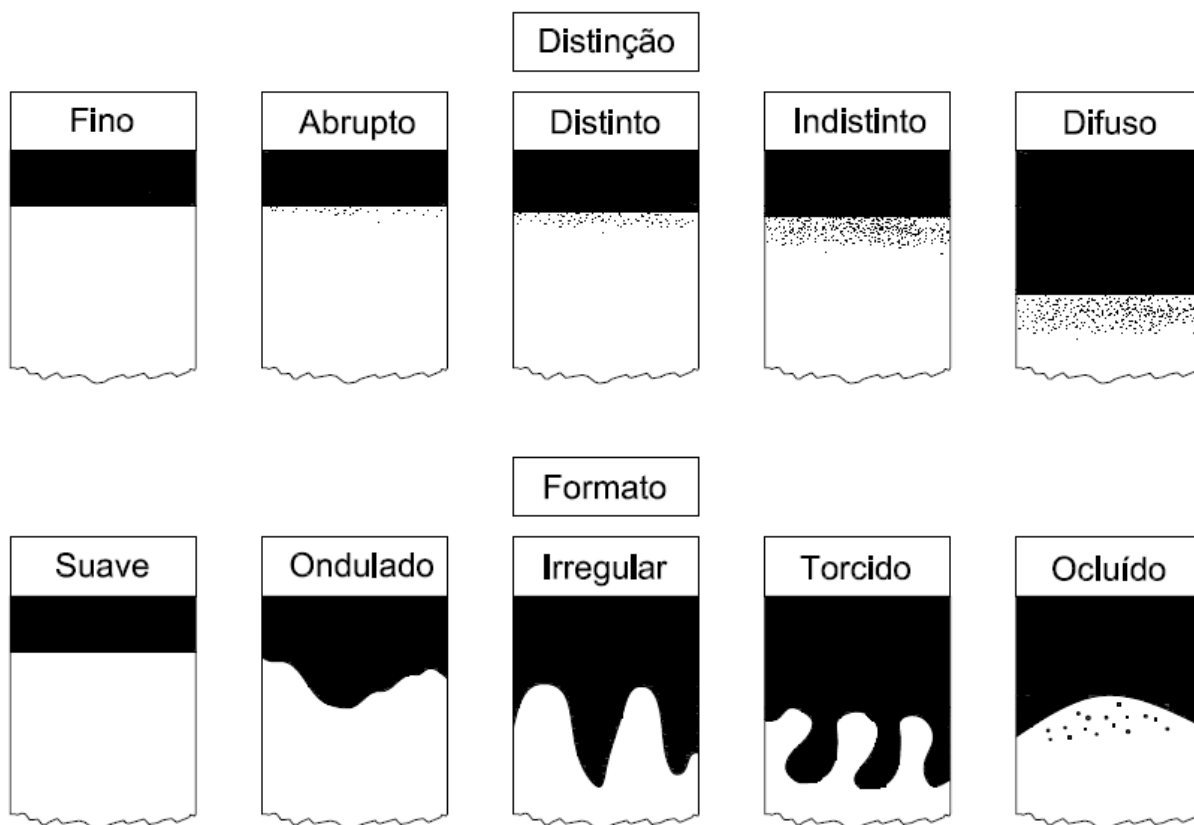


Figura 24 - Distinção e formato de camadas de solo

Fonte: Adaptado de [http://www.nzsoils.org.nz/Topic-Describing\\_Soils/How\\_To\\_Recognise\\_Soil\\_Horizons/](http://www.nzsoils.org.nz/Topic-Describing_Soils/How_To_Recognise_Soil_Horizons/)

### 3.2.5.1.2 Perfis

Conceitua-se perfil como o conjunto de camadas, dispostas verticalmente (normais relativas ao terreno).

### 3.2.5.1.3 Horizonte

Horizonte de solo é uma camada geralmente paralela à superfície da Terra, cujo as características físicas de diferem tanto das camadas superiores quanto das camadas inferiores. Cada tipo de solo normalmente possui mais de um horizonte (Figura 25). Eles são definidos na maioria dos casos por diferentes características físicas, principalmente nas cores, na textura, na estrutura e na consistência. Podendo ser descritos em termos absolutos (distribuição da textura pelo tamanho da partícula, por exemplo) e em termos relativos aos materiais do entorno (isto é, o material da camada superior ou inferior é mais argiloso ou arenoso que o dos

horizontes superiores e inferiores). A distinção entre os horizontes de solo é principalmente pelo resultado de influências externas como o ar, água, radiação solar e partes de plantas, originados na interface entre o solo e a atmosfera. Além disso, outra causa é o intemperismo do solo que inicia-se pela superfície afetando e mudando as camadas superiores, enquanto as camadas inferiores continuam o mais similar com o que eram originalmente.

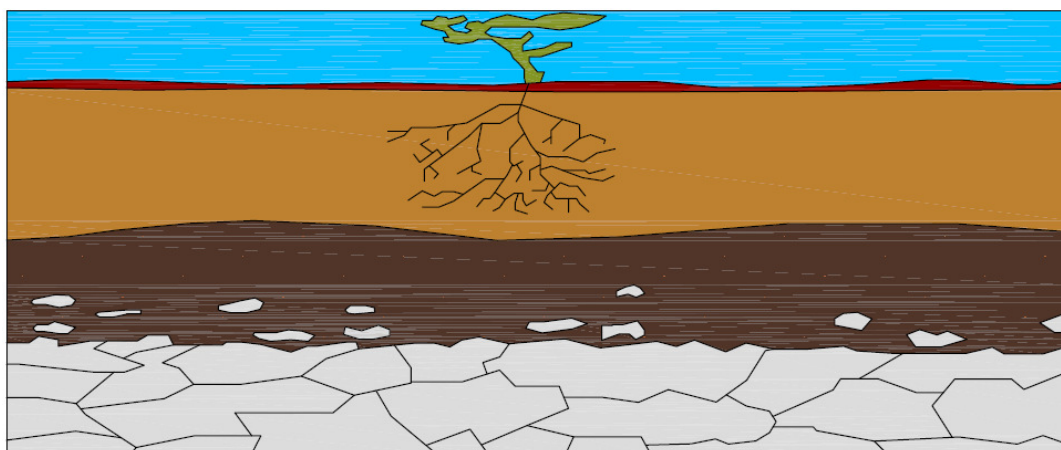


Figura 25 - Horizontes de solo

Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.2.6 Funcionamento

O website tem como foco o processamento de dados de sondagem gerando itens interpolados, tanto perfis e horizontes de solo como índices físicos. Para tanto, faz-se necessário melhor explicação sobre o funcionamento dos pormenores da aplicação *WEB*. Sendo assim e cumprindo os mais recentes modelos de desenvolvimento *WEB* o mesmo foi dividido em *Client Side* e *Server Side*.

#### 3.2.6.1 *Client side*

O chamado "*client side*" em determinada aplicação *WEB* diz respeito à área em que o usuário terá acesso, bem como aos códigos executados em tempo real pelo sistema. A principal tela do *client side* é a tela de navegação (Figura 26).



Figura 26 – Imagem ilustrativa da tela de navegação

Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.2.6.2 Tela de navegação

Tela por onde os usuários têm acesso ao mapa dinâmico ao qual se exibem as sondagens já cadastradas pelos demais usuários bem como dados relativos à sondagem e ao usuário que a cadastrou.

Para realizar tais atos, o seu funcionamento resume-se ao fluxograma (Figura 27) que segue:

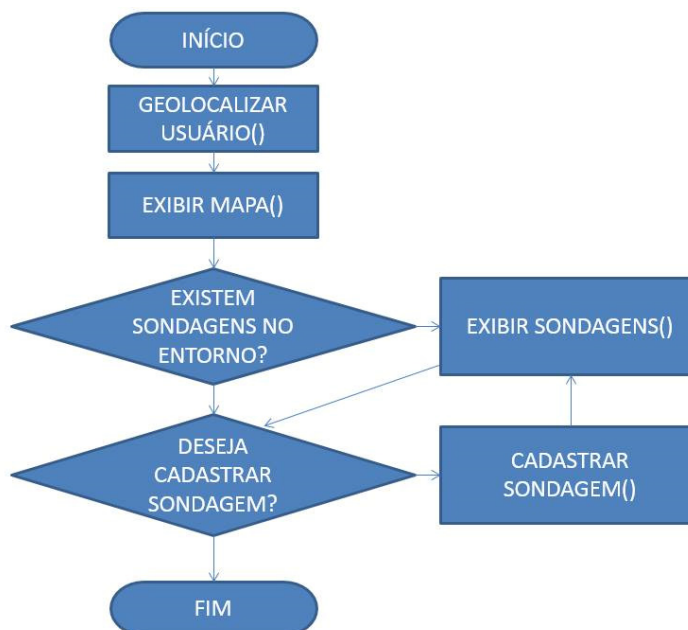


Figura 27 – Fluxograma da tela de navegação

Fonte: Elaborado pelo autor

Primeiramente inicia-se o sistema, ao fazê-lo o usuário é requisitado quando a sua geolocalização, caso aceito, o sistema geolocalizará o mesmo partindo de seu endereço de IP. Feito isto, será exibido o mapa das cercanias de onde o acesso foi feito e, caso existam sondagens no entorno, o sistema irá exibi-las (Figura 28).

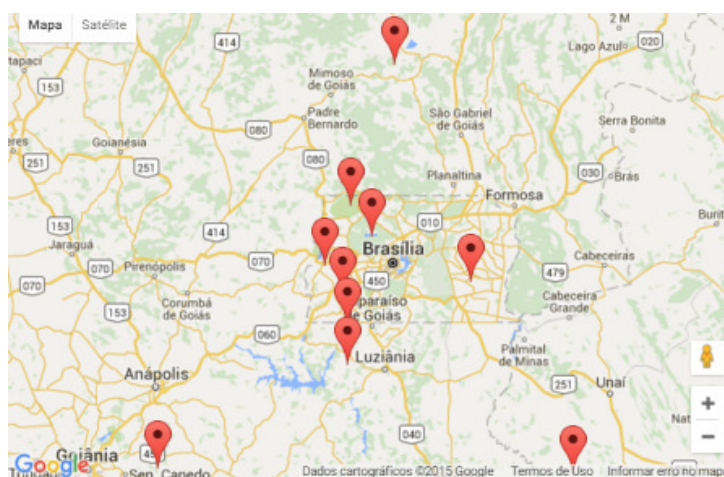


Figura 28 – Imagem ilustrativa do mapa, com sondagens a partir de uma posição de acesso

Fonte: Elaborada pelo autor

Por fim, o usuário será requisitado quanto o desejo de cadastrar (ou não) sondagens, caso aceite cadastrá-las, o mesmo será redirecionado para a tela de cadastro de sondagens.

### 3.2.6.3 Cadastro de sondagens

De suma importância, cabe ao cadastro de sondagens a adição de novos registros à base de dados do site, para tanto o usuário deve optar por cadastrar um novo perfil, e clicar no mapa ou digitar as coordenadas correspondentes à sondagem SPT. Feito isto, o usuário deverá fornecer os dados que concernem à sondagem, como a quantidade de camadas, solos das camadas, Nspt de cada camada, etc. O funcionamento do cadastro de sondagens procede de acordo com o fluxograma (Figura 29) que segue:

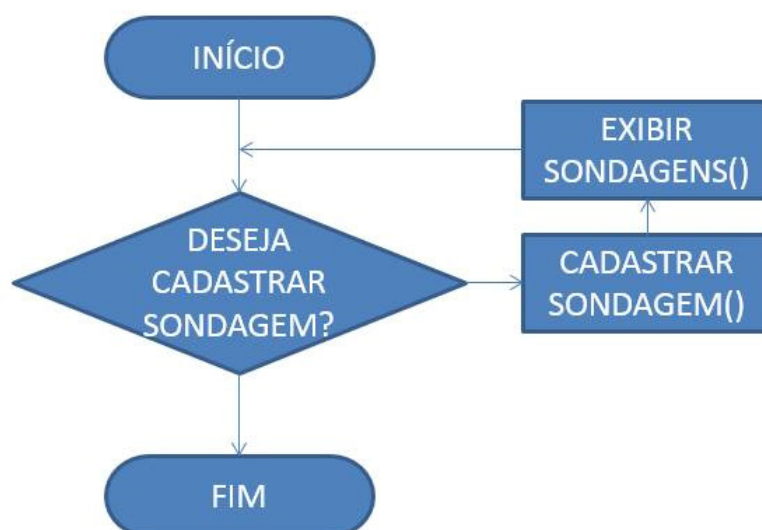


Figura 29 – Fluxograma de cadastro de sondagens

Fonte: Elaborado pelo autor

Primeiramente inicia-se tal rotina, ao fazê-lo o sistema requisitará o usuário sobre o cadastro de sondagens, caso o usuário aceite o sistema exibirá a tela para preenchimento de dados (Figura 30) e cadastrará a sondagem no server side e automaticamente atualizará o mapa a fim de mostrar o novo perfil adicionado. Ato contínuo, o sistema realizará novamente tal requisição até que o usuário mostre negativa.

Figura 30 – Imagem ilustrativa da tela de cadastro de sondagens

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 3.2.6.4 Interpolação simples entre pontos

Ao requisitar o tipo simplificado de interpolação, o usuário poderá vislumbrar o perfil interpolado por meio de *splines* entre cada camada de perfil real disposto no mapa. Seu funcionamento ocorre de acordo com o seguinte fluxograma (Figura 31):

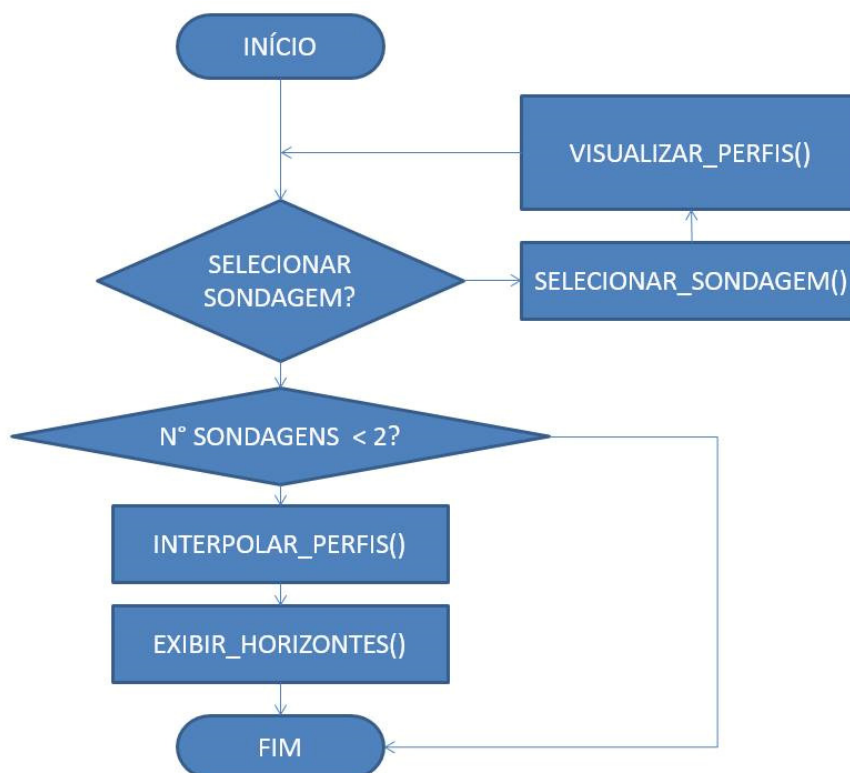


Figura 31 – Fluxograma de interpolação

Fonte: Elaborada pelo autor

Após o início do processo o sistema pergunta ao usuário se o mesmo deseja selecionar perfis, em caso positivo o sistema chama o método selecionar perfis, adicionando os dados da sondagem a uma matriz. Enquanto a resposta do usuário mostrar-se positiva, o sistema permite a seleção das amostras diretamente do mapa dinâmico (Figura 32).

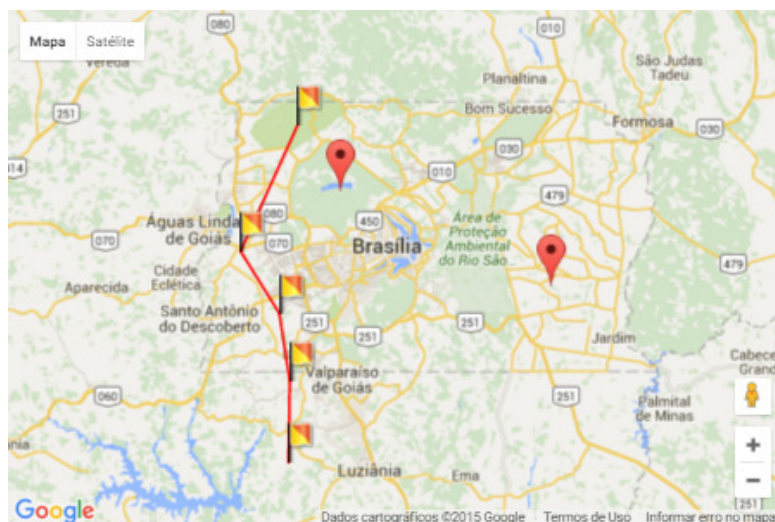


Figura 32 – Imagem ilustrativa de perfis selecionados para interpolação

Fonte: Elaborada pelo autor

Terminada a fase de seleção de sondagens, o sistema verifica se o número de sondagens é maior ou menor que a quantidade mínima para realizar a interpolação. Caso o número não seja suficiente, o sistema termina a rotina, do contrário ele chama o método do server *side* “Interpolar\_Perfis()” e exibe o resultado deste na tela com o método “Exibir\_Horizontes()”.

O resultado deste processo é o conjunto de perfis interpolados por *splines* (Figura 33), como se vê na imagem a seguir:

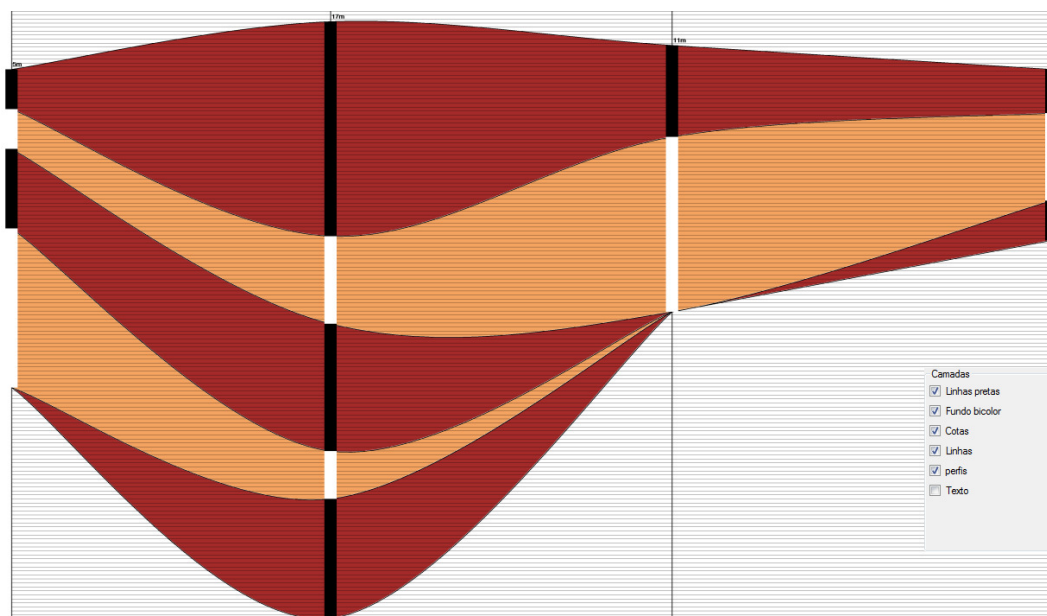


Figura 33 – Imagem ilustrativa de perfis interpolados

Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.2.6.5 Cadastro de usuários

O cadastro de usuários será segmentado em duas partes, cadastro para pessoas físicas e para pessoas jurídicas. No que compete ao cadastro de pessoas físicas, será feito através do site, onde será indispensável o fornecimento de dados pessoais do indivíduo, para que dessa forma ambas as partes transpareçam credibilidade. No que diz respeito ao cadastro jurídico, será necessário, além das informações da empresa, os dados pessoais do indivíduo que a estiver representando-a, para que assim possamos ter uma relação direta caso necessário.

O funcionamento da tela de cadastro procede como segue no seguinte fluxograma (Figura 34):

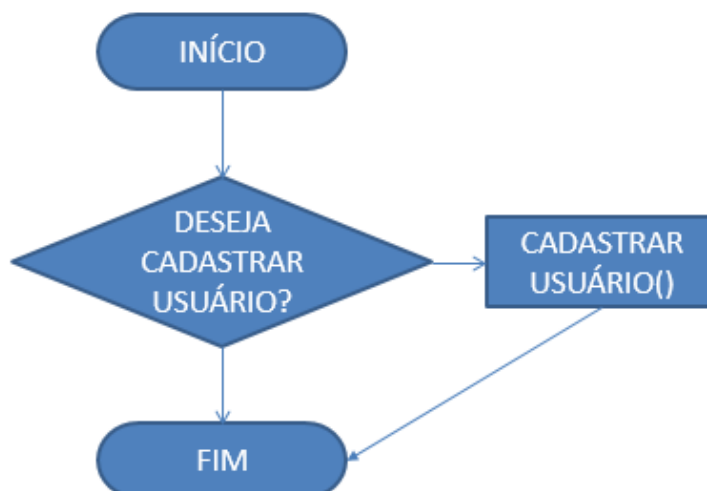


Figura 34 – Fluxograma de cadastro de usuários

Fonte: Elaborada pelo autor

Primeiramente o usuário requisita esta rotina, ao fazê-lo o mesmo será redirecionado para a tela de cadastro de usuários (Figura 35), preenchendo todos os campos necessários, o sistema enviará a requisição de cadastro para o server side, se lograr êxito o usuário será cadastrado no banco de dados do sistema.

Nome:	<input type="text"/>
Sobrenome:	<input type="text"/>
E-mail:	<input type="text"/>
Confirmar E-mail:	<input type="text"/>
Senha:	<input type="text"/>
Confirmar Senha:	<input type="text"/>
Sexo:	<input type="text"/>
CPF:	<input type="text"/>
RG:	<input type="text"/>
CREA:	<input type="text"/>
<input type="button" value="Cadastrar"/>	

Figura 35 – Imagem ilustrativa da tela de cadastro de usuários

Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.2.6.6 Server side

O chamado *server side* diz respeito a toda programação e rotinas que estão protegidas e serão processadas no lado do servidor. Nele (de modo geral) estão dispostas as rotinas de maior complexidade ou que demandam maior segurança. Qualquer cadastro em banco de dados demanda alto cuidado e segurança devido a grande vulnerabilidade que qualquer ato malicioso pode ter sobre todo o sistema, pensando nisso, todas as requisições de cadastro e cadastros foram alocadas no lado do servidor do presente sistema.

### 3.2.6.7 Cadastrar sondagem

Ao requisitar o cadastro de perfis, o usuário sem saber chama o método “CADASTRAR SONDAgens()” que funciona como no fluxograma a seguir (Figura 36):

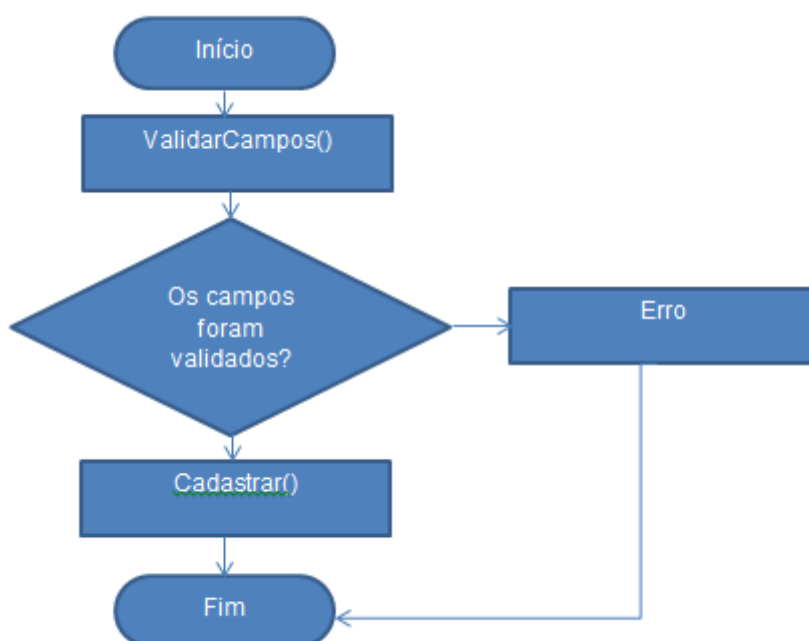


Figura 36 – Fluxograma de cadastro de sondagens

Fonte: Elaborada pelo autor

Quando iniciado, a primeira coisa que este método faz é verificar se os dados são consoantes com o que o banco de dados pode aceitar, se forem insuficientes o método não permite o cadastro no banco de dados, aumentando a segurança do sistema como um todo e exibindo como resposta ao usuário determinada mensagem de erro. Do contrário, o sistema cadastrará ao banco de dados o dado recém

requisitado pelo usuário e exibirá como saída uma mensagem comprovando o sucesso no ato de cadastrar.

### 3.2.6.8 Exibir perfis

Ao clicar em determinado item disposto na tela de navegação, o sistema requisita ao servidor a ação do método `ExibirPerfis()`, tal método funciona como mostrado no fluxograma a seguir (Figura 37):

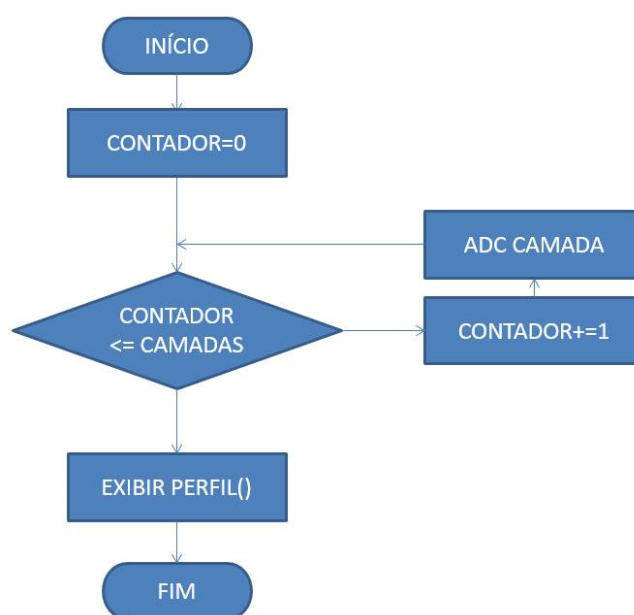


Figura 37 – Fluxograma de exibição de perfis

Fonte: Elaborada pelo autor

Ao iniciar o sistema uma variável de controle denominada “contador” é declarada e igualada a zero. Enquanto a variável contador for menor ou igual ao número de camadas da sondagem recebida, o sistema chamará o método “ADCCAMADA()” e adicionará camadas com os parâmetros pré-estabelecidos. Por fim o sistema exibirá perfis parecidos com a Figura 38.

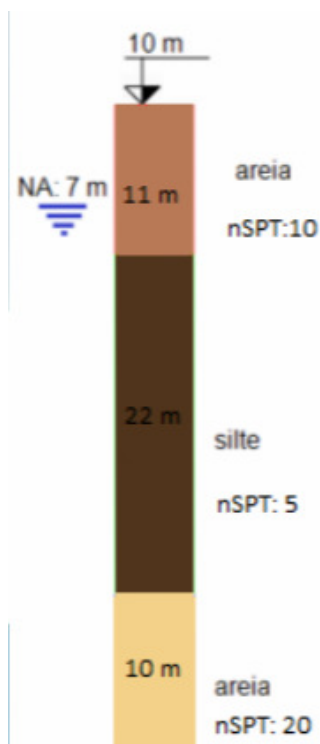


Figura 38 – Imagem ilustrativa de um perfil de sondagem SPT

Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.2.6.9 Exibir mapa de isoípsas

Ao solicitar pela exibição do mapa de isoípsas o usuário está requisitando pela interpolação dos dados considerando todo o entorno. Neste caso, como foi visto anteriormente, opta-se pela krigagem devido sua confiabilidade e capacidade inerente de apresentar seu grau de precisão, seu funcionamento ocorre conforme a Figura 39.

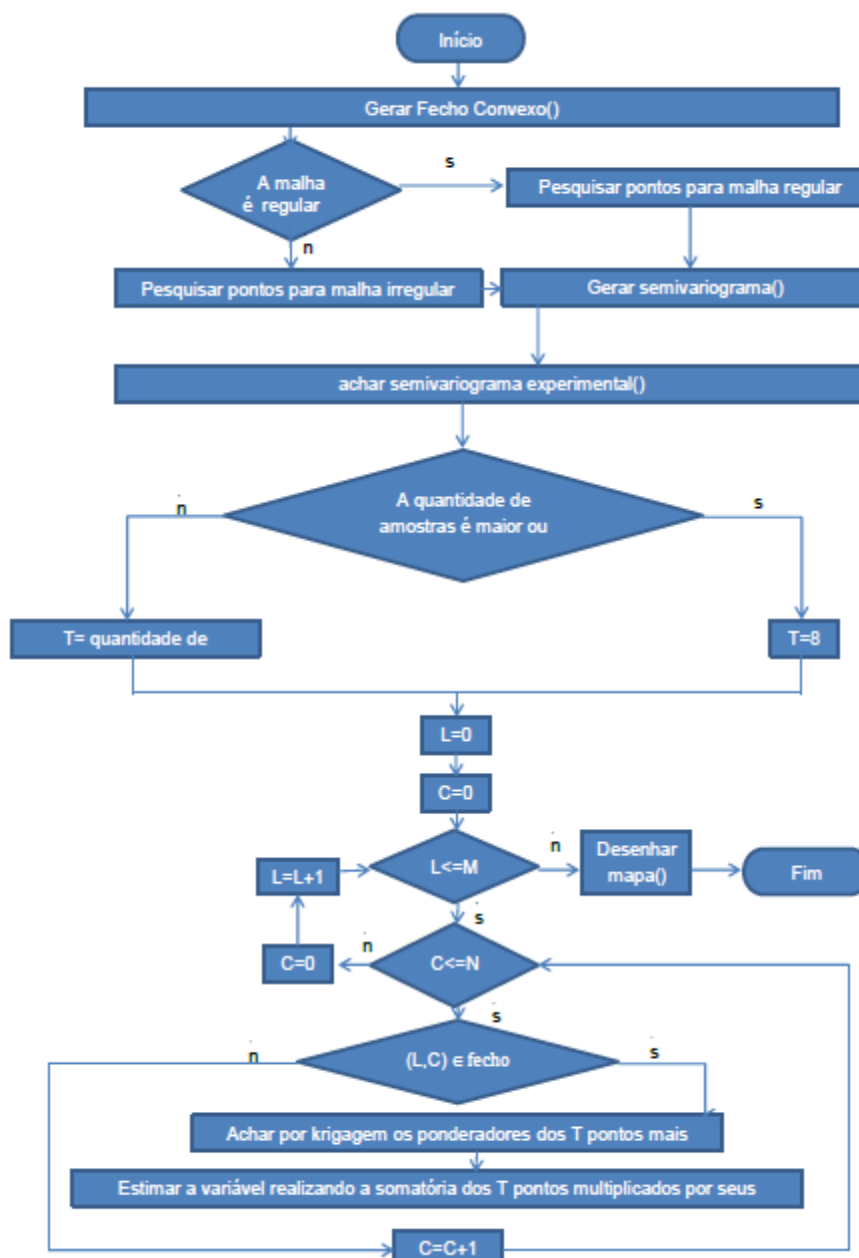


Figura 39 – Fluxograma de krigagem

Fonte: Elaborada pelo autor

Primeiramente o usuário requisita tal interpolação, ao fazê-lo o sistema elaborará automaticamente seu fecho convexo a fim de evitar extrapolações e estimativas desnecessárias. Ato contínuo o sistema verificará se a malha de pontos amostrais é regular ou não, se o for o software fará a pesquisa de dados para a elaboração do semivariograma para malhas regulares, do contrário o fará para malhas irregulares. Feito isto, gera-se o semivariograma (Figura 40) unicamente com os pontos com o objetivo de ver a função que possui o melhor ajuste com os pontos

dispersos, o sistema fará o ajuste e verificará qual a melhor função automaticamente.

Ajuste feito, o sistema irá verificar se a quantidade total de amostras é maior que oito, caso for a quantidade total de amostras próximas do ponto a ser estimado será oito, do contrário será a quantidade total de amostras disponíveis. Ato contínuo, para cada ponto a ser estimado, o software verificará se o mesmo está dentro ou fora do fecho convexo. Caso esteja fora o sistema verificará o próximo ponto, caso esteja dentro o sistema montará o sistema de equações da krigagem a fim de encontrar os ponderadores de cada um dos pontos próximos ao ponto a ser estimado. Definidos os ponderadores, multiplica-se cada um dos pontos próximos por seus ponderadores e obtém-se o valor do ponto a ser estimado. Repete-se o processo até que toda a malha desejada tenha sido estimada.

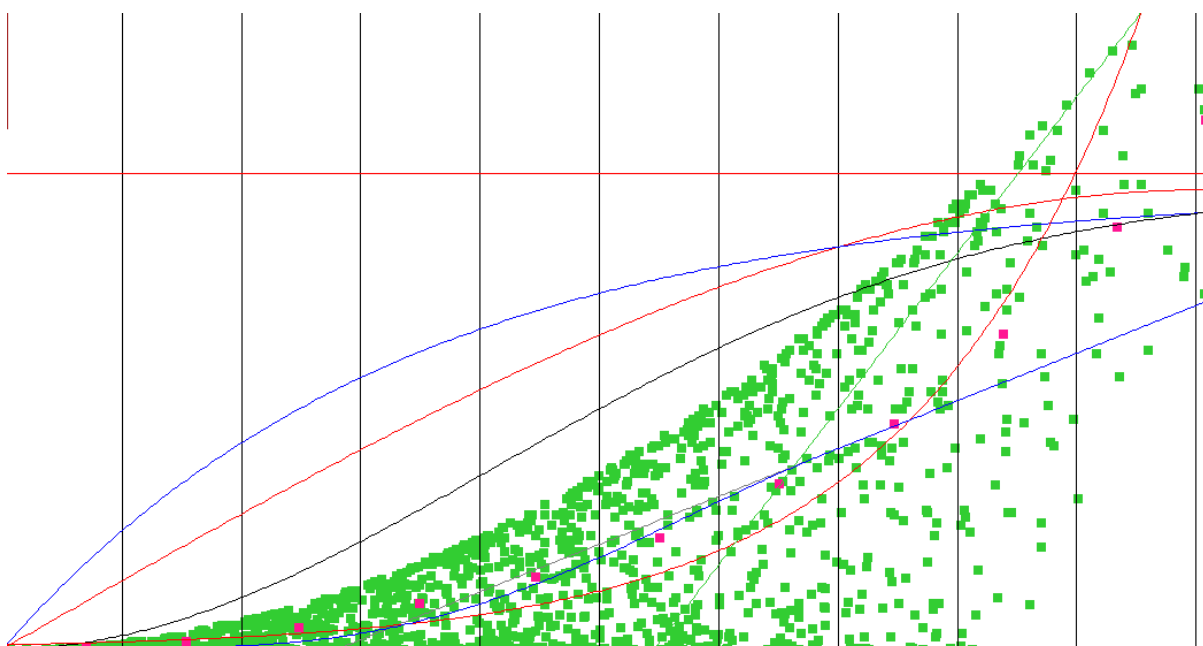


Figura 40 – Semivariograma com semivariograma experimentais

Fonte: Elaborada pelo autor

### 3.2.7 Análise SWOT

Segundo André; Cardoso (2010) “uma análise *SWOT* consiste na identificação de pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças (do inglês, *strengths, weaknesses, opportunities and threats*)”, dito isto identificamos tal análise como

elemento de suma importância para a análise dos pontos fracos e fortes, oportunidades e ameaças.

Após a observação das principais características do sistema, desde sua confecção à sua exploração mercadológica foi possível traçar a seguinte análise, com a instrumento Análise SWOT (Figura 41), que é a ferramenta utilizada para analisar os aspectos importantes de viabilidade do programa. Sendo esta análise dotada de quatro fatores, que são S – *Strengths* (pontos fortes), W – *Weaknesses* (pontos fracos), O – *Opportunities* (oportunidades) e T – *Threats* (ameaças). Dentre cada fator, foi escolhido os três pontos principais:

- S – *Strengths* (pontos fortes): Vantagem tecnológica, conhecimento do setor por parte dos desenvolvedores e equipe coesa;
- W – *Weaknesses* (pontos fracos): Equipe reduzida, escassez de recursos e dificuldade de implementação;
- O – *Opportunities* (oportunidades): Mercado de nicho, ausência de serviços similares e alto custo das sondagens SPT;
- T – *Threats* (ameaças): Não aceitação, dificuldade na obtenção dos dados de sondagens SPT e instabilidade virtual.

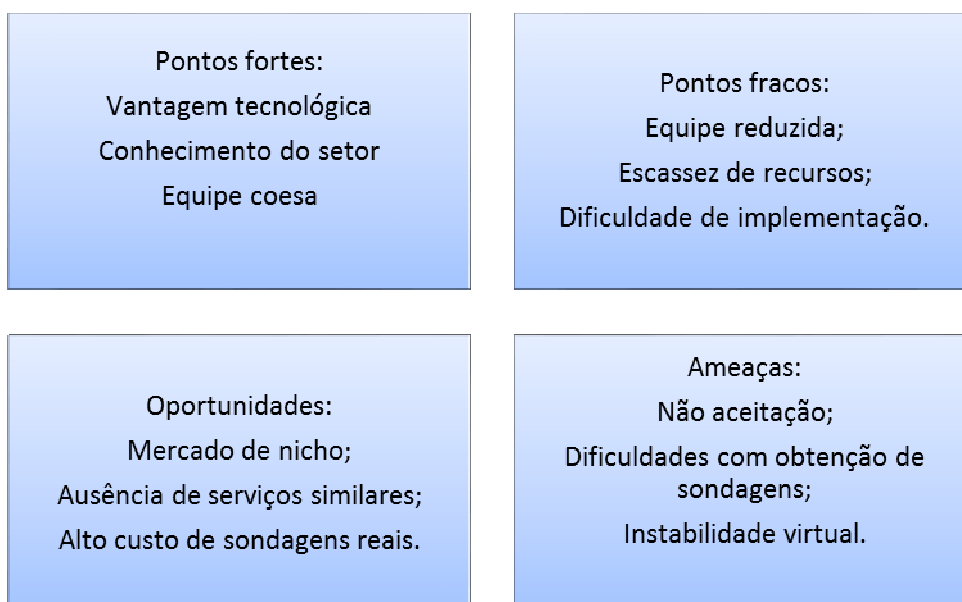


Figura 41 - Análise SWOT

Fonte: Elaborada pelo autor

#### 4. CONCLUSÃO

Com as informações explanadas nesse trabalho de conclusão de curso, foi comprovado que é possível criar um aplicativo que registre e gere perfis geológicos e curvas de níveis a partir de dados de sondagens SPT. Também foi provado que através da prefeitura de Santos, trabalhos acadêmicos e algumas empresas, é viável a obtenção de sondagens SPT para a criação de um banco de dados.

Observa-se ainda que a solução para um banco de dados que possa ser atualizado tanto pelos usuários, quanto pelos desenvolvedores foi a criação de um website onde ambos poderiam registrá-las.

Para interpolar perfis geológicos SPT considerando todo o entorno e garantir a fidelidade de informação proveniente da interpolação foi utilizado o método da Krigagem, que fornece os dados probabilísticos em conjunto com a taxa de erro de acordo com a variação da distância dos pontos usados.

Conclui-se então que é viável e de grande valia a utilização de um sistema como o SOIL/SONDAGE para um maior conhecimento urbanístico da região de Santos e futuramente outras. Podendo também ser usado tanto de forma social quanto para geração de renda.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRÉ, Mónica; CARDOSO, Margarida. **Blog SWOT organizacional**. Revista PRISMA. COM, n. 3, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6484**: Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8036**: Programação de sondagens de simples reconhecimento dos solos para fundações de edifícios. Rio de Janeiro, 1983.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto, e restauração**. Oficina de Textos, 2015.

BOTELHO DA COSTA, Joaquim. **Caracterização e constituição do solo**. Editora Fundação Calouste Gulbenkian, v. 4, 1985.

BOTELHO, et al., **Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com a carta de Munsell e por colorimetria**. Disponível em: [<http://www.scielo.br/pdf/%0D/cr/v36n4/a21v36n4.pdf>] Acessado em 25/03/2016 às 15:00 hs.

BRADY, Nyle C. Natureza e propriedades dos solos. In: **Natureza e propriedades dos solos**. Freitas Bastos, 1983

BRANCO. **Os solos**. Disponível em: [<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Os-Solos-2620.html>]. Acessado em: 20/04/2016 às 18:00 hs.

CAMPOS, I.M. Tipos de solo e investigação do subsolo: entenda o ensaio a percussão e seu famoso índice SPT. Disponível em:

[<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=126>] Acessado em: 27/04/2016 às 14:00 hs.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações. In: **Mecânica dos solos e suas aplicações**. LTC, 1973.

CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira; CINCOTTO, Maria Alba; JOHN, Vanderley Moacyr. A massa unitária da areia como parâmetro de análise das características de argamassa. **Ambiente Construído**, v. 1, n. 2, p. 37-44, 1997.

CIVIS, A. A. D. E. et al. Manual do engenheiro. 5 ed. Porto Alegre: Globo, 1975. 6-12 p.

CHIOSSI, Nivaldo José. **Geologia de engenharia**. Oficina de Textos, 2013.

COSTA, J. B. **Caracterização e Constituição do Solo: 7ª edição**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.

DICIONÁRIO MICHAELIS. **Solo**. Disponível em: [<http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php?lingua=portugues-portugues&palavra=solo>] Acessado dia 13/04/2016 às 15:00 h.

FERNANDES. **5 de dezembro, dia mundial do solo: um recurso natural importante para a vida**. Disponível em: [<http://abaetetuba.ifpa.edu.br/ultimas-noticias/283-5-de-dezembro-dia-mundial-do-solo-um-recurso-natural-importante-para-a-vida>] – Acessado dia -04/04/2016 às 22:00h.

FSP. **Granulometria**. Disponível em: [<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/03/granulometria.pdf>] Acessado em: 10/04/2016 às 22:00 hs.

GURGEL. **Origem e formação dos solos**. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/johngurgel/disciplinas/2.2051.1v-mecanica-dos-solos-1/apostila%20de%20solos.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2016

HSU, Henry Wei Cheng; SOMA, Nei Yoshiriro. **ALGORITMOS DE OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA**. In: Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XIII ENCITA, 1., 2007, São José dos Campos. Anais do Anais do 13º Encontro, São José dos Campos: ITA, 2007. p. 2.

IGCE. **Apostila básica**. Disponível em:  
[<http://igce.rc.unesp.br/Home/Departamentos47/geologiaaplicada/apostila-basica.pdf>

ISAAKS, E.H.; Srivastava, R.M. **Introduction to applied geostatistics**. Oxford University Press, New York, 561 p, 1989.

JOURNEL, A.G.; Huijbregts C.J. **Mining Geostatistics**. London: Academic Press. 600p. 1978.

LANDIM, Paulo M. Barbosa. **Sobre Geoestatística e mapas**. Terræ Didática, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.

LARKIN, Brett J. **An ansi C routine to determine if a point is within a specified convex polygon in logarithmic time**. Computers & Geosciences, v. 17, n. 6, p. 841-847, 1991.

LIMA, Maria da Guia. **A história do intemperismo na Província Borborema Oriental, Nordeste do Brasil: implicações paleoclimáticas e tectônicas**. 2008. 594 f. Tese (Doutorado em Geodinâmica; Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008

MANZANO, José Augusto NG; DE OLIVEIRA, Jayr Figueiredo. **Algoritmos: lógica para desenvolvimento de programação de computadores**. Ed. Érica, 2000.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia científica**. Atlas, 1992.

MATHERON G. **Traité de Géostatistique Appliquée, Tome I: Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières.** Paris: Editions Technip, vol. 14, 1962.

MARANGON.

**Capacidade de carga dos solos.** Disponível em: [http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/09-MS-Unidade-07-Capacidade-de-Carga-2013.pdf] Acesso em 15/03/2016 às 23:00hs.

**Parâmetros do solo para cálculo.** Disponível em: [http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/GF03-Par%C3%A2metros-dos-Solos-para-C%C3%A1lculo-de-Funda%C3%A7%C3%B5es.pdf] Acesso em: 18/03/2016 às 12:00 hs.

NZ SOILS. **How to recognize soil horizons.** Disponível em: [http://www.nzsoils.org.nz/Topic-Describing\_Soils/How\_To\_Recognise\_Soil\_Horizons/] Acesso em: 13/04/2016 às 22:00hs.

OLEA, Ricardo A. **A six-step practical approach to semivariogram modeling.** Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, v. 20, n. 5, p. 307-318, 2006.

PASTORE, Eraldo Luporini; FONTES, Rita Moura. **Caracterização e Classificação de Solos.** [2008]. Disponível em: http://sites.google.com/site/en3101rg/Home/CaracterizacaoeClassificadosdeSolos.pdf. Acesso em: 19 set. 2015.

PEDOLOGIA FÁCIL. **A tabela de cores Munsell e o manejo de solos** Disponível em: [http://www.pedologiafacil.com.br/enquetes/enq43.php] Acesso em: 10/02/2016 às 15:00hs.

PETRUCCI, E. et al. **Manual do engenheiro.** Porto Alegre: Globo, 1968.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico.** Cortez editora, 2007.

SCHNAID, Fernando; ODEBRECHT, Edgar. **Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações: 2ª edição**. Oficina de Textos, 2012.

SCHNAID, F. **Ensaio de Campo e suas aplicações na engenharia de fundações**. São Paulo: Oficina dos Textos, 200. 189p.

SODRÉ, Fernando Fabríz. **Química de Solos: Uma introdução**.

SUGUIO, Kenitiro. **Introdução à sedimentologia**. Editora E. Blücher, 1973.

TERZAGHI, Karl; PECK, Ralph B.; MESRI, Gholamreza. **Soil mechanics in engineering practice**. John Wiley & Sons, 1996

TOBLER, Waldo R. **A computer movie simulating urban growth in the Detroit region**. Economic geography, v. 46, p. 234-240, 1970.

UFRN. **Interpolação**. Disponível em:

[<http://www.dca.ufrn.br/~meneghet/ftp/mcec/transp05.pdf>]. Acesso em: 18 mai. 2016.

USDA. **The color of soil**. Disponível em:

[[http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2\\_054286](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2_054286)]  
Acesso em: 12/03/2016 às 15:00hs.

VIEIRA, Thales. **Interpolação**. Disponível em:  
[<http://www.im.ufal.br/professor/thales/icg/Aula1.2.pdf>] Acesso em: 15/03/2016 às 22:00 hs.

YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LANDIM, Paulo M. Barbosa. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. Oficina de Textos, 2015.

## APÊNDICE A – E-mails trocados com pesquisadores da área de Geoestatística

----- Forwarded message -----

From: Stacy Bogan via RT <[contact@help.cga.harvard.edu](mailto:contact@help.cga.harvard.edu)>

Date: 2015-09-03 10:42 GMT-03:00

Subject: RE: [[hmdc.harvard.edu](http://hmdc.harvard.edu) #226555] [kelvyn.valle@gmail.com](mailto:kelvyn.valle@gmail.com): Geostatistics to queue CGA

To: [kelvyn.valle@gmail.com](mailto:kelvyn.valle@gmail.com)

<See all of this ticket: <https://help.hmdc.harvard.edu/Ticket/Display.html?id=226555> >

Hi Kelvyn,

Can you send me the link of the presentations you accessed? That way I will know better what you are trying to do.

Best,

Stacy Bogan  
Center for Geographic Analysis, Harvard University  
K00A, Knafel Building  
1737 Cambridge St  
Cambridge, MA 02138  
617-496-6373  
[sbogan@cga.harvard.edu](mailto:sbogan@cga.harvard.edu)

Fri Sep 04 15:50:15 2015: Request 226555 was acted upon.

Transaction: Correspondence added by [kelvyn.valle@gmail.com](mailto:kelvyn.valle@gmail.com)

Queue: CGA

Subject: Re: [[hmdc.harvard.edu](http://hmdc.harvard.edu) #226555] [kelvyn.valle@gmail.com](mailto:kelvyn.valle@gmail.com): Geostatistics to queue CGA

Owner: sbogan

Requestors: [kelvyn.valle@gmail.com](mailto:kelvyn.valle@gmail.com)

Status: open

Ticket <URL: <https://help.hmdc.harvard.edu/Ticket/Display.html?id=226555> >

-----  
Sorry for the delay, the region where I live rain a lot and I stay all these days without internet access because of this... I'm studying the Santos coast soils layers (atlantic rainforest coast) to do a tool (software) that makes the geological profile using a large SPT probes database that I have. The actual way to do this that the engineers of my region are using is makes the simple interpolation of the soils layers (joining the similar points of two SPT probes to do a low precision profile of the terrain), this method comes a lot of problems because consider only the cut line between two points, ignoring the surroundings probe points. Is because of that situation that I am developing a tool that consider all the next points of the terrain to be analysed, and I think that the kriging method is the best way of to do that. The problem is: I don't know how to do the variogram for an irregular mesh of probes... I need to know how to do that "on hand" to develop the algorithm that makes the experimental variogram for the software... All the rest of the kriging matrix process I programmed, but I "balked" at the part of the variogram for irregular mesh (in part for not find practical exercises about the this)... I used a lot of the Harvard files about the theme to guide my research, and I know that the Center for Geographic Analysis of the Harvard University is one of the better places in the world to solve my doubts... Do you have some exercises (or any books to recommend) about the theme (variogram for irregular mesh of probes)?

Here is some of the various presentations/archives that I accessed:

<http://sites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic207801.files/Stat225Geostat17.pdf>

<http://www.gis.harvard.edu/publications/application-geostatistics-and-gis-techniques-hydrology-and-soil-sciences>

<http://adsabs.harvard.edu/abs/2014AGUFM.H43K1121C>

Thanks a lot for listening me and for all the help!

I am waiting for your answer

Sorry for any mistakes in my English

Kelvyn Valle

---

Hi Kelvyn,

Sorry for my delay as well. The beginning a new semester is very busy. I hope you are doing okay with the rainy season! I spent some time in the Atlantic Rainforest as a graduate student, and I love the area very much. But I was there during the dry season, so I didn't experience the rain.

Your research sounds great (and don't worry, your English is great too!). Unfortunately, we don't have any geostatistics specialists on staff here at the CGA. But, in looking at the presentations you accessed, I can try to direct you a bit as to who to contact.

Rima Izem was a professor here, but now she works somewhere else:

<https://www.linkedin.com/pub/rima-izem/77/a68/2a8>

Silvio Simões was a visiting scholar with us a while back.

[http://www.researchgate.net/profile/Silvio\\_Simes](http://www.researchgate.net/profile/Silvio_Simes)

I don't think any of the people in the final article are connected to Harvard. But, I would recommend contacting them directly about their research.

You can also reach out to one of our current visiting scholars, Josh Lieberman:

<http://gis.harvard.edu/people/josh-lieberman>

I hope this helps.

Bom Dia!

Stacy

otherwise pronounced Estacy in Brasil :)

Dear Kelvyn,

I haven't done spatial statistics in quite some time, so my skills are quite rusty and I am no longer at Harvard, so maybe someone who is still there could help you out.

Kriging is used often anytime one is interested in predicting a continuous variable spatially, so I think it would work for your variable (size of soil layers). The variogram is a univariate function of distance, so it can be fit over any mesh. All you need is a set of point (x,y) for coordinates and z for value of your function and a way to measure distance.

For doing kriging, do you know the statistical software R? It is a freeware and there is a library "spatial" that can help you out. I found some notes from a UCLA professor with a sample R code

[http://scc.stat.ucla.edu/page\\_attachments/0000/0094/spatial\\_R\\_1\\_09S.pdf](http://scc.stat.ucla.edu/page_attachments/0000/0094/spatial_R_1_09S.pdf)

Hope this helps, good luck!

Best,

Rima

---

From: Donald Myers <[myers@math.arizona.edu](mailto:myers@math.arizona.edu)>

Date: 2015-09-01 20:28 GMT-03:00

Subject: Addendum

To: Kelvyn vinicius <[kelvyn.valle@gmail.com](mailto:kelvyn.valle@gmail.com)>

Does the soil/rock type change over the region you are interested in? If you have any information about that you might want to overlay a map of that on top of the probe locations plot. It can be tempting to just do the geostatistics but you need to use all your other knowledge to help understand the results you get from the geostatistics.

Some years ago I spent a week at the university in Sao Paulo giving lectures on geostatistics, I was invited by a member of the geology faculty there so you would find at least some people there that know about geostatistics..

Donald Myers

On 9/1/2015 3:24 PM, Kelvyn vinicius wrote:

Hi! My name is Kelvyn Valle, I am a Brazilian civil engineering student. I'm developing a tool that makes the geological profile using the SPT (*standard penetration test*) data from my region. I accessed your page about geostatistics from the Arizona University website and I like very much, the text is very interesting. Reading about the theme in articles written by my compatriots I have solved many of my doubts, but remain some gaps on that material... Can you help me?

How can I do the variogram from an irregular mesh of probes? Do you have some material about the theme to recommend (or send) to me? Is possible to use the kriging to do the interpolation of SPT data?

Sorry for my bad English, I am self-taught

Thank you, I am waiting for your answer

Kelvyn Valle

On 9/1/2015 3:24 PM, Kelvyn vinicius wrote:

Hi! My name is Kelvyn Valle, I am a Brazilian civil engineering student. I'm developing a tool that makes the geological profile using the SPT (*standard penetration test*) data from my region.

I would guess that my experience that is closest to your application is some work I did with a student and a faculty member in civil engineering back in the late 1980's that pertained to the sudden collapse of soils (a problem that occurs in the desert where I live). If you look at the link "papers" on my homepage, you will find several papers on that application. M.Ali, Nowatzki and Myers

You should also find a book titled "Mining Geostatistics" by A. Journel and Ch. Huijbregts useful. This is not a recent book but it has a lot of examples and applications (mostly from mining, petroleum and hydrology). There is a paperback version available, check on Amazon.com.

There are two general steps in estimating/modeling a variogram. The first step is computing an experimental (also called a "sample variogram" or an "empirical variogram". For that you need software and there are a number of free software packages available. One of the easiest to use is called "Geo-EAS", it was produced by the US EPA, you can find it and download it from their website, just do a search on Google for "Geo-EAS".

I have a tutorial article that uses this software, 1991, Myers, D.E. [Interpolation and Estimation with Spatially Located Data](#) *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 11, 209-228. You can download the article from my homepage

If you want a more sophisticated software package do a search for "gstat" which is an R package (do a search on Google for "R project"). You can download binaries for Windows, Mac, Unix, Linux for free, if you want you can also download the source code and it comes with documentation and tutorial materials

The second step is choosing one of the variogram models that are available in the software together with the parameter values for the variogram model

I accessed your page about geostatistics from the Arizona University website and I like very much, the text is very interesting. Reading about the theme in articles written by my compatriots I have solved many of my doubts, but remain some gaps on that material... Can you help me?

How can I do the variogram from an irregular mesh of probes?

You don't need a regular mesh but generally you want to interpolate the data onto a regular mesh (that is the way the software is usually written)

Do you have some material about the theme to recommend (or send) to me?  
Is possible to use the kriging to do the interpolation of SPT data?

Are the probe locations in 2 or 3 dimensional space? Geo-EAS only works in 2-D but gstat will work in 3-D.

If by chance you have access to ARCGIS (which is commercial and not cheap) there is an add-on for geostatistics.

If you have not already done it, I would suggest doing various exploratory statistics first (histogram of the data values, a plot of the data locations (each coded with the associated data values), fit a trend surface to the data.

Finally since I am not very familiar with SPT data, what is the "support" of the data? Does each data value represent a value at a point or is it an average over an area or volume? Look for the discussion of "regularization" in Mining Geostatistics, e.g. ore samples are typically cores, about 12 inches in diameter and 6 to 10 feet long. The assays are an average concentration for a volume. In contrast, in an open pit mine they extract "blocks" that are perhaps 40 feet high and 100 feet front to back and across the front which is the origin of the term "block kriging". Also do the probes have any measure error variability?

Does this help any?

Donald Myers

Thanks a lot, Mr. Myers! I read the pages that you recommend, they have a several number of links for softwares and other works in the geostatistics area. I've downloaded the Geo-EAS software and I am learning how to use it right now, thanks a lot again.

Come the questions:

You don't need a regular mesh but generally you want to interpolate the data onto a regular mesh (that is the way the software is usually written)

Well, I know that I don't need a regular mesh, but I don't know how to proceed when only I have a lot of irregular points on space... I read in several forums that if I have a situation like this I need to use a direction vector with an azimuth angle, subdivide it in lags and use points distant  $\Delta H$  each other... But I don't understand how can I apply this (maybe because I don't see any practical example of a situation like this)

I am developing an algorithm that do the kriging (and the variograms). I've programmed the kriging (matrix) process, but I "balked" on the irregular mesh variograms... Would exist some way that to do that "on paper" (without using of softwares)? I need to learn how to do it "on hand" to develop the algorithm that do it with programming logic.

Are the probe locations in 2 or 3 dimensional space? Geo-EAS only works in 2-D but gstat will work in 3-D.

In 2 dimensional space, the data that one SPT probe give to us is:

1<sup>º</sup> The layers of the soil (color, height, soil type)

2<sup>º</sup> The number of hits that the probe need to down in the soil layer

I have about of 1000 SPT probes database, each one with approximately 165 feet and the majority with 3 soil layers. Typically they have disposed in pairs (or more) on the property that will be studied. In present method, the engineers makes "simple interpolation" between the SPT probes, basically joining the layers provided by the SPT (giving a profile with very low precision, because this method considers only the two (or more) points nailed on terrain, ignoring the surroundings). Like the example below, the interpolation seeks "cutting" the terrain (red line), making a profile considering only the data of interpolation between these two points (blue squares represent places where SPT probe is nailed in, red line represent the cut line that will interpolate the profile):

Joining these two points, we have the geological profile of the terrain, ignoring all the data present at the surroundings:

But, considering the surroundings we can make a better (and with high level of precision) geological profile, considering all of the closest points of probe, eventually making contour line (isolines) of the soil layers (and use then to do a better geological profile) or a 3D model of the probably soil layers of the terrain...

Finally since I am not very familiar with SPT data, what is the "support" of the data? Does each data value represent a value at a point or is it an average over an area or volume? Look for the discussion of "regularization" in Mining Geostatistics, e.g. ore samples are typically cores, about 12 inches in diameter and 6 to 10 feet long. The assays are an average concentration for a volume. In contrast, in an open pit mine they extract "blocks" that are perhaps 40 feet high and 100 feet front to back and across the front which is the origin of the term "block kriging". Also do the probes have any measure error variability? I have a large database of SPT probes of my region (I live in Santos, city that have one of the most problematic and large studied soils of the world). Typically in this test, we use a tube with diameter of 1.5 in. that is nailed in soil with a 65 kg load. The tube is removed from soil, and we have the samples of the soil layers. The process is explained on the next images:

The samples are used to makes the SPT soil profile from probe. Joining 2 or more probes is possible to make a (low precision) interpolated profile. My objective is to do a high precision profile of soil using all the probes of the surroundings, is for that reason that I choose the kriging method.

Resuming:

My term paper (monograph) is about the creation of a software that makes the interpolation of SPT probes, with more precision than the actual (and manual) methods. I have a lot of data (about 1000 probes) from my region (and probably I'll get more SPT probes until I finish the college to use on the software database), I want to use the kriging method to makes better profiles, the kriging matrix method is programmed but I don't know how to makes the variogram of non regular mesh of samples. Do you have some tip about the theme to say to me? What is your opinion about this? Is possible makes reliable profiles using the SPT probes data?

----- Mensagem encaminhada -----

**De:** Paulo M. Barbosa Landim <[plandim@rc.unesp.br](mailto:plandim@rc.unesp.br)>

**Data:** 8 de setembro de 2015 08:50

**Assunto:** Re: DÃvida sobre geoestatÃstica

**Para:** Kelvyn vinicius <[kelvyn.valle@gmail.com](mailto:kelvyn.valle@gmail.com)>

Prezado Kelvyn Valle

Como resposta, envio cÃ3pias de tres artigos que, suponho, poderÃ3o lhe ser Ã3teis.

Com os meus cumprimentos,

Professor Landim

----- Mensagem encaminhada -----

**De:** Kelvyn vinicius <[kelvyn.valle@gmail.com](mailto:kelvyn.valle@gmail.com)>

**Data:** 19 de setembro de 2015 03:59

**Assunto:** Re: DÃvida sobre geoestatÃstica

**Para:** [plandim@rc.unesp.br](mailto:plandim@rc.unesp.br)

Muito obrigado Prof. Landim! Os artigos enviados realmente estÃ3o sendo de grande valia para o desenvolvimento do meu projeto de conclusÃ3o de curso!  
Novamente, obrigado.  
Kelvyn Valle

## APÊNDICE B – Questionário de Pesquisa para Trabalho Acadêmico

### Formulário para TCC de Engenharia

Formulário relativo ao projeto de graduação em engenharia civil da Universidade Santa Cecília. Trata-se de um sistema que realiza a estimativa de dados de sondagens em determinado ponto requisitado de acordo com dados previamente inseridos em seu entorno.

Qual sua ocupação?

- Engenheiro
- Técnico em edificações
- Mestre de Obras
- Empreiteiro
- Arquiteto
- Estagiário
- Outro: \_\_\_\_\_

Quantos anos você tem?

- De 18 a 25
- De 25 a 30
- de 30 a 40
- de 40 a 50
- Acima de 50

Qual o seu estado? (UF)

Sua resposta

Você costuma realizar sondagens nas suas obras?

- Sim
- Não

Você consideraria utilizar um sistema que estimasse o solo subjacente a sua obra para a fase de pré-projeto e para o aumento da precisão da estimativa na fase de projeto?

- Sim
- Não

Você consideraria cadastrar sondagens neste sistema em troca de créditos para estimativa de outros pontos no sistema?

- Sim
- Não

Você pagaria para obter o reconhecimento prévio do solo subjacente a determinado terreno por um sistema que gere estes dados considerando todo o entorno?

- Sim
- Não

Quanto você pagaria? (R\$)

- De 0 a 200
- De 200 a 500
- Acima de 500

Caso existisse a possibilidade, você consultaria o sistema antes da aquisição de um terreno para saber a disposição do solo que há em seu perímetro?

- Sim
- Não
- Opção 3

**ENVIAR**

Nunca envie senhas pelo Formulário Google.