

LEANDRO MORENO DE SOUZA

**SOFTWARE PARA ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS DE
ENSAIOS CPT e CPTu**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

T

S729s
2017 Souza, Leandro Moreno de, 1990-
Software para análise e interpretação de resultados de
ensaios CPT e CPTu / Leandro Moreno de Souza. – Viçosa, MG,
2017.

xv, 95f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Cláudio Henrique de Carvalho Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.92-95.

1. Mecânica do solo. 2. Software. I. Universidade Federal
de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de
Pós-graduação em Engenharia Civil. II. Título.

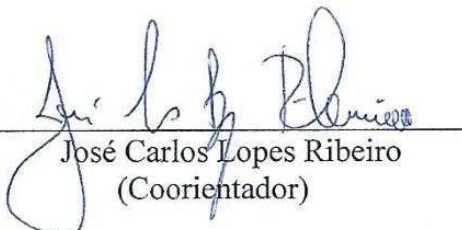
CDD 22 ed. 624.15

LEANDRO MORENO DE SOUZA

**SOFTWARE PARA ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS DE
ENSAIOS CPT e CPTu**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 24 de fevereiro de 2017.


José Carlos Lopes Ribeiro
(Coorientador)


Enivaldo Minette


Cláudio Henrique de Carvalho Silva
(Orientador)

Dedico essa dissertação aos meus pais Nicinha e Chicão, ao meu maninho Rafael, amores incondicionais que sempre me incentivaram e apoiaram no desenvolvimento deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre estar me guiando e abençoando cada escolha.

Aos meus pais Nicinha e Chicão e ao meu irmão Rafael.

Aos professores Cláudio Henrique de Carvalho Silva, Dario Cardoso de Lima e José Carlos Lopes Ribeiro pela orientação e apoio dado.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Viçosa.

Aos secretários em especial a secretária da pós-graduação Cilene Knauf e colegas da pós-graduação da Engenharia Civil.

BIOGRAFIA

LEANDRO MORENO DE SOUZA, filho de Francisco Alves de Souza e Maria Lenice Moreno, nasceu em 21 de junho de 1990, em Gurupi, Tocantins.

Em fevereiro de 2010, iniciou o curso de Engenharia Civil no Instituto Tocantinense Presidente Antônio Carlos - TO, concluindo-o em julho de 2014.

Em março de 2015, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, área de concentração em Geotecnia.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	xi
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Considerações Iniciais.....	1
1.2 Justificativa.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.4 Organização do trabalho.....	4
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 Investigação do subsolo.....	6
2.2 Métodos de investigação do subsolo.....	7
2.3 O ensaio CPT (Cone Penetration Test).....	9
2.4 Uniformização do ensaio e formato do cone.....	15
2.5 Resultados de ensaios CPT e CPTu.....	16
2.5.1 Resistência de Ponta (q_c).....	17
2.5.2 Atrito Lateral (f_s).....	18
2.5.3 Poropressão (u)	18
2.6 Cartas de interpretação para classificação dos solos.....	21
2.7 Parâmetros geotécnicos dos solos.....	28
2.7.1 Densidade relativa das areias (D_r).....	28
2.7.2 Resistência ao cisalhamento ou coesão não drenada (S_u).....	30
2.7.3 Módulo de elasticidade (E).....	31
2.7.4 Histórico de tensões (OCR).....	32
2.7.5 Peso específico do solo (γ).....	33
2.7.6 Ângulo de atrito (ϕ).....	33

2.8 Programação orientada a objeto e linguagem visual.....	34
2.8.1 Breve histórico da utilização de modelos computacionais na geotecnia.....	34
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	36
3.1 Etapas de pesquisa.....	36
3.2 Materiais.....	37
3.3 Métodos.....	39
3.3.1 Delphi.....	39
3.3.2 Digitizer.....	40
3.4 Desenvolvimento da pesquisa.....	41
3.4.1 Estratégias para a criação do software iCPT.....	41
3.4.2 Modelo para o processo de desenvolvimento do software iCPT.....	43
3.4.3 Elaboração do iCPT.....	44
3.5 Elaboração dos recursos de validação da pesquisa.....	46
3.5.1 Ensaios de laboratório existentes.....	48
3.5.2 Ensaios de campo.....	48
CAPÍTULO 4 – O SOFTWARE iCPT.....	51
4.1 O iCPT.....	51
4.1.1 Janela principal.....	52
4.1.2 Entrada de dados de ensaios.....	52
4.1.3 Cartas de interpretação.....	54
4.1.4 Resultados dos ensaios.....	56
4.1.5 Resultados interpretados.....	62
4.1.6 A Opção "Mais".....	64
CAPÍTULO 5 – COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE ENSAIOS PRÉ-EXISTENTES E SUAS ANÁLISES.....	66
5.1 Resultados dos ensaios de laboratório.....	66
5.2 Resultado dos ensaios de campo - Sondagens à percussão (SPT).....	67
5.3 Resultados dos ensaios de campo - Dilatométrico Plano (DMT).....	72
5.4 Resultados dos ensaios de campo - Cone Penetration Test (CPT).....	74

5.5 Comparação entre os resultados dos ensaios CPT, DMT, SPT e de laboratório...78

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....89

6.1 Conclusões.....89

6.2 Sugestões para trabalhos futuros.....90

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....92

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Aplicabilidade e uso de ensaios in situ (adaptado de Robertson, 2010).....	6
Figura 02 - Exemplos de métodos de investigação do solo (Schnaid, 2009).....	9
Figura 03 - Esquema de um amostrador de solo utilizando ensaio CPT (adaptado de Robertson, 2015).	11
Figura 04 – Exemplos de perfuração do cone (adaptado de Schnaid <i>et al.</i> , 2009).	12
Figura 05 - Teste padrão do ensaio de cone (Rogers, 2015).	13
Figura 06 - Células de carga construídas com strain gages (adaptado de Lunne <i>et al.</i> , 2007).....	13
Figura 07 - Sensores de pressão para registrar a poropressão (Schnaid, 2009).	14
Figura 08 - Exemplo de ensaio mecânico (adaptado de Mayne, 2007).....	14
Figura 09 - Geometria básica de um cone (adaptado de Mayne, 2007)..	15
Figura 10 - Resultado de ensaio CPT (Schnaid, 2009).	16
Figura 11 - Resultado de ensaio CPT com medida de poropressão (Schnaid, 2009)....	17
Figura 12 - Cone típico com medição de atrito lateral (Robertson, 2010).	18
Figura 13 - Exemplos de elementos filtrantes (adaptado de Schnaid, 2009).	19
Figura 14 - Presença das áreas para determinação do fator “a” (adaptado de Schnaid, 2009).....	20
Figura 15 - Terminologia do cone penetrométrico (adaptado de Robertson, 2010).	20
Figura 16 - Exemplo de cones de diferentes diâmetros (Robertson, 2010).....	21
Figura 17 - Ábaco para classificação do tipo de solo (adaptado de Robertson, 2010)..	22
Figura 18 - Carta de interpretação do ensaio CPT (Robertson <i>et al.</i> , 1986).	23
Figura 19 - Carta de interpretação do ensaio CPT (adaptado de Robertson, 1990 e 2010).....	24
Figura 20 - Carta de interpretação do ensaio CPT (adaptado de Robertson, 2010).	25
Figura 21 - Carta de interpretação do ensaio CPT (normalizada) usando o Índice de material (I_c) (adaptado de Robertson, 2009).	26
Figura 22 - Algoritmo para análise dos resultados de ensaios CPT/CPTu.....	27
Figura 23 - Densidade relativa através de q_c (Jamolkowski <i>et al.</i> 1985).....	29
Figura 24 - Relação entre q_c , σ'_v e D_r (Robertson e Campanella, 1983).	30
Figura 25 – Relação entre q_c , σ'_{vo} e S_u (Robertson e Campanella, 1983).....	31

Figura 26 – Algoritmo utilizado para realização da pesquisa.	36
Figura 27 - Local da realização dos ensaios.	37
Figura 28 - Cartas de interpretação Robertson 1986, 1990 – 2010 (Robertson, 1990).	38
Figura 29 - Cartas de interpretação Robertson 1990 – 2010 (Robertson, 2010).	38
Figura 30 - Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE).	40
Figura 31 – Exemplo de marcação das coordenadas para a formação de regiões/polígonos no Digitizer.	40
Figura 32 - Esquema de validação proposto (Pressman, 2006).	43
Figura 33 - Modelo para o processo de desenvolvimento do software.	44
Figura 34 - Modelo para o processo de desenvolvimento do software.	46
Figura 35 - Mapa de localização dos ensaios de campo (Almeida, 2000).	50
Figura 36 – Janela de entrada do programa.	51
Figura 37 – Janela principal do programa.	52
Figura 38 - Tela de dados de ensaio.	53
Figura 39 - Tela principal com os ábacos desenhados.	54
Figura 40 - Ábaco utilizado para classificação do solo e interpretação do ensaio.	55
Figura 41 - Ábaco utilizado para classificação do solo (normalizado).	55
Figura 42 - Ábaco utilizado para interpretação do ensaio (normalizado).	56
Figura 43 – Janela para apresentação do resultado de qc.	57
Figura 44 - Janela para apresentação do resultado de fs.	57
Figura 45 - Janela para apresentação do resultado de Rf.	58
Figura 46 - Janela para apresentação do resultado de qt.	58
Figura 47 - Janela para apresentação do resultado de u2.	59
Figura 48 - Janela para apresentação do resultado de u0.	59
Figura 49 - Janela para apresentação do resultado de Bq.	60
Figura 50 - Janela para apresentação do resultado de Dr.	60
Figura 51 - Janela para apresentação do resultado de E.	61
Figura 52 - Janela para apresentação do resultado de Su.	61
Figura 53 - Janela para apresentação do resultado de OCR.	62
Figura 54 - Tabela com o resultado do ensaio e propriedades geotécnicas.	63
Figura 55 - Opção como funciona do iCPT.	64

Figura 56 - Janela com as fórmulas utilizadas e calculadora.	65
Figura 57 - Legenda com o devido tipo de solo.	65
Figura 58 - Perfil geotécnico segundo Minette <i>et al.</i> (1995).....	68
Figura 59 - Resultados dos ensaios SPT 01 realizado por Lopes (1997).	69
Figura 60 - Resultados dos ensaios SPT 02 realizado por Lopes (1997).	69
Figura 61 - Resultados dos ensaios SPT 03 realizado por Lopes (1997).	70
Figura 62 - Resultados do ensaio CPT-1.....	75
Figura 63 - Resultados do ensaio CPT-2.....	75
Figura 64 - Resultados do tipo do solo e parâmetros geotécnicos do ensaio CPT-1.....	76
Figura 65 - Resultados do tipo do solo e parâmetros geotécnicos do ensaio CPT-2.....	77
Figura 66 - Comparação entre os resultados do iCPT e dos ensaio SPT realizados por Lopes (1997).....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Aplicabilidade do CPT-CPTu para derivar parâmetros do solo. (adaptado de Robertson, 2015).....	28
Tabela 02 - Taxonomia de Técnicas de Verificação & Validação (adaptado de Balci, 1995).....	47
Tabela 03 - Resultados dos ensaios de caracterização (adaptado de Almeida, 2000)..	66
Tabela 04 - Resultados dos ensaios de caracterização (adaptado de Monteiro, 1999)..	66
Tabela 05 - Resultados dos ensaios de compressibilidade (adaptado de Almeida, 2000).	67
Tabela 06 - Resultados dos ensaios de compressibilidade (adaptado de Almeida, 2000).	67
Tabela 07 - Resultados de ensaios de cisalhamento direto (adaptado de Monteiro, 1999).....	67
Tabela 08 - Resultado da sondagem SPT-02 (Araújo, 2001).....	71
Tabela 09 - Resultado da sondagem SPT-01 (Araújo, 2001).....	71
Tabela 10 - Resultado da sondagem DMT-01 (adaptado de Monteiro, 1999).....	72
Tabela 11 - Resultado da sondagem DMT-02 (adaptado de Monteiro, 1999).....	72
Tabela 12 - Resultado da sondagem DMT-03 (adaptado de Monteiro, 1999).....	73
Tabela 13 - Resultado da sondagem DMT-04 (adaptado de Monteiro, 1999).....	73
Tabela 14 - Resultado da sondagem DMT-01 (adaptado de Da Silva, 2000).....	73
Tabela 15 - Resultado da sondagem DMT-02 (adaptado de Da Silva, 2000).....	74
Tabela 16 - Resultados do iCPT e ensaios DMT realizado por Monteiro.....	79
Tabela 17 - Resultados do iCPT e ensaios DMT realizado por Da Silva (2000).....	82
Tabela 18 - Resultado do iCPT e ensaios SPT realizado por Da Silva (2000).....	83
Tabela 19 - Resultados do ensaio CPT-1 e de laboratório (Almeida, 2000).....	84
Tabela 20 - Resultados do ensaio CPT-2 e de laboratório (Almeida, 2000).....	85
Tabela 21 - Ensaios de laboratório e iCPT.....	86
Tabela 22 - Resultados dos ensaios de compressibilidade e cisalhamento realizado por Monteiro (1999).....	87
Tabela 23 - Resultados do CPT-1 obtidos pelo iCPT.....	87
Tabela 24 - Resultados do CPT-2 alcançados no iCPT.....	87

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Letras Latinas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
Bq	Parâmetro de poropressão
c	Coesão
Cc	Índice de compressão
Ch	Coefficiente de adensamento horizontal
CPT	Ensaio do Piezocone
CPTu	Ensaio de Piezocone com medida de poropressão
Dr	Densidade relativa
DMT	Ensaio Dilatométrico Plano
E	Módulo de Elasticidade
E25	Módulo correspondente a 25% da tensão
E _D	Módulo Dilatométrico
Fr	Razão de atrito normalizada
fs	Atrito lateral do piezocone
Go	Módulo Cisalhante
Ic	Índice de tipo de desempenho de solo
I _d	Índice de material dilatométrico
IP	Índice de plasticidade
ISSMFE	International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
k ₀	Coefficiente de empuxo no repouso
K _d	Índice de tensão horizontal dilatométrico
LL	Limite de liquidez
LP	Limite de plasticidade
M	Módulo Oedométrico
NA	Normalmente adensada
Nkt	Fator Nkt
OCR	Razão de pré-adensamento
Po	Pressão A corrigida
Pa	Pressão atmosférica
qc	Resistência de ponta de ensaios CPT e CPTu
Qtn	Resistência de ponta do piezocone normalizada
qt	Resistência de ponta do piezocone corrigida
Rf	Razão de atrito
SAA	Standards Association of Australia
SBT	Soil Behavior Type
SPT	Sondagem à percussão
Sr	Grau de saturação
St	Sensibilidade da argila
Su	Resistência não drenada
u ₀	Porosidade hidrostática
u ₁	Elemento poroso na face do cone
u ₂	Elemento poroso na base do cone
u ₃	Elemento poroso no topo do cone

UFV
w

Universidade Federal de Minas Gerais
Umidade

Letras Gregas

e_0	Índice de vazios da amostra
γ	Peso específico
ϕ	Ângulo de atrito
σ'_{vm}	Tensão de sobreadensamento
σ'_{v0}	Tensão vertical efetiva
γ_{nat}	Peso específico natural
γ_s	Peso específico do solo

RESUMO

SOUZA, Leandro Moreno de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2017. **Software para análise e interpretação de resultados de ensaios CPT e CPTu.** Orientador: Cláudio Henrique de Carvalho Silva. Coorientadores: Dario Cardoso de Lima e José Carlos Lopes Ribeiro

A busca por investigações geotécnicas precisas para o reconhecimento dos maciços de solo tornaram-se cada vez mais indispensáveis e ocupam um papel fundamental na Engenharia Civil, sendo que as investigações são realizadas em laboratório ou em campo. Um dos exemplos de ensaios de campo, o CPT – Cone Penetration Test, é constituído por um sistema de cravação semicontínua no solo de um conjunto de tubos e hastes de aço dotado de uma ponta cônica. Através deste procedimento, a estimativa e determinações da natureza, sequência e propriedades de engenharia das camadas subsuperficiais de solo podem ser realizadas. Considerando a falta de ferramentas computacionais que realizam a interpretação e análise do ensaio CPT e CPTu em língua portuguesa, esse trabalho visa suprir a carência de ferramentas computacionais para a análise e interpretação dos resultados do ensaio CPT e o procedimento para a construção da plataforma digital, denominado iCPT, foi utilizada a ferramenta Borland Delphi 7.0. Com os resultados obtidos dos ensaios CPT/CPTu, os mesmos foram comparados e confrontados com os resultados fornecidos pelos ensaios SPT, DMT e ensaios de laboratório realizados através de amostras e furos de sondagens, localizados no Campo Experimental de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa em Minas Gerais, em estudos previamente realizados por MINETTE *et al.* (1995), LOPES (1997), MONTEIRO (1999), ALMEIDA (2000) e DA SILVA (2000). Com os resultados encontrados através das comparações, constatou-se que: (i) para efeito de classificação do solo através do uso de ábacos de classificação, houve algumas camadas que apresentaram similaridade com outros métodos de campo ou de laboratório; (ii) quanto à determinação de propriedades geotécnicas através de correlações propostas, observou-se que: (a) o peso específico, teve uma proximidade dos valores daqueles aferidos em laboratório; (b) no caso de valores de OCR através de ensaios de laboratório para aqueles oferecidos pelo iCPT, há uma diferença entre os mesmos; e (c) quanto à determinação do ângulo de atrito os valores se mostraram próximos em comparação aos ensaios de compressibilidade; (iii) com relação a parte gráfica e visual, os resultados do iCPT apresentaram um ambiente agradável e eficiente.

ABSTRACT

SOUZA, Leandro Moreno de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2017. **Software for analysis and interpretation of test results CPT and CPTu.** Advisor: Cláudio Henrique de Carvalho Silva. Co-Advisor: Dario Cardoso de Lima and José Carlos Lopes Ribeiro

The search for geotechnical investigations for the recognition of the massive form of soil became increasingly more vital and play a role based on Civil Engineering, being that the investigations are carried out in the laboratory or in the field. One of the examples of field trials, the CPT Cone Penetration Test, it is comprised of a system of inserting semi in the soil of a set of tubes and steel rods with a conical tip. Through this procedure, the estimation and determination of the nature, sequence and properties of engineering of subsurface layers of soil can be carried out. Considering the lack of computational tools that perform the interpretation and analysis of the test CPT and CPTu in portuguese, this study aims to overcome the lack of computational tools for the analysis and interpretation of the results of the test CPT and the procedure for the construction of the digital platform, called iCPT, was used the tool Borland Delphi 7.0. With the result obtained for testing CPT/CPTu, they were compared and confronted with the results provided by the tests SPT, DMT and laboratory tests performed through samples and drilling of probes, located in the Experimental Field of Civil Engineering at the Federal University of Viçosa in Minas Gerais, in studies previously conducted by MINETTE *et al.* (1995), Lopes (1997), Monteiro (1999), Almeida (2000) and Silva (2000). With the results found by the comparisons, it was found that: (i) for the purpose of soil classification through the use of charts of classification, there were some layers that showed similarity with other methods of field or laboratory; (ii) for determination of geotechnical properties through correlations proposals, it was observed that: (a) the specific weight, had a closeness of the values of those measured in the laboratory; (b) in the case of values of OCR through laboratory testing to those offered by the iCPT, there is a difference between them; and (c) regarding the determination of the angle of friction values are shown next in comparison to the tests of compressibility; (iii) with respect to the graphics and visual, the results of the iCPT presented a pleasant and efficient.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

As investigações geotécnicas dos maciços de solo são cada vez mais necessárias e ocupam espaço relevante na Engenharia Civil, como parte geradora de dados geotécnicos de laboratório e de campo para o projeto de fundações, estradas, estabilidade de taludes, barragens e escavações.

Com relação aos ensaios em laboratório, os mesmos apresentam alguns pontos favoráveis, pois a obtenção dos parâmetros pode ser realizada com o devido controle das condições de ensaio, permitindo assim algo repetitivo e realizando várias simulações. No entanto, para que se possa chegar em resultados precisos e confiáveis, a qualidade das amostras depende de uma série de fatores, uma vez que, tanto a retirada da amostra, quanto o acondicionamento da mesma devem ser feitos na forma ideal, pois fatores como agitação no deslocamento podem interferir no resultado final do ensaio

Com relação aos ensaios de campo, os mesmos apresentam uma gama de fatores favoráveis, não só pelo lado econômico, mas também por permitir ao interessado a possibilidade de realização de uma verificação em maior número, podendo chegar em resultados mais concisos e detalhados, sendo que na maioria desses casos, os resultados em questão alcançados são apresentados de maneira quase real e estão prontamente disponíveis para o responsável pelo ensaio (LUNNE *et al.*, 1997).

Em contrapartida, os ensaios de campo também proporcionam alguns pontos que limitam a sua utilização, como a ausência da retirada de amostras, algo que torna a identificação do tipo de solo um tanto quanto limitada. Outro fator relevante é a falta do controle sobre as condições de drenagem, além de ter-se um menor controle das tensões de confinamento (ROBERTSON, 2010).

O ensaio de penetração de cone (Cone Penetration Test – ensaio CPT) é realizado através da cravação semicontínua no solo de um conjunto de tubos e hastes de aço dotado de uma ponta cônica, e com o auxílio de um sistema de reação montado na superfície do terreno. O ensaio CPT é tipicamente um ensaio *in situ* e em muitos casos substitui ou complementa alguns testes de penetração mais conhecidos e que não

fornece resultados concisos e seguros, como os métodos de perfuração rotativos convencionais (ROBERTSON, 2015).

O cone pode ser equipado com diversos tipos de sensores dependendo da necessidade em termos de propriedades de caracterização geotécnica do subsolo. Por exemplo, sensores de força para medir a resistência de ponta à cravação do cone, bem como a resistência lateral; sensores de pressão para medir a poropressão na base do cone ou na altura da camisa lateral; sensores sísmicos para medir a velocidade de propagação de ondas mecânicas; sensores de temperatura; além de outros dispositivos de cunho ambiental (CAMPANELLA e DAVIES, 1997).

Aplicações relevantes do ensaio CPT abrangem a determinação da natureza, sequência e propriedades de engenharia das camadas subsuperficiais de solo, considerado o regime geológico e propriedades físicas e mecânicas das camadas dos maciços de solo (LUNNE *et al.*, 1997).

De acordo com Mayne (2007), para se determinar a natureza e sequência das camadas de solos, atribui-se o uso de cartas de classificação dos solos com o uso dos dados obtidos com o CPT. A interpretação dos resultados foi inicialmente feita a partir de cartas de interpretação baseadas na relação entre q_c e f_s , desenvolvida por Begemann (1965). A partir de 1974, foram incorporados aos cones penetrométricos os medidores de poropressão, gerando os atuais piezocones (CPTU), em que, através dos resultados dos ensaios, pode-se realizar com mais segurança a classificação dos solos com o uso do índice de poropressão – B_q (ROBERTSON *et al.*, 1986), em especial em solos moles, devido ao fato de, nesses materiais, a poropressão gerada pela penetração do cone ser elevada, em contrapartida aos valores de resistência de ponta, que tendem a ser baixos (ROBERTSON, 2010).

Para auxiliar a análise e interpretação dos resultados das leituras realizadas durante o ensaio CPT, há carência de programa computacional interativo desenvolvido com a finalidade de automatizar estas tarefas, o que propiciaria um ambiente amigável e disponível em tempo real para os engenheiros geotécnicos, que trabalhem com língua portuguesa.

Com isso, este trabalho visa o desenvolvimento de programas (ferramentas computacionais) para a análise e interpretação dos resultados de ensaios CPT, incluindo

a classificação dos solos e a geração de perfis do subsolo com a descrição das camadas e principais características obtidas, bem como a interpretação das principais propriedades geotécnicas de interesse.

1.2 Justificativa

O processo de criação de softwares dedicados para a interpretação dos resultados dos ensaios CPT visa fundamentalmente facilitar as tarefas repetitivas a que o engenheiro geotécnico está sujeito ao usar as técnicas convencionais de análise e interpretação baseadas em ábacos e cartas de interpretação disponíveis na literatura.

Conforme padronização do ensaio CPT, a penetração da sonda é feita com uma velocidade de 2 cm/s e, considerando-se que num ensaio CPT as medidas das grandezas de interesse (nos casos mais simples: resistência de ponta, resistência lateral e poropressão) sejam feitas a cada segundo, são disponibilizados cerca de 50 leituras para cada metro de sondagem (MAYNE, 2007). Sendo assim, o engenheiro deve dedicar um tempo significativo para analisar e interpretar estas leituras caso não disponha de um software eficiente. Em paralelo com este fator, outros motivos para a pouca utilização e difusão desta técnica de ensaio no Brasil pode ser explicada pela falta de softwares que forneçam resultados com os termos e classificação localizados em língua portuguesa do Brasil, fazendo com que isto também acarrete em dificuldades de uso, nos meios acadêmicos e entre profissionais da área geotécnica, encontradas em versões de programas computacionais concebidos para este fim específico.

Em um cenário mundial, diversos são os ambientes de modelos computacionais espalhados em diversas áreas da engenharia. No caso da engenharia geotécnica, já citando no âmbito brasileiro, observa-se certa falta de interesse no que diz respeito sobre a utilização de ambientes virtuais, mesmo que haja um consenso sobre a importância e eficácia destas ferramentas, ressaltando-se que no caso na engenharia geotécnica, a utilização é encarada essencial por ser um campo propício (SANTANA *et al.*, 2006).

No caso desta pesquisa, um dos fatores que contaram a favor da escolha deste tema, foi a deficiência no domínio brasileiro do uso de ferramentas com linguagem informatizada, que buscam classificar solos brasileiros através de modelos computacionais, principalmente considerando a análise e interpretação de resultados de

ensaios CPT, sendo que a prática aponta somente para regiões de solos temperados. Com isso, a criação de uma tecnologia virtual, que possa ajudar no aprendizado e solução de problemas, foi o que motivou o desenvolvimento deste trabalho, uma vez que, na literatura na área da geotecnia, apresenta-se opções de softwares cuja aplicação auxiliam na interpretação do ensaio CPT, porém, a presença de modelos que trabalhem com língua portuguesa ainda seja inexistente

1.3 Objetivos

O objetivo principal da pesquisa será desenvolver um ambiente computacional amigável através de modelos computacionais, utilizando ferramentas de programação visual, que será alimentado pelos resultados de campo de ensaios CPT e CPTu, visando a análise e interpretação dos resultados obtidos à luz do conhecimento atual sobre o referido ensaio in situ.

São considerados objetivos específicos deste trabalho:

- apresentar e discutir as interfaces da plataforma desenvolvida;
- em paralelo, pretende-se comparar os resultados obtidos pelo iCPT desenvolvido neste trabalho com os resultados de outros ensaios de campo e laboratório, como: SPT, DMT, ensaios de caracterização, compressibilidade e cisalhamento direto através de ensaios no Campo Experimental de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa em Minas Gerais; e
- verificar se a plataforma criada apresenta capacidade satisfatória com relação a usabilidade e confiabilidade.

1.4 Organização do trabalho

De acordo com o proposto, neste item é apresentado a estrutura do trabalho, mostrando uma síntese do que trata cada capítulo. Sendo que o trabalho está dividido em sete capítulos, incluindo o Capítulo 1, Introdução, no qual já foi apresentado.

Com relação ao Capítulo 2, Revisão bibliográfica, expõe-se uma fundamentação teórica, sendo abordado diversos assuntos relacionados à confecção do trabalho, como a importância das investigações do subsolo com o ensaio CPT, além de apresentar os resultados alcançados com o ensaio. No Capítulo 2, ainda consta estudos sobre o emprego da linguagem de programação e modelos computacionais na geotecnia.

O capítulo 3, materiais e métodos, apresentam-se as ferramentas utilizadas na pesquisa e os métodos utilizados na confecção da plataforma digital, assim como as cartas empregadas para a classificação dos solos. Neste capítulo, também ficou estabelecido alguns pontos responsáveis pela validação do software.

No Capítulo 4, são apresentadas as interfaces da plataforma desenvolvida neste trabalho, detalhando-se o que cada comando realiza. No Capítulo 5, realizou-se uma discussão sobre os resultados alcançados com o uso da ferramenta criada em comparações com outros ensaios de campo e laboratório, afim de mostrar a eficiência dos ábacos para classificação do solo e as correlações propostas em literatura.

No Capítulo 6, Considerações Finais e Sugestões, apresenta-se primeiramente uma avaliação sobre os resultados obtidos, assim como os devidos contextos que foram usados para demonstrar e deixar claro que os objetivos foram alcançados e que a idéia inicial foi aprovada. Por fim, apresentam-se algumas sugestões para futuras pesquisas nesta mesma linha.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Investigação do subsolo

De acordo com Schnaid (2000), em projetos geotécnicos, o reconhecimento das condições do subsolo pode assegurar empreendimentos com uma condição segura e econômica. Ainda de acordo com o autor, considera-se que no Brasil, o preço envolvido para um bom reconhecimento de campo relacionado às sondagens, pode representar um custo de 0,2 a 0,5 % do valor total da obra. Segundo Robertson (2015), uma campanha de investigação pode estar sujeita a uma série de fatores que devem ser levados em consideração, podendo-se citar particularidades como o objetivo final, assim como seus riscos envolvidos. Na Figura 01 são apresentados os ensaios de campo e as suas devidas aplicações.

Grupo	Equipamento	Identificação		Parâmetros										
		Tipo de solo	Perfil	u	Ø'	Su	Dr	mv	Cv	K	G0	σh	OCR	σ-E
PENETRÔMETRO	Dinâmico	C	B		C	C	C				C		C	
	Mecânico	B	A.B		C	C	B	C			C	C	C	
	Elétrico (CPT)	B	A		C	B	A.B	C			B	B.C	B	
	Piezcone (CPTU)	A	A	A	B	B	A.B	B	A.B	B	B	B.C	B	C
	Sísmico (SCPT/SCPTU)	A	A	A	B	A.B	A.B	B	A.B	B	A	B	B	B
	Palheta	B	A	C	B	B	C	B			B	B	B	C
	Standard Penetration Test (SPT)	A	B		C	C	B				C		C	
	Resistividade	B	B		B	C	A	C						
PRESSIÔMETRO	Pré-furo (PBP)	B			C	B	C	B	C		B	C	C	C
	Auto-perfurante (SBP)	B	A	A	B	B	B	B	A	B	A	A.B	B	A.B
	Cone-pressiômetro (FDP)	B			C	B	C	C	C		A	C	C	C
OUTROS	Palheta	B	C			A							B.C	B
	Ensaio de placa	C			C	B	B	B	C	C	A	C	B	B
	Placa helicoidal	C	C		C	B	B	B	C	C	A	C	B	
	Permeabilidade	C		A					B	A				
	Ruptura hidráulica			B					C	C		B		
	Sísmico	C	C								A		B	

Figura 01 - Aplicabilidade e uso de ensaios in situ (adaptado de Robertson, 2010).

No que se refere aos equipamentos de investigação, foram introduzidos nos últimos anos novas tecnologias que permitem determinar a natureza e propriedades de diferentes tipos e condições de subsolo.

Segundo Robertson (1990), os principais objetivos de qualquer averiguação do subsolo são para determinar em sua grande maioria os seguintes dados:

- natureza e sequência das camadas subsuperficiais, considerado o regime geológico;
- as condições de águas subterrâneas (regime hidrológico); e
- propriedades físicas e mecânicas das camadas do subsolo.

De acordo com Schnaid (2000), em relação aos ensaios para a definição do subsolo, entende-se que o procedimento ideal de início é utilizar sempre um método em que identifica-se a perfilagem do subsolo e o resultado dos parâmetros geotécnicos. Robertson (2015) sugere que a partir dessa investigação, julga-se necessário através do projeto a realização de outros métodos, podendo assim identificar camadas críticas, contando ainda com a presença de ensaios específicos em laboratório, com o objetivo de sanar alguns resultados de interesse.

De acordo com Wroth (1984), os testes *in situ* oferecem maiores vantagens quando comparado às avaliações realizadas em laboratório, uma vez que a compreensão em relação ao comportamento do solo aumenta consideravelmente.

Jaska *et al.* (1994) afirmam que outros fatores contam positivamente quando se pensa em alcançar resultados referente ao subsolo de maneira *in situ*, como a quantidade de dados que pode ser recolhido, sendo que os mesmos são alcançados de maneira eficiente e econômica. Já Campanella *et al.* (1995) cita que um dos casos para exemplificar este ponto é o CPT, que através das sondas que compõe o cone, pode proporcionar ao interessado uma gama de implicações, uma vez que, as sondas citadas oferecem um grande volume de espaço de armazenamento, responsável pela gravação ininterrupta da resistência de ponta (q_c) e atrito (f_s), sendo que uma das importâncias da grande quantidade de espaço para armazenamento de dados seja para análises mais precisas

2.2 Métodos de investigação do subsolo

Segundo Schnaid (2000), o responsável pela investigação deve determinar o melhor método para realizar o conhecimento das camadas de solo, vários são os fatores

que pesam para a escolha adequada do procedimento, como por exemplo, o tipo de solo investigado, as normas vigentes, assim como as experiências regionais realizadas anteriormente. Com isso, os métodos de realização da prospecção do solo pode ser feito através de duas abordagens distintas, sendo diretas e indiretas.

De um modo geral, os ensaios relacionados à geofísica e ao sensoriamento remoto são apontados como métodos indiretos de investigação, uma vez que procuram utilizar as feições topográficas e morfológicas, além das propriedades físicas do terreno, podendo assim, caracterizar e mostrar a distribuição e posicionamento dos corpos geológicos, sendo que em certos casos os mesmos também apontam as suas características físicas e tecnológicas (DOURADO, 1984).

Segundo Lunne *et al.* (1997) em testes considerados *in situ*, fazendo uma comparação com os métodos realizados em laboratório, outro fator que favorece a sua utilização é que as amostras não sofrem desgastes devido a perturbação e deslocamento da mesma, sendo que nos ensaios realizados *in loco* o solo é testado em um nível de tensão efetiva real, em que pode ocorrer a mudança do valor devido a inserção dos instrumentos nas camadas de solo.

De acordo com Barata (1984), as propriedades geotécnicas de interesse dos solos podem ser alcançadas através dos resultados dos ensaios por métodos indiretos, chegando de tal modo em uma previsão em que pode ser adotado em um provável projeto. Um dos exemplos mais comumente aplicado está relacionado com aqueles realizados nos ensaios de palheta e pressiométrico em que algumas facilidades são passíveis de interpretação analítica.

Com relação aos métodos chamados diretos, são aqueles que abrangem escavações realizadas com o intuito principal de identificar os maciços, além de ajudar os resultados provenientes de sondagens mecânicas e os ensaios subsequentes. Através dos métodos diretos e com o auxílio fundamental das sondagens mecânicas, entende-se que é possível definir, com uma precisão superior, as distinções dos materiais ao longo das camadas do subsolo, além de poder mostrar as variações litológicas, estruturas geológicas e as características geotécnicas dos materiais (DOURADO, 1984). Pode-se considerar o ensaio SPT como um método direto, tendo em vista que este ensaio permite a coleta de amostras de solo, bem como há fundamentação prática de

engenharia geotécnica no número N_{SPT} . Assim, através da análise e interpretação dos resultados deste ensaio pode-se inferir sobre o desempenho das obras geotécnicas. A seguir, na Figura 02, são apresentados alguns exemplos de métodos de investigação do sub solo (ROBERTSON, 2015).

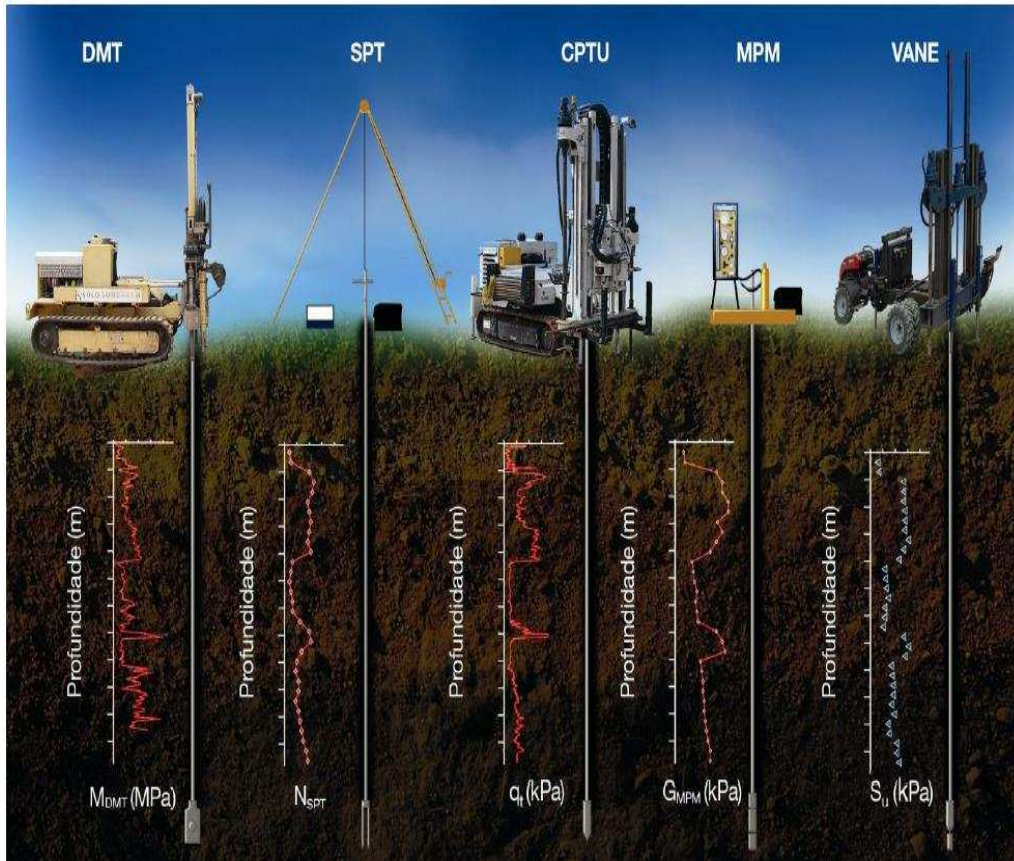


Figura 02 - Exemplos de métodos de investigação do solo (Schnaid, 2009).

2.3 O ensaio CPT (Cone Penetration Test)

No ensaio CPT, uma das extremidades da haste é empurrada para dentro do solo, sendo que na outra extremidade é conectado um equipamento na superfície que é responsável por realizar as medições contínuas do ensaio, sendo geralmente propriedades geotécnicas, além das informações relacionadas a estratificação do solo (MEIGH, 1987). Com o passar do tempo, a implementação do ensaio CPT vêm crescendo devido a sua utilização em camadas de solos que consistem em sedimentos moles (CAMPANELLA, 1995).

Segundo Robertson (1990), o ensaio CPT, assim como as suas edições aperfeiçoadas (CPTU e sísmica – SCPT), têm inúmeras aplicações em diferentes tipos

de solos. Embora o ensaio CPT seja considerado limitado em algumas camadas de solos, de um modo geral, pode-se avaliá-lo como superior aos métodos mais tradicionais, como o SPT, pois apresenta grandes vantagens no que diz respeito à velocidade de ensaio, assim como à sua precisão, em termos de resultados e não interferência das técnicas de ensaio, equipamento ou operador.

Com relação às suas desvantagens, Mayne (2007) afirma que o CPT apresenta um alto custo de investimento na aquisição do ensaio e máquinas. Com relação ao operador, o mesmo deve possuir uma qualificação aceitável. Já com relação à penetração, pode ser restringida em decorrência de camadas cimentadas e com alto índice de cascalho e, durante a realização do ensaio, não se realiza a retirada de amostras. Com relação à não possibilidade de retirada de amostra durante a realização do ensaio CPT, Robertson (2015) sugere um modelo com a disponibilidade de uma ponteira de cone que possibilita a remoção de amostras em camadas pré determinadas, consideradas críticas ou de interesse do responsável pela sondagem. O mesmo deixa claro que a grande maioria desses amostradores são baseados em projetos europeus, constituídos de um ponta de cone que retrai, fazendo com que o amostrador oco possa ser empurrado na camada de solos e com isso ocorre a retirada de uma porção de solo para análise mais detalhada. Um exemplo típico de amostrador para ensaio CPT pode ser visualizado na Figura 03.

De acordo com Mayne (2007), entende-se que o ensaio do cone acaba sendo considerado um procedimento bastante simples. Composto de um processo de cravação no solo através de uma ponteira em formato cônico, com ápice de 60°. Por padrão, a cravação é realizada sob velocidade constante de 20 mm/s. Meigh (1987), Lunne *et al.* (1997) e Robertson (2010) lembram que o cone apresenta uma seção transversal (área da ponta projetada) de 10 cm², sendo que em certos casos pode alcançar 15 cm², para equipamentos de grande porte destinados a investigações mais profundas ou em materiais mais resistentes. A Figura 04 apresenta alguns exemplos de aplicação do ensaio CPT.

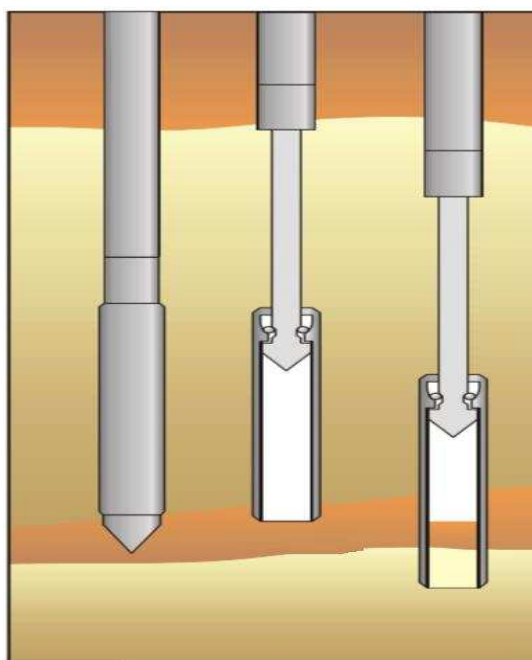


Figura 03 - Esquema de um amostrador de solo utilizando ensaio CPT (adaptado de Robertson, 2015).

Em relação aos cones elétricos, a SAA (Standards Association of Australia, 1977) determina que a profundidade do cone é estabelecida através da caixa de profundidade. O dispositivo citado, é constituído por um cabo metálico, em que uma das extremidades é fixada no aríete hidráulico, responsável pela condução do cone no solo e o outro extremo é ligado ao computador que é responsável pelo armazenamento dos dados. Um dos pontos que contam a favor da utilização dos cones, é que as medições de resistência de ponta e a fricção, assim como a profundidade, são realizadas por uma interface constituída por microprocessadores, sendo os incrementos de 5 mm ao longo do cone, fornecendo assim valores mais precisos e confiáveis (MAYNE, 2007).

De acordo com Robertson (2015), a penetração de cravação pode ser elevada com a presença de algumas técnicas que possibilitam que o ensaio alcance grandes profundidades, como por exemplo, reduzir a força de atrito através de um acoplamento expandido, utilizado logo acima da ponteira do cone, além do emprego de lama para perfuração. Vale ressaltar, que a utilização de cones mais robustos ou com grandes diâmetros, também surge como uma possibilidade para vencer grandes profundidades, além de presença de rochas ou solos mais duros e cascalhos.



Figura 04 – Exemplos de perfuração do cone (adaptado de Schnaid *et al.*, 2009).

Observa-se que com o aumento da tecnologia, provocando assim também um avanço no ramo eletrônico, através do rápido e constante desenvolvimento da informática, os equipamentos têm sofrido uma transformação que proporciona resultados mais acertados. Uma das grandes virtudes desses novos equipamentos é que os mesmos apresentam menores tamanhos, sendo bem robustos e economicamente mais viável, acarretando em projetos mais precisos e a construção de ferramentas que auxiliam de maneira fundamental na estimativa de parâmetros geotécnicos (LUNNE *et al.*, 1997).

Os procedimentos para a realização do ensaio são padronizados e existe diferença entre os equipamentos e a forma de operação. Com relação à diferença entre os equipamentos, observa-se que a mesma está diretamente ligada a origem da força de cravação, além das medidas analisadas e os mesmos são dispostos em três categorias:

1. o cone mecânico: é caracterizado pela leitura das forças transmitidas através das hastes utilizando-se de células de carga analógicas (anéis dinamométricos), tanto para a resistência da ponta cônica (q_c), e do atrito ou adesão lateral (f_s), de acordo com a Figura 05. (JACOBS, 2004).

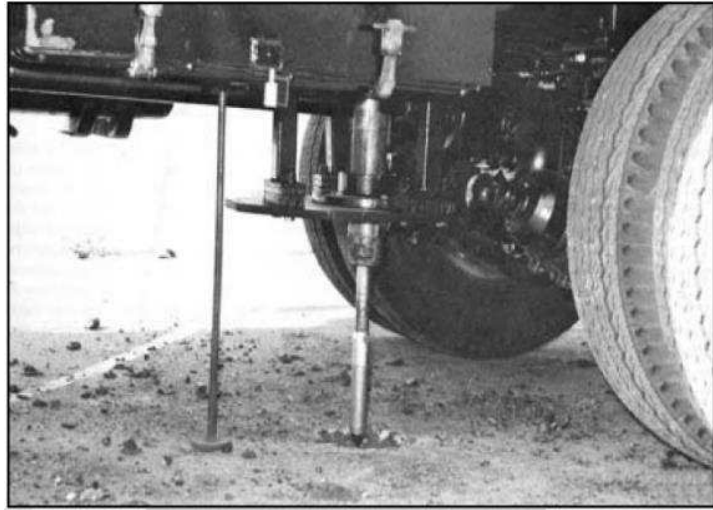


Figura 05 - Teste padrão do ensaio de cone (Rogers, 2015).

2. o cone elétrico: utilizam-se células de carga, construídas com strain gages (Figura 06), em substituição às células de carga analógicas dos anteriores

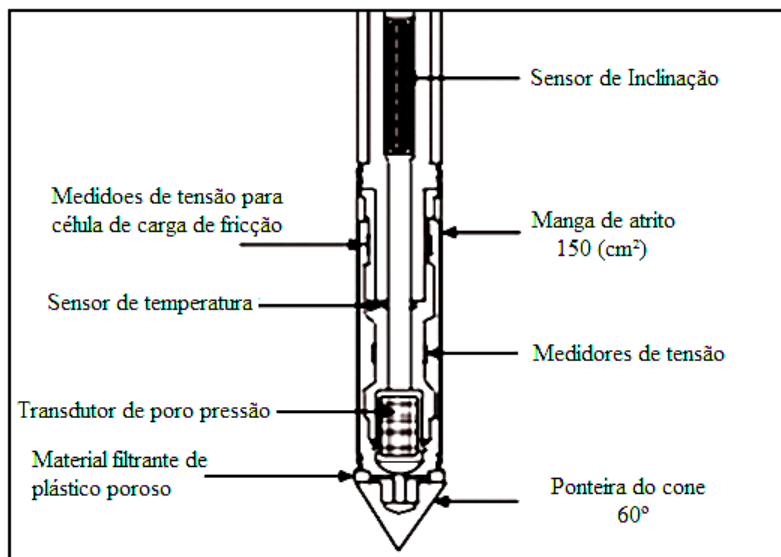


Figura 06 - Células de carga construídas com strain gages (adaptado de Lunne *et al.*, 2007).

3. o piezocone: além das células de carga, o equipamento inclui sensores de pressão para registrar a poropressão (Figura 07), integradas na altura na base do cone. Também podem incluir sensores de inclinação e sísmicos.

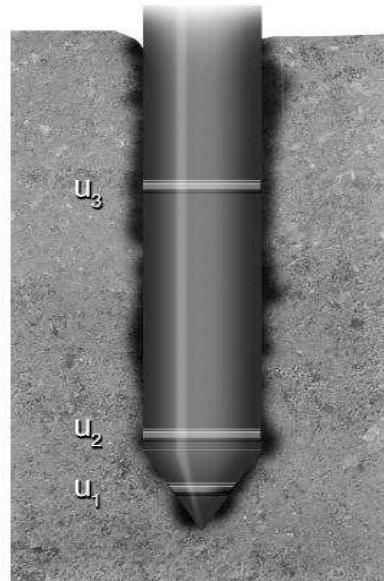


Figura 07 - Sensores de pressão para registrar a poropressão (Schnaid, 2009).

Para a realização do ensaio, ou seja, para o reconhecimento das camadas de solo, entende-se que o cone deve ser empurrado para dentro do solo através de cravações múltiplas e constantes. Com isso através de pontos determinados no cone, pode-se realizar as medidas de interesse (SCHMERTMANN 1978; CAMPANELLA E ROBERTSON 1982). Na Figura 08 é apresentado um exemplo de ensaio mecânico, assim como as medidas obtidas na extremidade do cone (MAYNE, 2007).

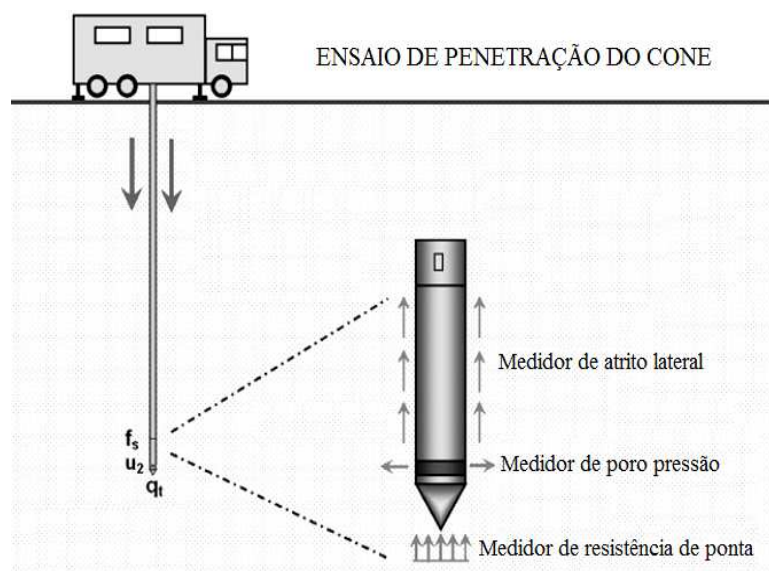


Figura 08 - Exemplo de ensaio mecânico (adaptado de Mayne, 2007).

2.4 Uniformização do ensaio e formato do cone

A padronização do ensaio CPT foi feita pela norma ASTM (1979), ISSMFE (1989) e no Brasil pela norma NBR 12069 (ABNT, 2010).

As normas citadas acima atribuem todas as recomendações referentes aos procedimentos, precisão de medida, apresentação dos resultados, dimensões e terminologias indicativos ao cone.

Em geral, a velocidade de cravação é padronizada em $20 \text{ mm/s} \pm 5 \text{ mm/s}$, a luva de atrito ou adesão lateral não deve exceder em 0,35 mm o diâmetro do cone, e a ponta deve apresentar um ângulo equivalente a 60° e uma rugosidade menor do que 0,001 mm. A Figura 09 apresenta a geometria característica de um cone elétrico. (MAYNE, 2007).

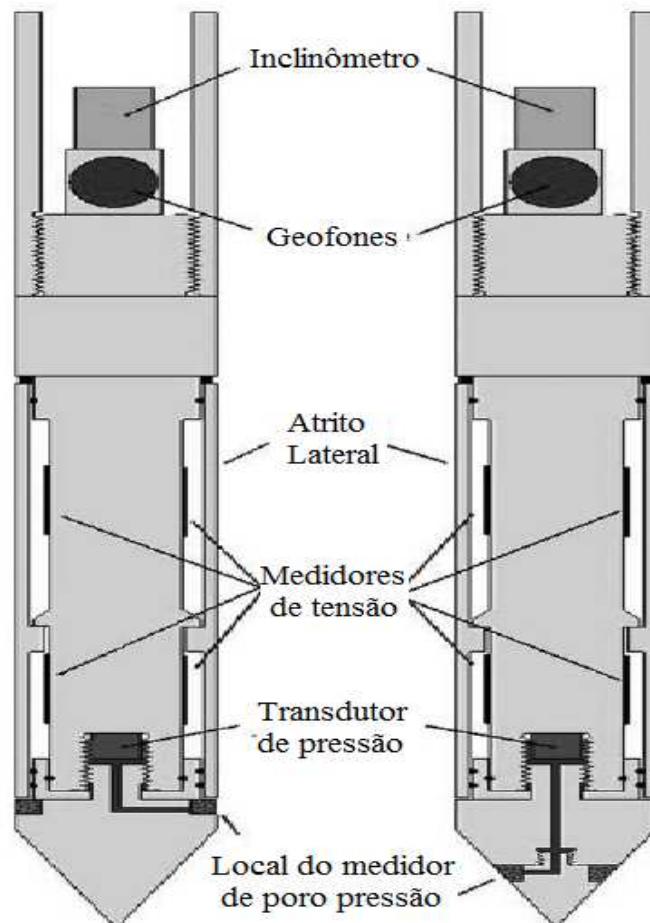


Figura 09 - Geometria básica de um cone (adaptado de Mayne, 2007).

2.5 Resultados de ensaios CPT e CPTu

Nos ensaios CPT, as medidas normalmente realizadas são a resistência de ponta (q_c) e o atrito ou adesão lateral (f_s). A razão de atrito é definida como R_f , sendo utilizada na classificação dos solos (ROBERTSON, 2015). Os resultados de ensaios de cone são dispostos de maneira que o mesmo apresente as medidas em relação à profundidade. Uma representação típica dos resultados deste ensaio pode ser visto nas Figuras 10 e 11.

No caso dos piezocones (CPTu), são medidas as poropressões originadas durante o processo de cravação e com isso define-se um novo parâmetro muito útil para a classificação dos solos, conhecido como B_q , determinado através da Equação 1 (MAYNE, 2007).

$$B_q = \frac{u_2 - u_0}{q_t - \sigma_{v0}} \quad [1]$$

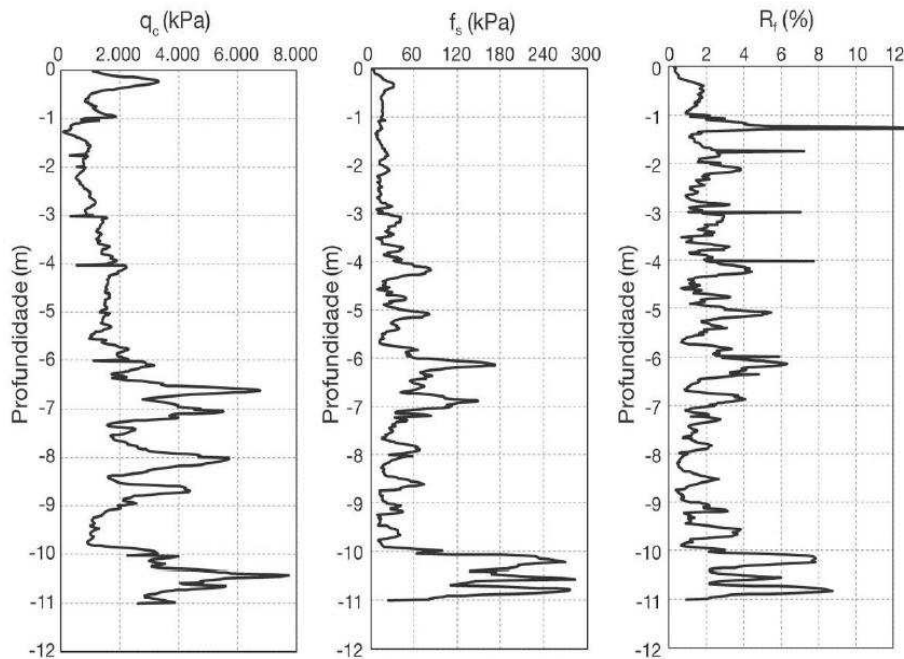


Figura 10 - Resultado de ensaio CPT (Schnaid, 2009).

O monitoramento das poropressões permite a identificação de camadas argilosas de pequena espessura devido a grande sensibilidade dos sensores de poropressão utilizados. De um modo geral, de acordo com o autor, um exemplo típico

das leituras registradas com um piezocone é ilustrado na Figura 11, com as medidas q_t , f_s , u_o , R_f , e B_q em relação à profundidade (ROBERTSON, 2010).

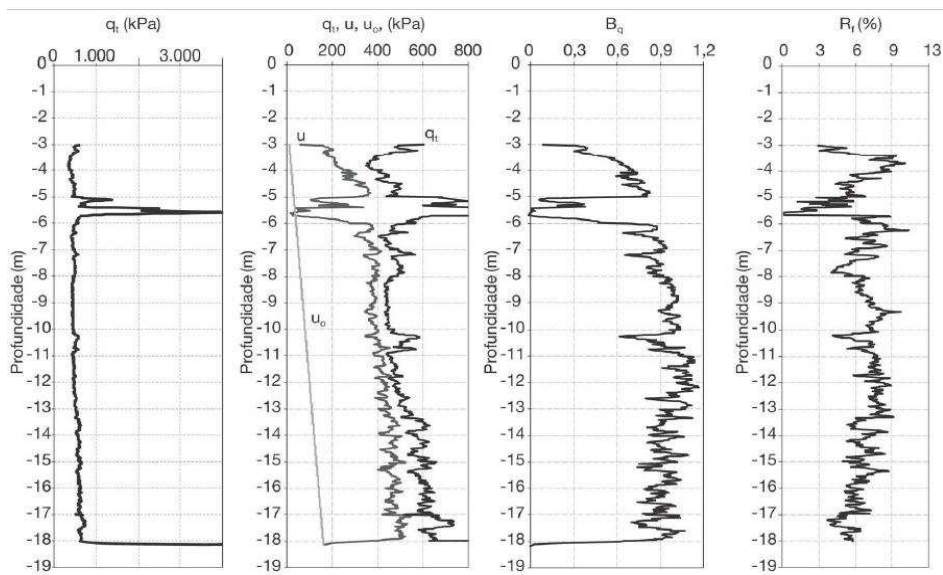


Figura 11 - Resultado de ensaio CPT com medida de poropressão (Schnaid, 2009).

Ainda com relação aos resultados do ensaio CPT e CPTu, Lunne *et al.* (1997), lembram que a resistência de ponta, assim como o atrito lateral tendem a aumentar proporcionalmente a profundidade, devido à tensão de confinamento. Com isso, torna-se importante as devidas correções nos resultados, principalmente em relação as sondagens mais profundas.

2.5.1 Resistência de Ponta (q_c)

Nos solos, a resistência medida na ponta do cone é denominada de resistência de ponta (q_c), com relação aos solos arenosos, os mesmos podem atingir valores da ordem de 10 a 20 MPa, enquanto a razão de atrito (R_f) pode chegar até a ordem de 3 %. Por outro lado, as argilas apresentam tipicamente baixos valores de q_c e valores da razão de atrito superiores a 5 % (SCHNAID, 2000).

De acordo com Schmertmann (1978), em areias normalmente adensadas, o valor de q_c em geral, tende a aumentar com a profundidade, em contraponto no caso de areias sobreadensadas a estimação de q_c permanece constante durante o processo de penetração do cone devido a pressão lateral sobreadensada. Deve-se tomar cuidado, pois o estado sobreadensado pode ser confundido com o estado normalmente adensado quando ocorre o decréscimo da densidade relativa do solo.

2.5.2 Atrito Lateral (f_s)

A medição do atrito lateral foi introduzido em 1953, como relata Begemann (1965). Como pode ser visto na Figura 12, inicialmente a medição do atrito era feita por uma luva (chamada de luva de atrito) que foi introduzida imediatamente acima da ponta cônica, e permitia a medida do atrito ou adesão lateral a cada 20 cm de profundidade. Robertson (2010) relata que com o passar do tempo, a introdução de cones elétricos proporcionou medições mais confiáveis da resistência lateral, principalmente por se tornar contínua e ininterrupta. Existem cones providos com células de carga mais sensíveis para o caso de se investigar as propriedades de solos moles cujos valores de resistência de ponta e adesão lateral são tipicamente baixos. (LUNNE *et al.*, 1997).

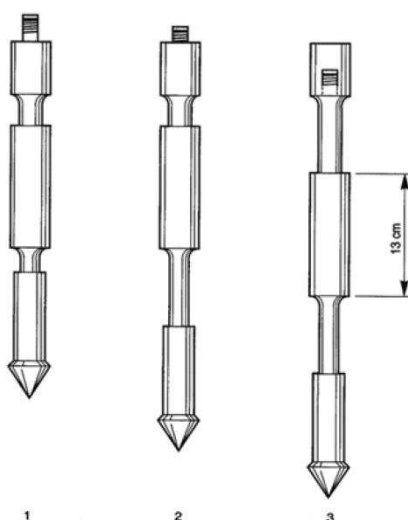


Figura 12 - Cone típico com medição de atrito lateral (Robertson, 2010).

2.5.3 Poropressão (u)

A poropressão registrada na altura da ponta do cone foi introduzida em meados dos anos 70 e é uma medida de suma importância, uma vez que observou-se a sua relevância na correção da resistência de ponta (q_t), principalmente no estudo das propriedades dos solos finos e argila mole, pois estes solos apresentam um incremento da poropressão induzido pela tensão gerada pela cravação do cone. De acordo com Robertson *et al.* (1992), um dos problemas encontrados com relação ao ensaio de CPTu, está na posição do filtro que permite o registro da poropressão durante a cravação do cone.

De acordo com Lunne *et al.* (1997) existem diferentes configurações de posicionamento do filtro dependendo da aplicação a ser feita bem como as propriedades geotécnicas de interesse na investigação. Na Figura 15 observa-se as configurações disponíveis para a medida da poropressão, podendo ser na ponta do cone (u_1), imediatamente atrás da base (u_2) e atrás da camisa de atrito ou adesão (u_3). A Figura 13 apresenta exemplos de elementos filtrantes, sendo os mesmos de plástico (a), cerâmica (b) e aço (c) (SCHNAID, 2010). Já na Figura 16 mostra-se exemplos de cones com diâmetros diferentes, tipicamente com área da ponta de 1 cm², 10 cm² e 15 cm² (Campanella e Robertson, 1982).



Figura 13 - Exemplos de elementos filtrantes (adaptado de Schnaid, 2009).

Quando se utilizam os piezocones é necessária a correção da resistência de ponta medida (q_t) para levar em conta as poropressões que atuam atrás da ponteira do cone, determinado através da Equação 2.

$$q_t = q_c + (1 - a) u_2 \quad [2]$$

sendo "a" a razão entre a área total do cone (área projetada da ponta do cone) e a área remanescente após descontada a área ocupada pelo elemento filtrante, tipicamente este fator "a" varia entre 0,75 e 0,85, sendo determinado de acordo com a Figura 14.

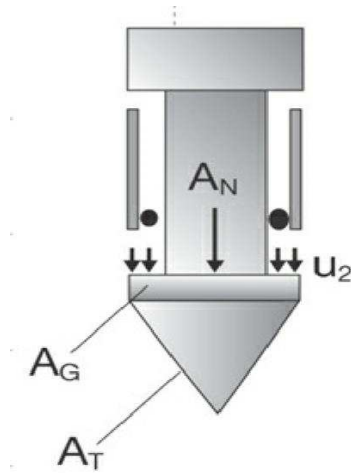


Figura 14 - Presença das áreas para determinação do fator “a” (adaptado de Schnaid, 2009).

Atualmente podem ser encontrados no mercado versões do cone elétrico com diferentes tipos de sensores tais como: temperatura, geofones, pressurômetro, câmeras, resistividade e condutividade elétrica, dielétricos, pH, medidores de oxigênio dissolvido, laser e ultravioleta, fluorescência induzida (LIF/UVOST).

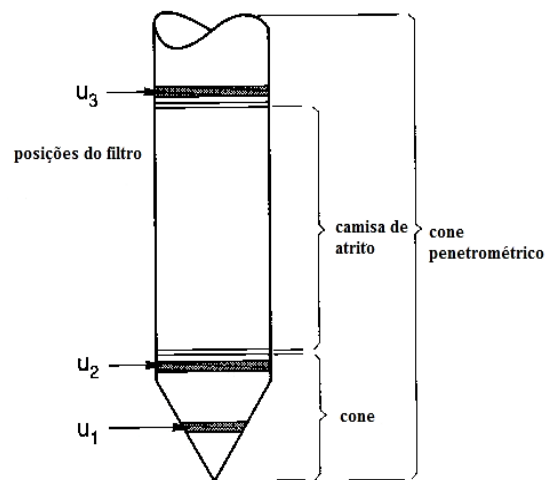


Figura 15 - Terminologia do cone penetrométrico (adaptado de Robertson, 2010).



Figura 16 - Exemplo de cones de diferentes diâmetros (Robertson, 2010).

Com relação à Figura 15, é apresentada a terminologia do cone penetrométrico e com relação à Figura 16, observa-se que no caso dos considerados mini cones, ou aqueles que apresentam menores diâmetros, os mesmos são recomendados para pequenas profundidades. Já os cones mais robustos, são basicamente utilizados em grandes profundidades, além de solos com presença de pedregulhos ou zonas cimentadas (LUNNE *et al.*, 1997).

2.6 Cartas de interpretação para classificação dos solos

A interpretação dos resultados do ensaio CPT foi inicialmente feita a partir de cartas de interpretação baseadas na relação entre q_c e f_s , como a primeira carta de interpretação desenvolvida por Begemann (1963) e mostrada na Figura 17. Em 1965, a Fugro desenvolveu o cone elétrico, que foi o protótipo dos cones atuais. Houve melhorias na medição da resistência de ponta e da resistência lateral, além da realização do ensaio de penetração de forma contínua sem alternar movimentos da ponta cônica e luva de atrito. A partir de 1974, foi incorporado os medidores de poropressão, gerando os atuais piezocones, em que se permite ao interessado a classificação dos solos através do índice de poropressão (B_q), sendo bastante importante na utilização em solos moles devido a geração de poropressão ser elevada e, em contrapartida, os valores de resistência de ponta serem baixos (ROBERTSON, 2010).

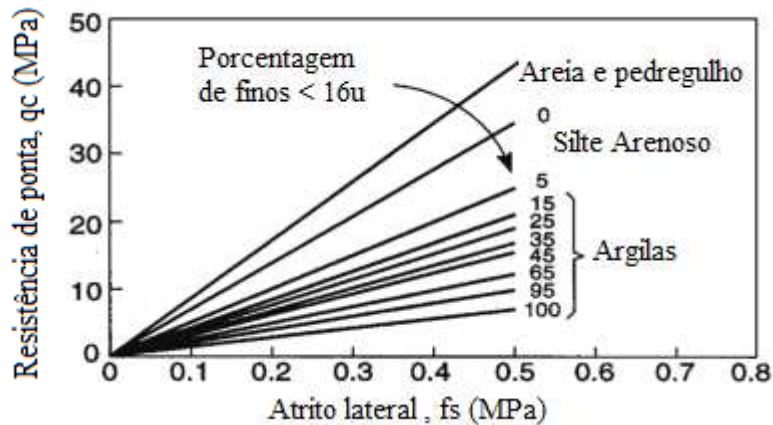


Figura 17 - Ábaco para classificação do tipo de solo (adaptado de Robertson, 2010).

Entende-se que um dos principais objetivos da utilização do CPT é a identificação do devido perfil do solo através das cartas de classificação dos solos. Com relação aos ábacos para classificação dos solos, Schmertmann em 1969 foi o precursor em relação ao emprego de uma carta que, a partir dos valores de resistência de ponta (q_c) e razão de atrito (R_f) apurado com cones elétricos, pudesse chegar a um solo característico.

A necessidade de aprimorar o processo de classificação dos solos, induziu diversas pesquisas que sugeriram a interpretação através dos resultados do ensaio de cravação do piezocone. Uma das cartas de classificação mais utilizadas é o ábaco sugerido por Robertson *et al.* (1990), em que o mesmo utiliza valores da resistência de ponta normalizado (Q_{tn}), correlacionando com a razão de atrito também normalizado (Fr). De acordo com Mayne (1995) um dos pontos favoráveis em relação a utilização desta carta, é que além da classificação dos solos, o ábaco também demonstra as possíveis tendências de densidade relativa (D_r), a sensibilidade (S_u), o índice de vazios (e) e o histórico de tensões (OCR).

As principais cartas de classificação e interpretação dos tipos de solo quanto ao comportamento (SBT – *Soil Behavioral Type charts*) estão listadas a seguir. Lembrando que a maioria destas análises leva em consideração as metodologias que relacionam os valores de $q_c \times R_f$, conforme a Figura 18, ou valores de $Q_{tn} \times Fr$, conforme a Figura 19.

- Begemann (1965): $q_c \times fs$
- Schmertmann (1969): $q_c \times R_f$

- Douglas e Olsen (1981): $q_c \times F_R$
- Jones & Rust (1982): $\Delta u \times B_q$
- Senneset & Janbu (1984): $q_t \times B_q$
- Robertson *et al.* (1986): $q_t \times B_q$ e $q_t \times R_f$
- Robertson (1990, 2010): $Q_{tn} \times B_q$ e $Q_{tn} \times F_R$
- Schneider *et al.* (2008).

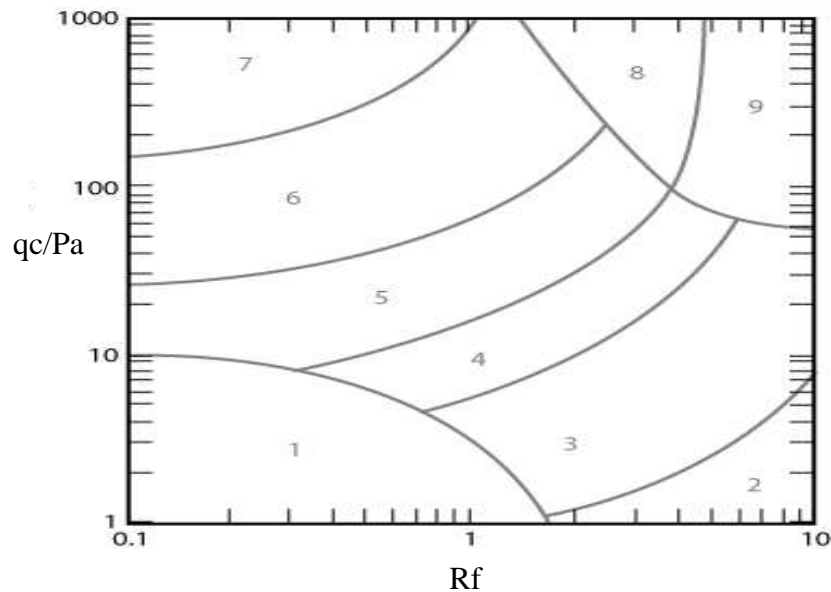


Figura 18 - Carta de interpretação do ensaio CPT (Robertson *et al.*, 1986).

- Sendo:
- 1** – Solos sensitivos de granulação fina
 - 2** – Solos orgânicos - argila
 - 3** – Argila – argila siltosa a argila
 - 4** – Misturas siltsas – silte argiloso a argila siltsas
 - 5** – misturas arenosas – areia siltosa a silte arenoso
 - 6** – Areias – areias puras a areias siltsas
 - 7** – Areias com pedregulhos a areias compactas
 - 8** – Areia argilosa a areia siltosa muito rija (solo sobre adensado)
 - 9** – Solo fino muito rijo* (solo sobre adensado)

Na utilização das SBT's para interpretação dos resultados dos ensaios CPT e CPTu pode ser importante considerar os efeitos da profundidade nas leituras (Figura 20), assim deve-se normalizar os parâmetros dos ensaios CPT/CPTu em relação às tensões na forma, através da Equações 3, 4 e 5 (ROBERTSON, 2010):

$$Q_{tn} = (q_t - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0} \quad [3]$$

$$F_R = 100 f_s / (q_t - \sigma_{v0}) \quad [4]$$

$$B_q = (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma_{v0}) \quad [5]$$

sendo:

σ_{v0} = tensão total vertical, u_0 = pressão hidrostática, e $\sigma'_{v0} = \sigma_{v0} - u_0$ = tensão efetiva vertical.

De acordo com Mayne (2007), Robertson & Wride (1998) introduziram o parâmetro Ic (Índice de tipo de desempenho de solo), que pode representar as zonas de tipos de solos na forma normalizada. Valores de Ic representam os raios de círculos concêntricos que definem as fronteiras das regiões de cada tipo de solo, como mostrado na Equação 6 (Figura 19 e Figura 21):

$$Ic = [(3.47 - \log Q_{tn})^2 + (\log Fr + 1.22)^2]^{0.5} \quad [6]$$

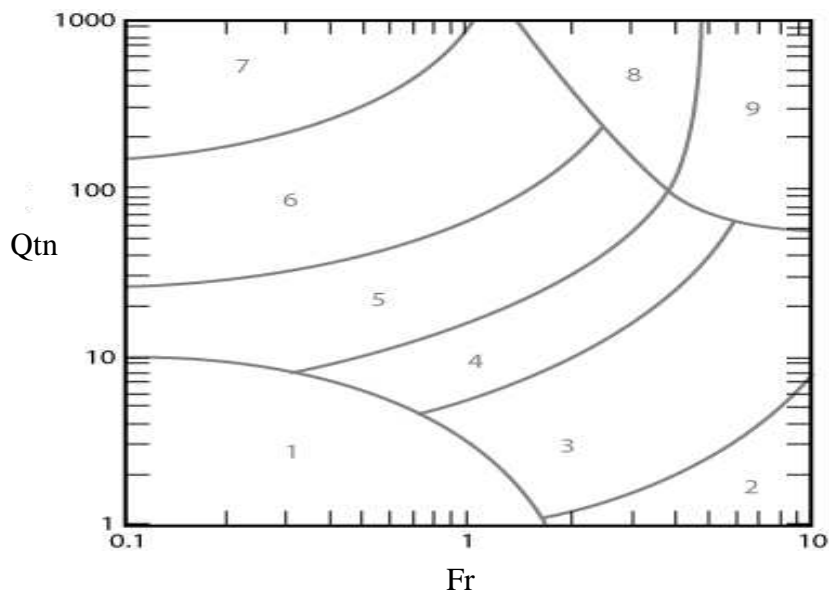


Figura 19 - Carta de interpretação do ensaio CPT (adaptado de Robertson, 1990 e 2010).

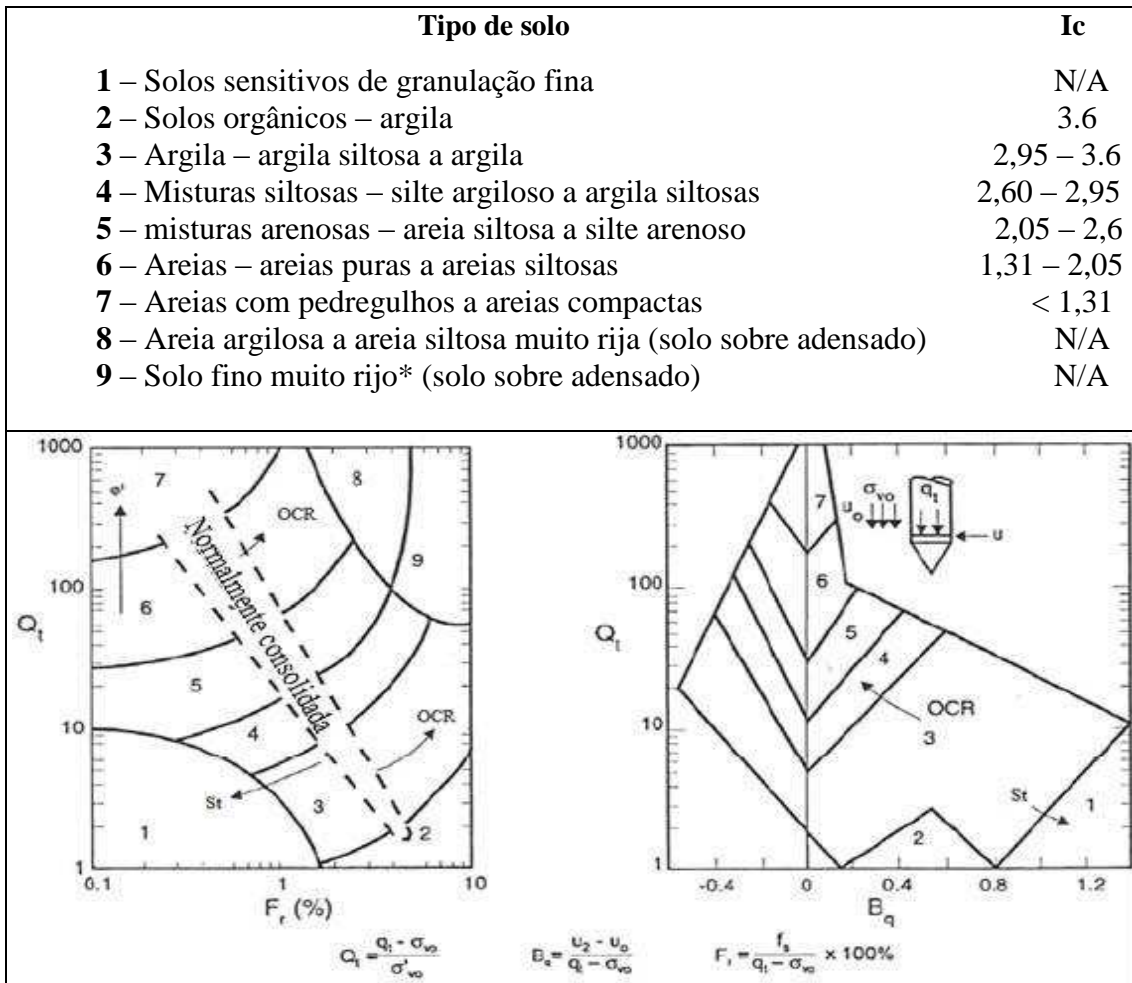


Figura 20 - Carta de interpretação do ensaio CPT (adaptado de Robertson, 2010).

$$\text{Nota } Q_m = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{(\sigma_{vo} \cdot \sigma_{am})^n}$$

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log Q_m)^2 + (1.22 + \log F_r)^2}$$

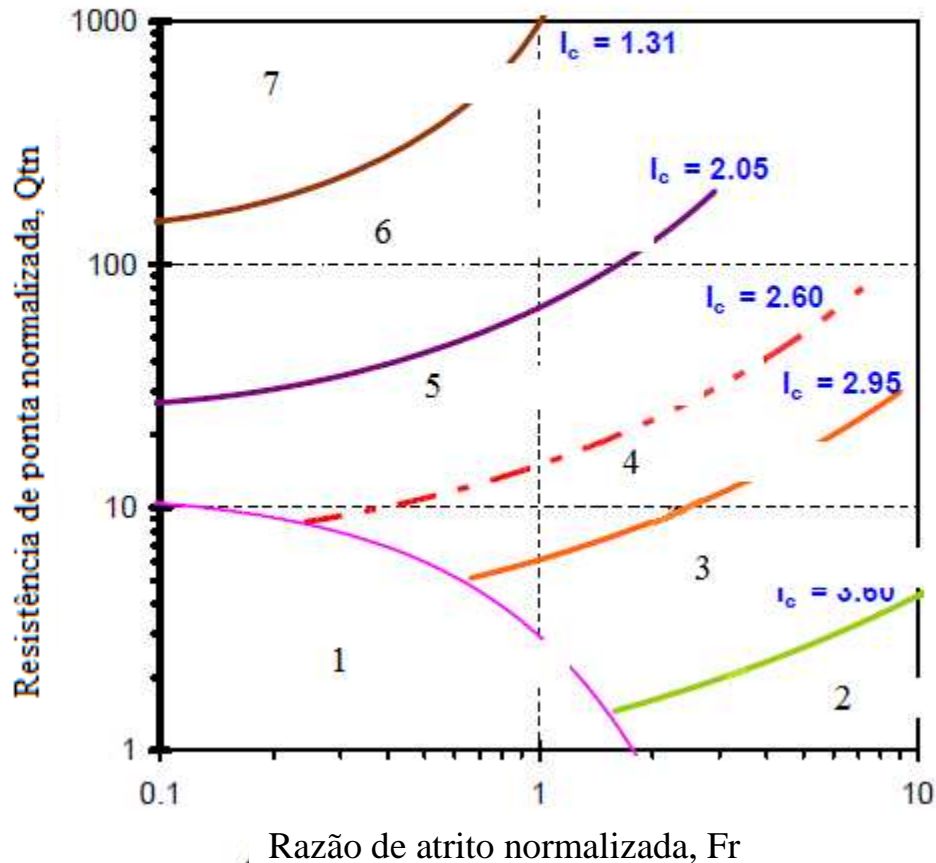


Figura 21 - Carta de interpretação do ensaio CPT (normalizada) usando o Índice de material (I_c) (adaptado de Robertson, 2009).

A análise e interpretação dos resultados dos ensaios CPT, que são a resistência de ponta (q_c), a resistência lateral (atrito ou adesão, f_s), e no caso do ensaio CPTu, a resistência de ponta total (q_t), a resistência lateral atrito ou adesão (f_s), e a poropressão (u), é feita através das cartas de interpretação como as mostradas nas Figuras anteriores, que permitirão o traçado do perfil do subsolo com a descrição das respectivas camadas de solo com as respectivas espessuras.

Para automatizar esta tarefa foi desenvolvido um software dedicado e em linguagem visual com interface amigável para facilitar as tarefas e cálculos preliminares que são necessários para utilizar adequadamente as cartas de interpretação. Esta é uma tarefa repetitiva e pode envolver milhares de consultas dependendo da frequência com

que é realizada a coleta dos dados primários do ensaio CPT (via de regra, 1 leitura/segundo).

Na Figura 22 observa-se de forma resumida o algoritmo básico para análise e interpretação de resultados de ensaios CPT e CPTu.

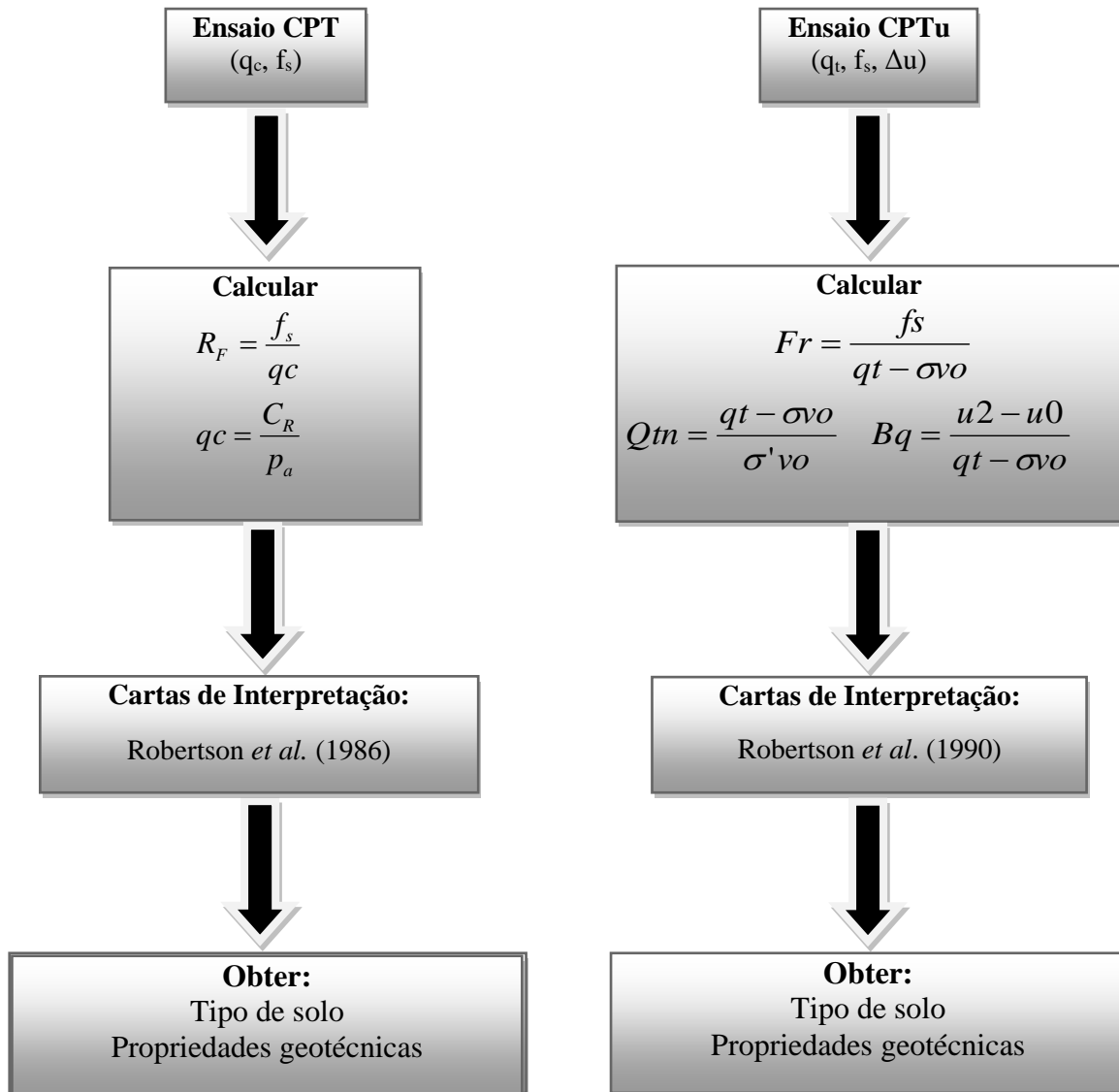


Figura 22 - Algoritmo para análise dos resultados de ensaios CPT/CPTu.

2.7 Parâmetros geotécnicos dos solos

Além da interpretação do tipo de solo para a definição do perfil típico do subsolo, existem inúmeras correlações entre os resultados dos ensaios CPT e CPTu (q_c , q_t , f_s e u) e as propriedades geotécnicas do solo tais como: densidade relativa das areias; coesão e ângulo de atrito (c e ϕ); módulo de elasticidade; razão de sobreadensamento; peso específico do solo.

Ao longo dos anos, tais propriedades foram verificadas experimentalmente tanto em ambiente de laboratório, como *in situ*, através da comparação de valores previstos destes parâmetros com resultados de ensaios de calibração em modelos reduzidos em câmaras de calibração. (LUNNE, *et al.*, 1997).

Ainda sobre as correlações derivadas através dos resultados obtidos no ensaio CPT-CPTu, Robertson (2015) apresenta um estudo que determina a confiabilidade e aplicabilidade dos resultados iniciais para a determinação de parâmetros geotécnicos, a qual pode ser vista na Tabela 01.

Tabela 01 - Aplicabilidade do CPT-CPTu para derivar parâmetros do solo. (adaptado de Robertson, 2015).

Tipo de Solo	Dr	ko	OCR	St	Su	ϕ'	E	M	Go	k	ch
Areias	2-3	2-3	5	5		2-3	2-3	2-3	2-3	3-4	3-4
Argilas		2	1	2	1-2	4	2-4	2-3	2-4	2-3	2-3

1: Alto

2: Alto – Moderado

3: Moderado

4: Moderado – Baixo

5: Baixa Confiabilidade

2.7.1 Densidade relativa das areias (Dr)

Observa-se que em solos granulares, em especial areias limpas que apresentam valores de até 15% de finos, o estudo de densidade relativa é aplicado em ensaios *in situ* por meio do ensaio CPT (MAYNE, 2007). De acordo com Robertson (2010), durante muito tempo os engenheiros ligam os dados encontrados através do parâmetro de densidade relativa com os depósitos de areias. Ainda segundo o autor, entende-se que os

efeitos de densidade relativa do solo, além das tensões *in situ*, controlam o resultado de resistência do CPT, uma vez que a presença de areias mais compressíveis indica uma menor resistência à penetração.

Diversos estudos apontam correlações para a determinação de densidade relativa, que são utilizadas levando-se em consideração a resistência de penetração e as tensões efetivas do solo. Uma das mais conhecidas e difundidas, pode ser encontrada na Figura 24, sendo que a Equação 7 também é utilizada para apresentar o valor de D_r .

$$D_r = -98 + (66 \times \log_{10} (q_c / \sigma'_{vo})^{0.5}) \quad [7]$$

sendo q_c = resistência de ponta (kPa) e σ'_{vo} = tensão vertical efetiva (kPa)

De um modo geral, Schnaid (2000) cita que um dos fatores que contribuíram para que pudesse chegar a estas correlações, está diretamente ligado ao uso de câmaras de calibração e com isso pode-se utilizar resultados em situações relacionadas à engenharia. Entende-se, que as correlações fornecem uma estimativa com um estado de precisão de $\pm 20\%$. Em geral, as correlações apresentam resultados satisfatórios em solos normalmente adensados (NA).

Como citado, outras correlações podem ser empregadas nas concepções de engenharia, para a determinação de densidade relativa, como apresentada na Figura 23.

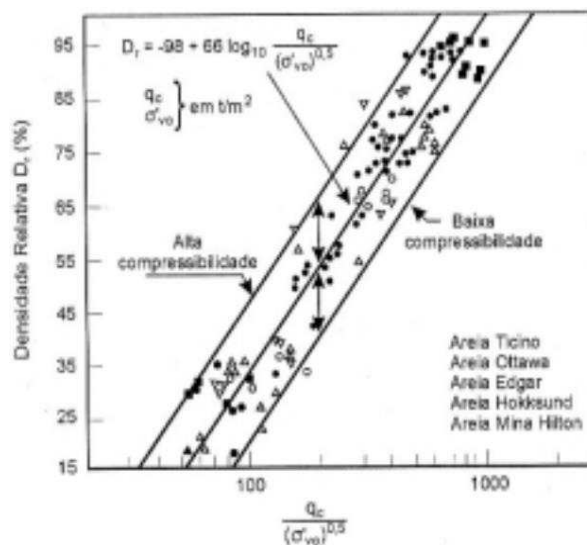


Figura 23 - Densidade relativa através de q_c (Jamiołkowski *et al.* 1985)

De acordo com Lunne *et al.*, (1997) outras previsões podem ser utilizadas para a determinação de densidade relativa (D_r), através da relação entre resistência de ponta do cone (q_c) e tensão vertical efetiva (σ'_v). Uma proposta por Robertson & Campanella (1983), pode ser vista na Figura 24.

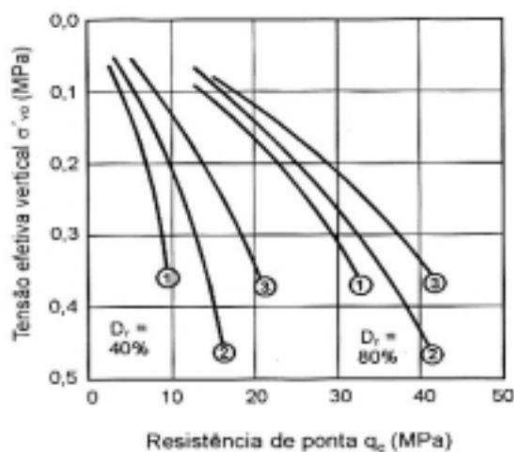


Figura 24 - Relação entre q_c , σ'_v e D_r (Robertson e Campanella, 1983).

2.7.2 Resistência ao cisalhamento ou coesão não drenada (S_u)

A utilização dos resultados do ensaio do cone para a determinação de valores de resistência ao cisalhamento (S_u) deve ser tratada com o auxílio de conteúdos empíricos. Lembrando que deve-se priorizar a sua utilização em depósitos de materiais finos, característico por presença de solos argilosos (ROBERTSON, 2015).

De acordo com Mayne (2007) deve ser tomado o devido cuidado sobre a utilização de valores de S_u para projetos de engenharia, baseados no ensaio do cone. Pois, entende-se que o resultado da resistência referente à penetração no ensaio do cone, pode ser aproveitado na estimativa da resistência ao cisalhamento do solo, porém, deve-se levar em consideração efeitos da direção do carregamento, as taxas de deformação do solo, além dos níveis de tensão. Ainda segundo o autor, através da Equação 8 apresentada a seguir, pode-se determinar os valores de S_u .

$$S_u = (q_c - \sigma'_v) / N_{kt} \quad [8]$$

Com relação aos valores para a estimativa de N_{kt} (fatores de capacidade de carga) ou até N_{kt} , quando se trata da resistência de ponta corrigida, em solos finos, o valor pode ser arranjado através de um modo simples, quando relaciona o valor de

resistência de ponta do cone (q_t) com a resistência não drenada (S_u) alcançadas através dos ensaios de Palheta. Um exemplo claro no qual possibilita a determinação direta do fator, pode ser visualizado na Figura 25. (SCHNAID, 2000). Outro método para a determinação do fator de capacidade de carga, foi sugerido por Robertson (2015), que pode ser visto na Equação 9.

$$N_{kt} = 10,50 + 7 \times \log (Fr) \quad [9]$$

sendo Fr = Razão de atrito normalizada (%)

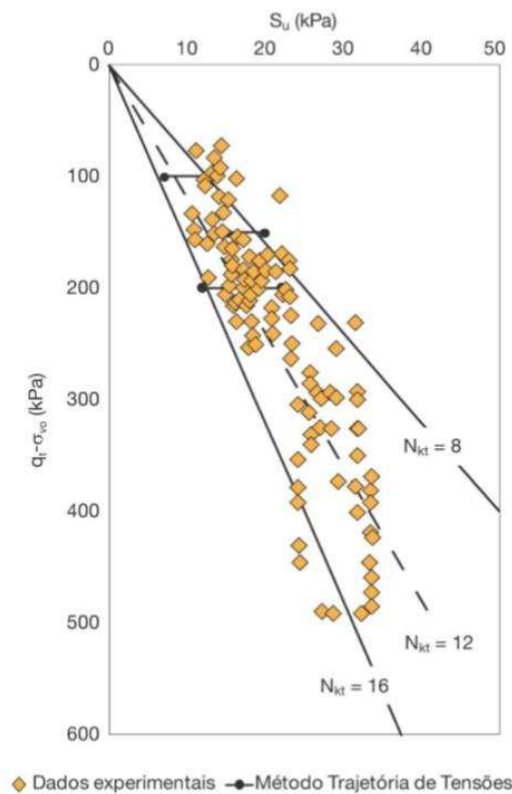


Figura 25 – Relação entre q_c , σ'_{vo} e S_u (Robertson e Campanella, 1983).

2.7.3 Módulo de elasticidade (E)

De acordo com Schnaid (2000) sobre o parâmetro relacionado ao módulo de deformabilidade (E), entende-se que há restrições sobre a sua estimativa durante a penetração do cone. Já Robertson (2015), cita que um dos grandes problemas encontrados na obtenção do módulo de deformabilidade, está ligado diretamente pelo fato de que o valor final é uma função que depende diretamente da história de tensões, das deformações cisalhantes do solo estudado e das características mineralógicas do mesmo.

Assim como em outros parâmetros, no módulo de deformabilidade existem inúmeras correlações que utilizam a resistência à penetração do cone (q_c) para a obtenção do resultado. Sendo assim, Schnaid (2000) menciona que a determinação deste parâmetro pode ser obtida através da Equação 10, recomendada por Baldi *et al.* (1982), no qual abrange 25 % da tensão, conhecida como tensão desviadora máxima.

$$E_{25} = 1,5 q_c \quad [10]$$

2.7.4 Histórico de tensões (OCR)

Segundo Mayne (2007) o histórico de tensão de um solo é melhor classificado em ensaios de laboratório, através de experiências que levam em consideração carregamentos unidimensionais. Para a determinação do valor de OCR, utiliza-se a relação entre a tensão de pré-adensamento e a tensão vertical efetiva.

De um modo geral, Lunne, *et al.* (1997), Schnaid (2009) e Robertson (2010) relatam que em muitas pesquisas a estimativa do histórico de tensões acaba sendo um parâmetro de suma importância, pois, através do valor da pressão de pré-adensamento (σ'_{vm}), o mesmo pode influenciar em uma análise de comportamento do solo, principalmente quando se pretende analisar depósitos de solos argilosos.

A busca por modelos que apresentem estimativa do valor de OCR a partir dos resultados de CPTu levou a muitas pesquisas relacionadas ao assunto. Sendo assim, Robertson (2015) recomenda a sua determinação através da Equação 11, uma vez que a proposta foi baseada em inúmeros resultados de piezocone, sendo as mesmas aplicadas para a aferição da tensão de pré-adensamento levando em consideração a resistência da ponta do cone normalizada (Q_{tn}).

$$OCR = 0.25 (Q_{tn})^{1.25} \quad [11]$$

Entende-se que, em geral, as porções de solo que estiverem sobre carregamento considerado abaixo do valor de σ'_{vm} , terão suas deformações consideradas pequenas e de caráter reversível, em contrapartida, os valores que tendem a ser maiores que aqueles conhecidos por σ'_{vm} , o comportamento do solo será de modo plástico, irreversível e tendo uma intensidade considerável.

2.7.5 Peso específico do solo (γ)

Segundo Mayne (2007), normalmente um dos parâmetros fundamentais quando se pretende utilizar dados de entrada do ensaio CPT está relacionado ao peso unitário do solo em condições naturais. Através do mesmo pode-se determinar o estresse provocado devido à sobrecarga do solo em relação as camadas ensaiadas, cálculo este importante para produzir resultados normalizados. Sendo assim, ROBERTSON (2015) propôs uma correlação através da Equação 12, que pode ser usada como sugestão.

$$\gamma/\gamma_w = 0.27 [\log R_f] + 0.36 [\log(qt/p_a)] + 1.236 \quad [12]$$

sendo γ_w = peso específico da água (kN/m^3), R_f = Razão de atrito (%), qt = resistência de ponta corrigida (kPa) e p_a = pressão atmosférica = 100 kPa

2.7.6 Ângulo de atrito (θ)

Uma outra aplicação do ensaio CPT está diretamente ligada à descoberta do valor de ângulo de atrito, que compreende à resistência ao cisalhamento dos solos granulares (ROBERTSON, 2010). Segundo Mayne (2007), assim como na estimativa de parâmetros para densidade relativa, os valores referentes ao ângulo de atrito passaram por um processo de correção através de câmaras de calibração para que pudesse ser realizado um devido ajuste.

De acordo com Robertson (2015), quando se pretende analisar valores em camadas de solos finos como em depósitos de solos argilosos, o ensaio CPT apresenta pouca utilidade, sendo assim, o mais usual é realizar ensaios triaxiais de consolidação. Ainda segundo o autor, frequentemente os valores utilizados para a determinação de ângulo de atrito aproxima-se de 28° para solos argilosos e 32° quando solos granulares são avaliados.

Para auxiliar na determinação dos valores de ângulo de atrito, algumas correlações são apresentadas, sendo elas oferecidas ou baseadas em experiências anteriores para diversos tipos de materiais. Sendo assim, Robertson (2015) e Mayne (2007) citam uma formulação apresentada por Kulhawy and Mayne (1990), que trabalha com presença de materiais arredondados e não cimentados. A relação citada é apresentada na Equação 13.

$$\sigma = 17.6 + 11 \log (Q_{tn})$$

[13]

sendo: Q_{tn} = resistência de ponta normalizada (kPa)

2.8 Programação orientada a objeto e linguagem visual

Segundo Veríssimo e Carvalho (1997), entende-se que, de uma maneira geral, os programas gráficos são essencialmente desenvolvidos por objetos, sendo eles: janelas, menus, speedbar, botões e outros componentes, além de um ambiente de trabalho. Os objetos gerenciam dados e artifícios e são tratados de uma forma que os mesmos possam modificar outros dados ou construir novas aplicações. Ainda segundo o autor, as linguagens consideradas visuais e as suas programações tiveram um crescimento elevado com o aparecimento de algumas linguagens teoricamente mais simples e mais claras como é o caso do Pascal, Visual Basic e o C++.

De uma maneira geral, diversos são os fatores que tornam o uso de uma linguagem de programação agradável e cada vez mais usual, pois entende-se que a utilização da mesma possui inúmeras vantagens. A seguir, algumas dessas características são citadas, apontando assim as suas vantagens (PENROD, 1995):

- Simples: apresenta uma construção do componente de maneira muito simples que admite ao usuário programar facilmente de uma forma clara e orientada a objetos;
- Segura: o código que será de certa forma executado não pode ser alterado facilmente;
- Multitarefa: considera-se que, em um mesmo algoritmo, podem ter múltiplos processos sendo executados de forma simultânea;
- Robusta: o programa final acaba sendo executado de forma confiável, não permitindo assim erros indesejáveis.

2.8.1 Breve histórico da utilização de modelos computacionais na geotecnia

Com base na referência apresentada por Burland (1987), o mesmo buscou praticar e implementar em sua metodologia de ensino uma simulação que procurava aprimorar os dados relacionados ao ensaio de adensamento. De certa forma, na época concluiu-se que a implementação de recursos relacionados a informática, estimulava os

alunos e induzia os mesmos a uma nova forma de aprendizado, que resultava em um maior envolvimento do discente com o tema, assim como com a linguagem de programação de um modo geral.

De acordo com Nascimento (2009), uma das primeiras utilizações de recursos provenientes da informática, foi desenvolvida através de um sistema operacional DOS, o software denominado GEOTEK (1986). De início, o software era caracterizado por apresentar no seu pacote diversos programas que abrangiam algumas áreas da engenharia geotécnica, podendo citar a redução dos dados em relação aos ensaios de caracterização, a classificação de solos, o processo de compactação e adensamento, a distribuição de tensões, cálculo de recalques, entre outras aplicações. De início, um dos usos do GEOTEK foi imaginado para ser utilizado na comunidade acadêmica, como forma de auxiliar o ensino dos docentes.

Alguns outros softwares foram desenvolvidos com o intuito de fornecer novos métodos de aprendizado, um deles chamado de ESP98 (Effective Stress Program) que tinha como objetivo a modelagem das tensões efetivas (OLIVER e OLIPHANT, 1999). Ainda de acordo com o autor, concluiu-se que o mesmo programa apresentou uma excelente aceitação e a eficácia do software foi resultado de um bom intercâmbio entre o usuário e o produto final.

CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente realizou-se uma revisão bibliográfica detalhada dos principais aspectos da interpretação e análise de dados de ensaios CPT visando a adaptação e localização dos métodos atualmente em uso no âmbito mundial. Em seguida, dedicou-se um tempo para o desenvolvimento do software de interpretação dos resultados de ensaios CPT em linguagens visuais e com interfaces amigáveis para o usuário. Numa terceira fase, confrontou-se resultados das análises do software desenvolvido com dados reais de ensaios realizados in situ de modo a fazer os ajustes e correções necessárias para a atualização do software de análise de dados de ensaios CPT.

3.1 Etapas de pesquisa

De certa forma, uma boa concepção pode facilitar um futuro entendimento dos processos que serão aplicados na pesquisa. Analisando isso, a seguir será esclarecido a estruturação da pesquisa. Na etapa de desenvolvimento, serão levados em consideração alguns fatores que serão necessários para a realização do estudo. Na Figura 26 são apresentados alguns desses fatores, sendo eles:

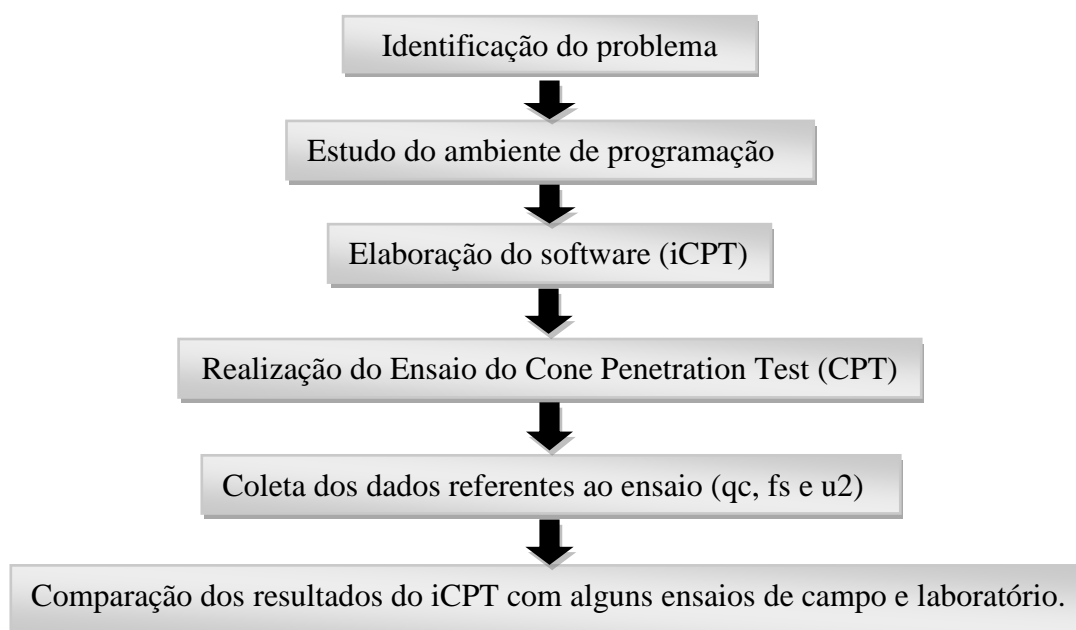


Figura 26 – Algoritmo utilizado para realização da pesquisa.

No decorrer do projeto, com o software já criado, seria feita a aplicação do modelo computacional. Com isso, a sequência do projeto consistiu no emprego e coleta de dados referentes a aproveitamento do software. Por último, com a coleta dos dados reunidos após a aplicação do software, será exibido os resultados, identificando se o modelo computacional possui uma eficácia e se o mesmo atendeu ao que está sendo proposto. Para que isso ocorra, a seguir estão apresentadas algumas metodologias:

- Utilizar o software para análise e interpretação dos resultados do ensaio CPT realizado pela empresa PTS Pesquisas Tecnológicas do Solo Ltda;
- Teste do Software criado durante a pesquisa;
- Comparação entre os resultados de outros ensaios de campo e laboratório com os disponibilizados pelo iCPT;
- Avaliações qualitativas do potencial do software.

3.2 Materiais

Nesta pesquisa foram analisados resultados de ensaios CPT, SPT, DMT e realizados ensaios de laboratório na região da Zona da Mata, localizados no Campo Experimental de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa em Minas Gerais de acordo com a Figura 27.



Figura 27 - Local da realização dos ensaios.

As cartas de interpretação a serem utilizadas estão apresentadas nas Figuras 28 e 29. A escolha das cartas foram pelo fato das mesmas serem bastante difundidas no meio da engenharia geotécnica e apresentarem resultados satisfatórios com relação a classificação dos solos e determinação de parâmetros geotécnicos.

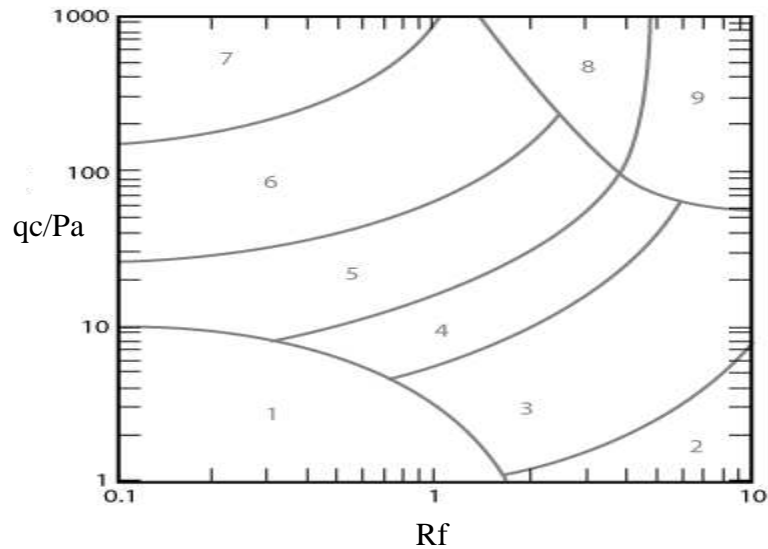


Figura 28 - Cartas de interpretação Robertson 1986, 1990 – 2010 (Robertson, 1990).

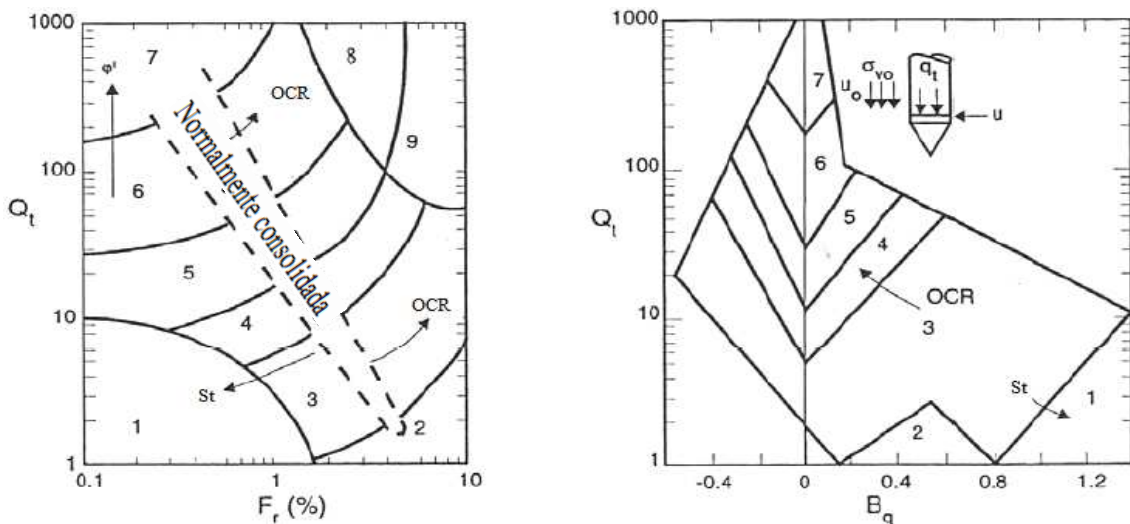


Figura 29 - Cartas de interpretação Robertson 1990 – 2010 (Robertson, 2010).

Para a estimativa das propriedades geotécnicas dos solos foram utilizadas as correlações propostas por Lunne *et al.* (1997), que descrevem com propriedade o estado da arte referente à análise e interpretação dos resultados de ensaios CPT e CPTu.

Dentre as principais propriedades geotécnicas estimadas destacam-se: densidade relativa, D_r ; resistência ao cisalhamento ou coesão não drenada, S_u ; histórico

de tensões, OCR; módulo de elasticidade, E; ângulo de atrito efetivo, ϕ' ; peso específico do solo, γ ;

3.3 Métodos

Para a análise dos resultados de ensaios CPT será utilizado o software desenvolvido e que será parte integrante da análise dos dados de ensaios in situ. Em se tratando da construção da plataforma digital, foi utilizada a ferramenta Borland Delphi 5.0, desenvolvida pela Borland Software Corporation, que utiliza como linguagem de programação o Pascal, conhecida também como Object Pascal. O Departamento de Engenharia Civil da UFV possui licença de uso desta ferramenta.

Os resultados obtidos via cartas de interpretação de ensaios CPT/CPTu foram comparados e confrontados com os resultados fornecidos pelos ensaios SPT, DMT e ensaios de laboratório.

3.3.1 Delphi

Conhecido como uma linguagem visual de programação, o Delphi têm a sua origem no compilador Pascal, em que as primeiras referências sobre a utilização do mesmo remete-se a sua utilização como uma linguagem didática, que foi implantada pelo professor Wirth, na Universidade de Zurich na Suíça. Após anos de aperfeiçoamento do Pascal e com uma nova maneira de projetar a interface do programa de uma forma visual e não escrevendo os comandos, surgiu-se então o Delphi no ano de 1995. De modo geral, o Delphi é um sistema (conjunto de programas) que inclui compilador, editor, depurador e um ambiente visual de projeto de interface (VERÍSSIMO e CARVALHO, 1997). Na Figura 30, é apresentado o Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) do Delphi, que foi utilizado para a concepção da plataforma.

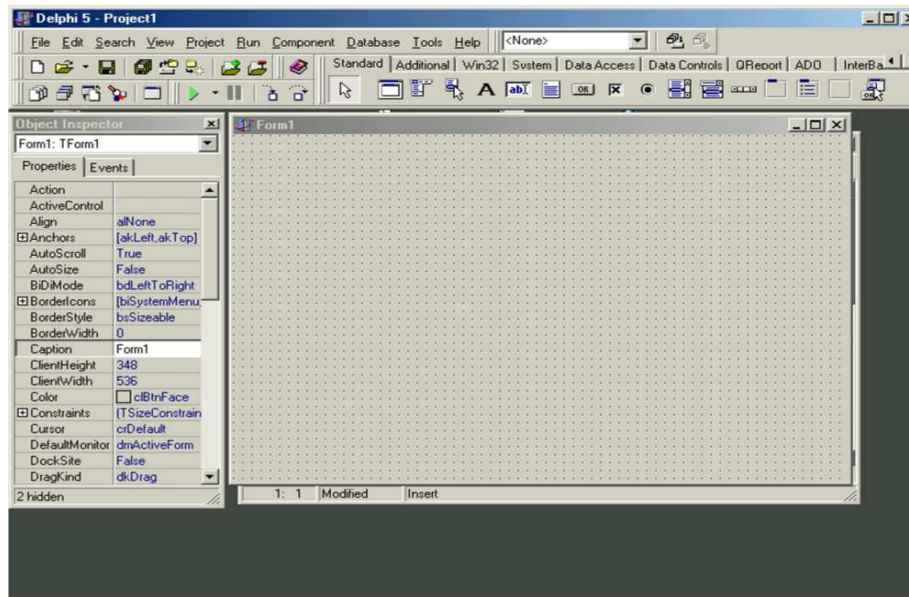


Figura 30 - Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE).

3.3.2 Digitizer

O Digitizer é um software livre que permite a digitalização de gráficos 2D no formato digital e em uma escala especificada pelo usuário. A Figura 31 ilustra o Digitizer, que é um programa usado para dados funcionais. Assim, é possível converter um gráfico impresso em papel em um arquivo gráfico digitalizado e com uma escala definida. Os dados encontrados no Digitizer são apresentados em relatórios e referências do tipo XY através de bloco de notas. A versão utilizada nesta pesquisa encontra em domínio público.

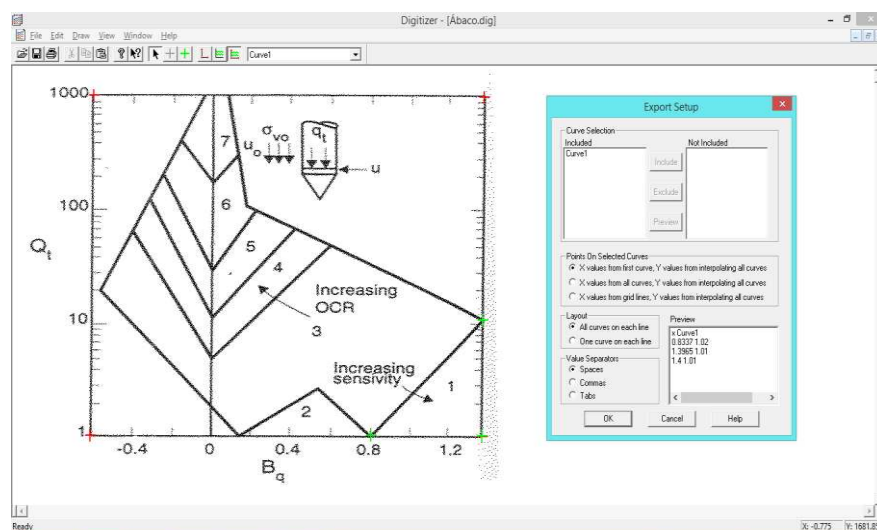


Figura 31 – Exemplo de marcação das coordenadas para a formação de regiões/polígonos no Digitizer.

3.4 Desenvolvimento da pesquisa

Neste tópico, demonstrou-se todas as metodologias que foram utilizadas para diversas etapas da pesquisa em questão. De início, apresenta-se todos os procedimentos utilizados para a criação da plataforma digital iCPT. Em seguida, procurou-se detalhar de forma clara toda a sua implementação. E como objetivo de validação do software, finalizou-se a pesquisa com a demonstração das ferramentas utilizadas para a concepção das avaliações qualitativas.

3.4.1 Estratégias para a criação do software iCPT

Entende-se que a codificação e a criação de um modelo computacional, envolve um certo tempo. De acordo com alguns cadernos eletrônicos, percebe-se que o prazo estende por um tempo relativamente grande, pois o processo de criação passa pela supervisão de um professor ou orientador competente e de um modo geral a linguagem trabalha com experiência de tentativa e erro, principalmente quando não se detém de experiência sobre a linguagem de programação.

Com relação a programação, a mesma pode conter uma quantidade considerável de linhas de código em linguagem visual. Porém, por outro lado, um dos fatores que favorecem o seu emprego é a maneira que o mesmo pode ser reutilizado e corrigido (CORNELL e STRAIN, 1996). Ainda segundo o autor, no desenvolvimento de qualquer plataforma digital, observa-se que o mesmo é um processo que possui um conjunto de ligações devidamente ordenado, em que o objetivo deve-se ser atingido por uma série de atividades, métodos, práticas e possíveis mudanças.

Quanto à preparação do software iCPT, observou-se e analisou-se alguns softwares encontrados no mercado, que apresentavam a mesma função e objetivo, porém, em língua estrangeira, como por exemplo o CPeT-IT2, desenvolvido pela empresa GREGG. Com isso, a partir das informações encontradas, pode-se traçar um modelo satisfatório e que condizia com aqueles encontrados e já consagrados em meio à engenharia geotécnica.

Uma das principais funções de qualquer software, é sempre a busca por um produto final que tenha uma qualidade e aceitação ideal. Como regra geral, uma das maneiras para atingir este objetivo é através de um aperfeiçoamento de toda a técnica.

Citando o Delphi, que foi a linguagem escolhida para a concepção da plataforma, a mesma apresenta uma gama de ferramentas que auxilia no processo de construção do software, através de uma série de operações, que vai desde a análise das linhas de programação, até a sua manutenção, passando por construção do programa e testes.

Alguns autores, como por exemplo Rus e Lindvall (2002) deixam claro que, em qualquer desenvolvimento de uma plataforma digital, quando pretende-se criar algo e não se detém de conhecimentos aprofundados, inúmeros são os rascunhos ou documentos elaborados. Com isso, as informações produzidas devem ser guardadas, pensando que em certo ponto a mesma pode ser reutilizada em algum projeto futuro, como forma de incremento.

De um modo geral, Sommerville (2007) observa que a criação de uma plataforma digital é uma série de etapas que ao final resulta em um produto final. Porém, entende-se que independente do modelo e funcionalidade do software, algumas atividades são fundamentais e comuns a todos eles, como por exemplo:

- **Especificação:** a devida funcionalidade do software e as suas restrições sobre as operações que devem ser definidas;
- **Projeto e implementação:** entender se o software atende à especificação na qual deve ser determinado;
- **Validação:** a plataforma deve ser validada para que se garanta que a mesma atenda ao propósito final;
- **Evolução:** O software deve apresentar uma evolução, sendo possível também sofrer mudanças para atender possíveis necessidades dos interessados.

Outro ponto bastante destacado é o fato de que o processo de criação de um software é constituído por uma série de ligações que proporcionam ao interessado o desenvolvimento bastante racional e acima de tudo eficaz para a concepção do produto final (PRESSMAN, 2006). A Figura 32 ilustra claramente as camadas e etapas utilizadas na engenharia de software.

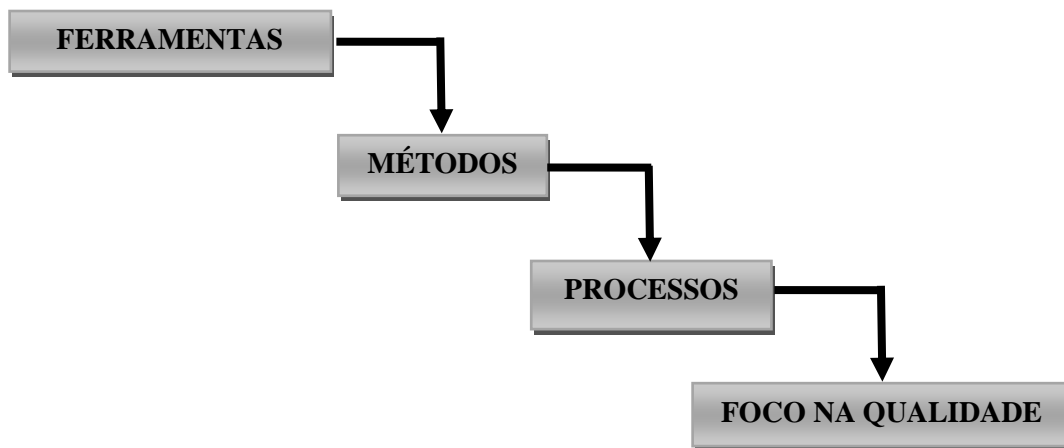


Figura 32 - Esquema de validação proposto (Pressman, 2006).

3.4.2 Modelo para o processo de desenvolvimento do software iCPT

Durante a concepção do projeto, as atividades de comunicação, planejamento, modelagem, construção e implementação em sua grande maioria são arranjadas de forma sequencial.

No caso do iCPT, após a pesquisa sobre os vários processos de desenvolvimento de software, um dos modelos que encaixava no propósito desta pesquisa e tinha uma proposta bastante flexível, seria o modelo incremental. Com relação a este modelo, observou-se que, o mesmo admite que até se atingir o produto final, o software pode realizar uma série de processos de mudança além do planejado, tendo assim incrementos que terão o objetivo de agregar novas funções.

Percebe-se que, com este modelo, o incremento inicial é conhecido como um núcleo do produto, pois no mesmo serão apresentados todos os requisitos fixados no processo de planejamento do software. A partir disto, os incrementos subsequentes terão a função de agregar ao núcleo do produto, além dos incrementos anteriores desenvolvidos (Pressman, 2006).

Segundo Ferreira (2008), ao final de cada incremento citado acima, deve-se gerar uma versão que tem caráter simplificado do software final. Entende-se que este melhoramento é considerado um aperfeiçoamento do modelo anterior, através de um processo em cascata, pois o mesmo admite realizar alterações pertinentes com relação

ao desenvolvimento do software. A Figura 33 apresenta um exemplo de modelo incremental, que foi base para a criação do iCPT.

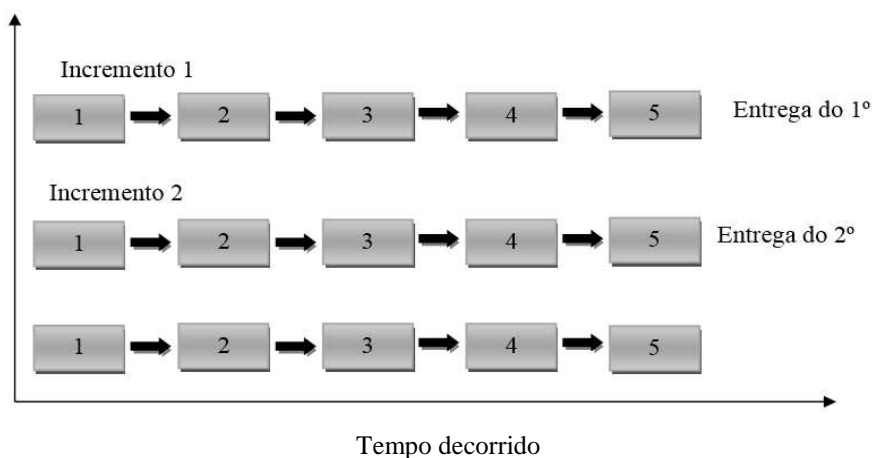


Figura 33 - Modelo para o processo de desenvolvimento do software.

3.4.3 Elaboração do iCPT

Para a realização desta pesquisa, a preparação do software foi o objetivo principal. Com isso para a elaboração do iCPT, a escolha da tecnologia a ser empregada foi um ponto muito importante. Assim realizou-se uma análise detalhada e sucinta sobre a melhor linguagem que adequava ao objetivo proposto inicialmente.

Como citado anteriormente, após uma abordagem geral, ficou estabelecido trabalhar com a linguagem de programação Pascal, através da ferramenta Delphi, uma vez que a mesma supria as necessidades de criação, podendo assim relacionar os problemas de geotecnia iniciais dentro daquela plataforma. O resultado final pode propor ao usuário um processo de avanço no aprendizado e, se preciso, ao final dos testes, realizar possíveis correções e adequações no software.

Um dos fatores para a escolha desta tecnologia de programação, foi o fato de que a mesma é bastante empregada pelos professores no Departamento de Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Viçosa, sendo assim, com essa experiência prévia, houve uma excelente contribuição para a adoção desta linguagem. Mas acima de tudo, observa-se que esta linguagem possui uma grande aceitação, uma vez que após a realização de um produto inicial, o usuário possui a possibilidade de incrementar novas funções, utilizando como referência o proposto primeiramente, o que torna o processo de criação relativamente interessante.

De acordo com Ferreira (2008), um processo de desenvolvimento de uma plataforma digital passa por uma série de procedimentos, sendo que o passo primordial é a escolha de uma metodologia adequada, podendo em certos casos apresentar a opção de métodos distintos ou de forma que uma complementa a outra. Seguindo este pensamento, Pressman (2006) ressalta que independente da escolha final, a maioria dos projetos de desenvolvimento de software possui uma série de procedimentos, sendo que os mesmos seguem algumas atividades, como:

- **Comunicação:** deve acontecer uma interação entre o programador e o cliente, fazendo uma consideração sobre todas as condições e atividades pertinentes. Procurando sempre deixar de forma clara e sucinta todas as funções que o software deve atingir.

- **Planejamento:** caracteriza pela fase em que o responsável pelo projeto necessita deixar bem claro todo o plano que envolve a formação da ideia. De certa forma, o mesmo precisa descrever todas as tarefas que serão executadas e efetivadas, lembrando que, durante o percurso, o projeto pode sofrer mudanças devido alguns riscos. Nesta etapa deve-se conhecer tanto os recursos indispensáveis, os artefatos, além de um cronograma bem definido.

- **Modelagem:** é entendida com um esboço do que se pretende alcançar com o software criado. Na modelagem, pretende estabelecer alguns modelos que permitem entender se o projeto vai de certa forma satisfazer o planejado.

- **Construção:** nesta fase serão produzidas as linhas de programação, ou seja, consiste em gerar o código que vai implementar as funcionalidades do software. Em seguida os testes pertinentes serão realizados, observando se o próprio apresenta algum erro, no qual poderão ser corrigidos.

- **Implantação:** no caso o software já está criado e pretende-se entregar o mesmo aos usuários interessados, que após a utilização apresenta uma avaliação relacionada a qualidade do software, através de entrevistas, testes e formulários.

Ainda de acordo com o autor, o mesmo deixa claro que as atividades citadas acima podem ser arranjadas na sequência mencionada ou, em certos casos, de acordo

com o tipo e objetivo do software em que será implantado, sendo que o alvo deva ser atingido, entregando ao usuário uma plataforma que possua uma eficiência e confiabilidade.

No caso do iCPT, o usuário pode, desde o primeiro contato até o final da sua utilização, encontrar um ambiente em que o proposto inicial deva ser o de inteirar as necessidades do usuário, propondo também em segundo plano um processo de aprendizagem e ensino através da sua interfase digital. Pois, entre outras coisas, o produto final deve possuir uma interface bastante amigável, possibilitando uma aceitação inicial, de forma a ser simples e de fácil acesso.

Cabe ressaltar que, dentro da ferramenta escolhida, uma das opções utilizadas foi a documentação e inclusão de comentários, que foram realizados no próprio código do programa. Assim, qualquer dúvida pertinente do usuário poderia ser sanada e visualizada através das anotações, sem a necessidade de um espaço externo ou manual, como pode ser vista na Figura 34.

```
ponto no timage
meugrafico1, Image1, Rf, qc, clWhite);

for each solo of meugrafico1.serie do
  if (meugrafico1.serie[j].solo) then // se o grafico possui serie
    for each serie of meugrafico1.serie do // correr todas as series em busca do solo
      if (meugrafico1.serie[j].solo) then begin
        ..Cells[1, i]:=meugrafico1.serie[j].solo;// passando o nome do solo para a striggrid
        ..Cells[2, i]:=meugrafico1.serie[j].peso;// passando o peso especifico do solo para a striggrid
        ..Cells[3, i]:=meugrafico1.serie[j].drenagem;// passando a condição de drenagem do solo para a striggrid
      end
    end
  end
end
```

Figura 34 - Modelo para o processo de desenvolvimento do software.

3.5 Elaboração dos recursos de validação da pesquisa

Entende-se que softwares apresentam um alto potencial no que diz respeito à sua utilização na capacidade de resolver problemas para os quais o mesmo foi proposto. De acordo com Oberkampff e Trucano. (2007), o processo de validação, assim como o de verificação, ou unicamente V&V, contém uma real participação quando pretende-se desenvolver uma ferramenta que será disponibilizada ao usuário, permitindo que o mesmo passe a utilizar e trabalhar com os resultados apresentados pela mesma.

Balci (1994) deixa claro que um processo de validação e verificação do software não é mais do que testes em que a plataforma será passada, com o propósito de demonstrar ao final a existência de erros do software. O mesmo autor apresenta com clareza um modelo utilizado para categorizar os procedimentos de validação e verificação, contendo no mesmo seis probabilidades, sendo que a complexidade aumenta de acordo com a categoria, partindo de metodologias consideradas informais, até metodologias com alto nível de formalidade. A Tabela 02 mostra o modelo citado acima.

Tabela 02 - Taxonomia de Técnicas de Verificação & Validação (adaptado de Balci, 1995).

Técnicas de Verificação & Validação e Testes	
Classificação	Técnicas
Informal	Auditoria, Validação de Face, Inspeções, Revisões, Teste de Turing, Walkthroughs
Estática	Checagem de Inconsistência, Análise de Fluxo de Dados, Análise Baseada em Grafos, Análise Semântica, Análise Estrutural, Análise Sintática
Dinâmica	Teste de Caixa Branca, Teste Button-Up, Monitoração de Execução, Execução de Perfil, Execução de Traço, Testes de Campo, Comparação Gráfica, Validação Preditiva, Teste de Regressão, Análise Sensitiva, Técnicas Estatísticas, Teste de estresse, Testes de Sub-Modelo, Debug Simbólico, Teste Top-down, Visualização
Simbólica	Gráfico de Causa Efeito, Análise de Partição, Análise de Caminhos, Execução Simbólica
Restrições	Checagem de Suposições, Análise de Limites, Suposição Indutiva
Formal	Indução, Inferência, Dedução Lógica, Cálculos Preditivos, Transformação Preditiva, Prova de Exatidão

Para efeito de validação do software, tentando avaliar o perfil geológico, além de alguns parâmetros que o mesmo possa disponibilizar, foi realizado um estudo de caso com uma comparação dos resultados obtidos pelo iCPT com alguns resultados de

ensaios de campo SPT e DMT, além daqueles encontrados através de ensaios de laboratório, que serão descritos nos tópicos seguintes, sendo que os resultados serão devidamente apresentados no capítulo 5 desta dissertação.

3.5.1 Ensaios de laboratório existentes

Com relação aos ensaios de laboratório de caracterização empregados para comparação com os resultados obtidos pelo iCPT, foram utilizados os ensaios realizados por Monteiro (1999) e Almeida (2000), localizados no Campo Experimental de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa. De acordo com Almeida (2000), foram extraídas 3 amostras indeformadas, com dimensões de 40 x 40 x 40 cm, com profundidade de 1,60 m, segundo as prescrições da norma NBR – 9604/86, sendo realizados, além dos ensaios de caracterização, para determinação do teor de umidade, limites de Atterberg, peso específico do solo e granulometria, também os ensaios de adensamento convencional e de compressão isotrópico.

Com relação a Monteiro (1999), o mesmo realizou os ensaios de caracterização, deformabilidade e resistência do solo, sendo que as profundidades para a retirada das amostras foram fixadas em 0,5 – 1,5 – 2,5 – 3,5 e 4,5 m. Nos ensaios de compressibilidade, os corpos de prova não tiveram a sua saturação prévia e no ensaio de cisalhamento direto, obteve resultados com umidade natural, assim como nos ensaios triaxiais CID.

3.5.2 Ensaios de campo

Como citado anteriormente, foram aproveitados resultados de diversos ensaios para a determinação das propriedades geotécnicas do solo, via ensaios de campo realizados no Campo Experimental de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa. Vale ressaltar que esses ensaios foram realizados por uma comunidade acadêmica e empresas, sendo os mesmos citados posteriormente, e que serão utilizados para efeito de comparação com os resultados oferecidos pelo iCPT.

3.5.2.1 Ensaio do cone (CPT)

Com relação ao ensaio de perfuração do cone, o mesmo foi realizado pela empresa PTS Pesquisas Tecnológicas do Solo Ltda., seguindo as metodologias prescritas na norma NBR – 3406/91, com uma velocidade de cravação controlada em 2

cm/s², tendo a verticalidade garantida por medições através de sistemas hidráulicos e ancoragem por meio do peso próprio do caminhão que o equipamento proporciona.

3.5.2.2 Sondagem à percussão (SPT)

As sondagens para o reconhecimento do solo foram realizadas de acordo com a norma NBR – 6484/80 e, com relação a classificação dos solos de acordo com as amostras retiradas, adotou-se a norma NBR – 7250/82.

Com relação as sondagens, as mesmas foram realizadas por Minette *et al.* (1995) que realizaram a execução de três furos (SP-A, SP-B e SP-C). Com relação a Lopes (1997) o mesmo também realizou a perfuração de três furos (SPT-1, SPT-2 e SPT-3) e Da Silva (2000) procurou investigar o subsolo através de dois furos (SPT-01 e SPT-02). Lembrando que utilizou-se a metodologia tradicional para a perfuração dos poços, operado de forma manual por meio de trado em que os avanços foram alcançados de metro a metro, sendo o ensaio interrompido pela presença do nível d'água, forçando assim a utilização de um sistema que trabalhasse com circulação de água.

3.5.2.3 Ensaio dilatométricos de Marchetti (DMT)

Para efeito de comparação, foram analisados valores de ensaios realizados por Monteiro (1999) e Da Silva (2000), também no Campo Experimental de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa.

Com relação a metodologia empregada para a realização dos ensaios, foi utilizada a proposta pela ASTM – Suggested Method for Performing The Flat Dilatometer Test, sendo os ensaios executados com 20 cm de profundidade. Durante a execução, realizou-se um sistema de ação/reação através de trados helicoidais associados a vigas e colunas metálicas, em que a velocidade para a inserção do dilatômetro foi baixa quando se compara com outros mecanismos com inserção hidráulica.

Na Figura 35 é apresentado um desenho esquemático com a posição dos poços de inspeção para a caracterização em laboratório, além dos ensaios de campo executados, sendo eles: CPT, SPT e DMT.

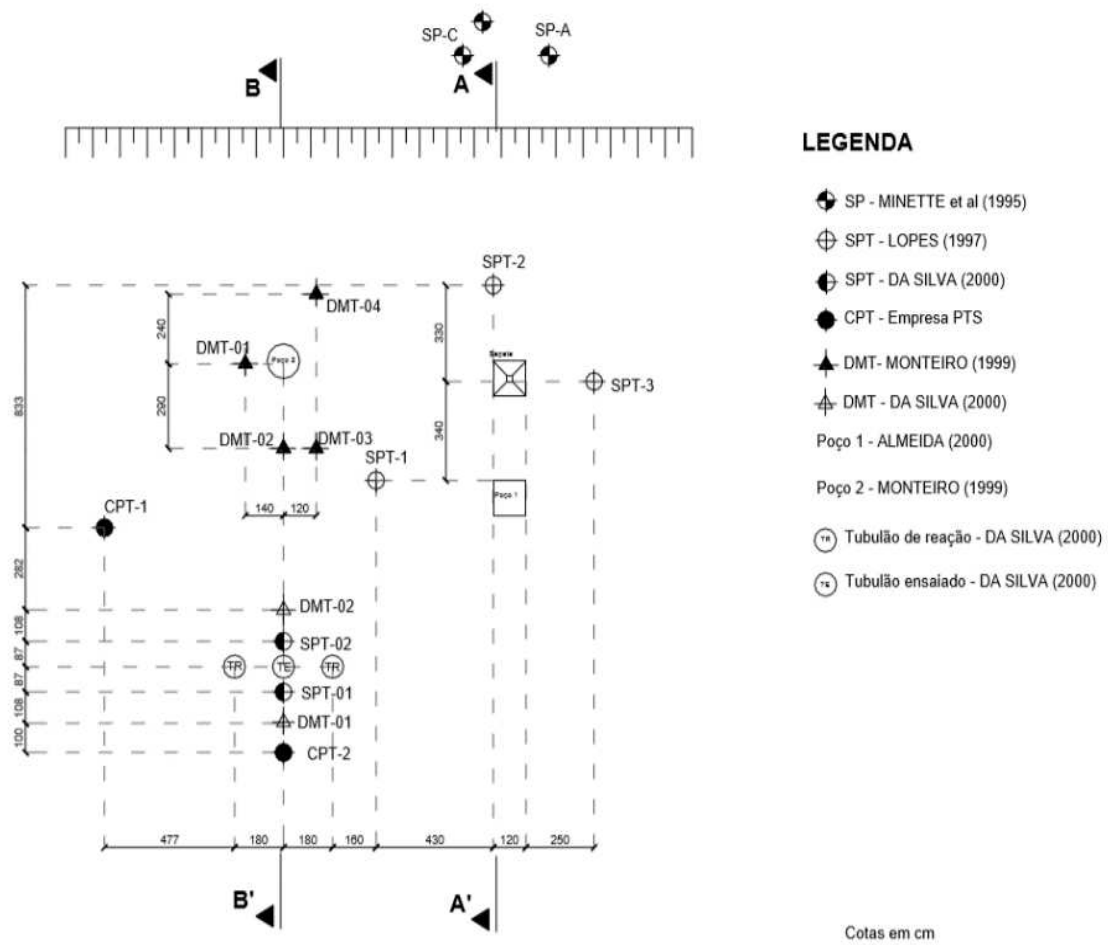


Figura 35 - Mapa de localização dos ensaios de campo (Almeida, 2000).

CAPÍTULO 4 – O SOFTWARE iCPT

Neste capítulo, apresenta-se a plataforma digital iCPT, procurando estabelecer se o resultado final alcançou a proposta inicial. Nesta validação, buscou-se examinar se o iCPT apresentou eficiência no entendimento da análise e interpretação do resultado do ensaio CPT.

4.1 O iCPT

Nesta subseção serão apresentados algumas das funcionalidades relacionadas ao software iCPT, sendo mostrados também as interfaces da plataforma digital, detalhando de forma clara o que cada função do software acarreta.

Primeiramente, buscou-se traçar um modelo de projeto que visava trabalhar de forma independente várias janelas, que também são conhecidas como *form's* no Delphi. Com isso as janelas secundárias são acionadas através de uma janela principal. Porém, antes da apresentação da janela principal, o usuário encontra uma janela inicial, na qual consta algumas informações pertinentes do sistema, como o nome do programa e os responsáveis pela criação da ferramenta iCPT.

A janela de entrada é mostrada na Figura 36.



Figura 36 – Janela de entrada do programa.

4.1.1 Janela principal

Realizado o processo de entrada, automaticamente o usuário é encaminhado para a janela principal do software. Com relação a esta tela, na mesma serão exibidas algumas das informações pertinentes, como por exemplo na barra superior em que apresenta dados como: dados de ensaio, cartas de interpretação, resultados dos ensaios e uma última opção intitulada de “mais”.

Uma das preocupações no desenvolvimento desta tela foi se obter uma qualidade visual agradável, além de um layout que não provocasse ao usuário uma perda de interesse ou dificuldade em encontrar os comandos para o funcionamento da ferramenta. A Figura 37 apresenta a janela principal, sendo destacada na mesma a barra superior com alguns comandos.

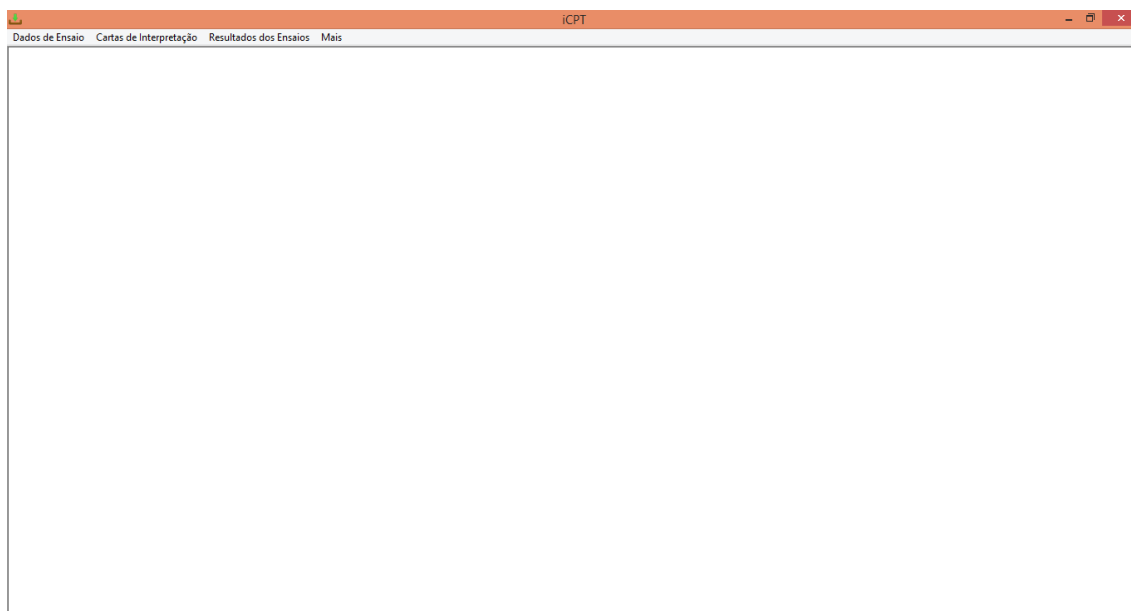


Figura 37 – Janela principal do programa.

4.1.2 Entrada de dados de ensaios

Conforme descrito anteriormente, a barra superior contém funções como: dados de ensaio, cartas de interpretação, resultados dos ensaios e mais. A primeira opção na barra superior diz respeito à alteração das informações de entrada do programa, conhecida como Dados de Ensaio, onde o usuário pode realizar a transferência dos dados contidos em planilhas Excel, sendo separados em profundidade, qc, fs e u2 por meio do acionamento do botão “Dados Excel” acionar o comando

“copiar” nas informações do Excel. Ao lado dos dados principais são disponibilizados espaços no qual o usuário pode acrescentar informações complementares, como: a (fator de forma do cone), nível d’água e o peso específico da água. A Figura 38 apresenta a janela “Dados de Ensaio” mostrando os espaços destinados para a alimentação dos dados principais e complementares.

Dados principais				Dados Complementares
Profundidade (m)	qc (kPa)	fs (kPa)	u2 (kPa)	
0,00	9,60	0,50	0,00	a = 0,8
0,05	8,50	0,68	-0,10	Nível d'água (m) = 2
0,07	10,80	0,84	-0,20	Gama d'água (kN/m³) = 10

Figura 38 - Tela de dados de ensaio.

Além dos comandos citados, observa-se na figura 38 que a tela de dados de ensaio apresenta ainda alguns comandos importantes para o funcionamento do software. Observa-se na parte inferior alguns botões de eventos, como:

- **Dados Excel:** ao clicar neste botão, o usuário automaticamente passa para a tabela as informações que estão localizadas na “área de transferência” do *Windows*. Os dados copiados devem respeitar a ordem, ocupando os espaços da profundidade, qc, fs e u2, sendo todos convertidos de acordo com a unidade de medida expressa no cabeçalho da tabela do iCPT em dados principais.
- **Ok:** caso o usuário tenha adicionado os dados transferidos do Excel e tenha completado os campos com os dados complementares, ao acionar este botão, o software realiza os cálculos e o usuário pode ter acesso a outras janelas do iCPT.

4.1.3 Cartas de interpretação

Com relação às cartas de interpretações utilizadas no programa, optou-se pela de Robertson (1986), que trabalha com o ensaio CPT, e duas de Robertson (1990-2010) em que levam em consideração valores de poropressão, no caso, através do ensaio CPTu.

Ao clicar na opção “Cartas de Interpretação” na barra de menus, o software automaticamente abrem-se as opções de cartas para serem trabalhada. A partir da seleção da opção desejada, a plataforma aciona a mesma em uma nova janela que ficará sobreposta a janela principal. Essas cartas de interpretação apresentam papel primordial nas análises do software, pois, através delas é que pode-se chegar à classificação dos solos, além de mostrar claramente os seus comportamentos referentes a alguns parâmetros geotécnicos. Na Figura 39 apresenta-se as três cartas devidamente ilustradas na janela principal. Já nas Figuras 40 a 42 apresentam-se as cartas de interpretação de maneira individual para melhor visualização.

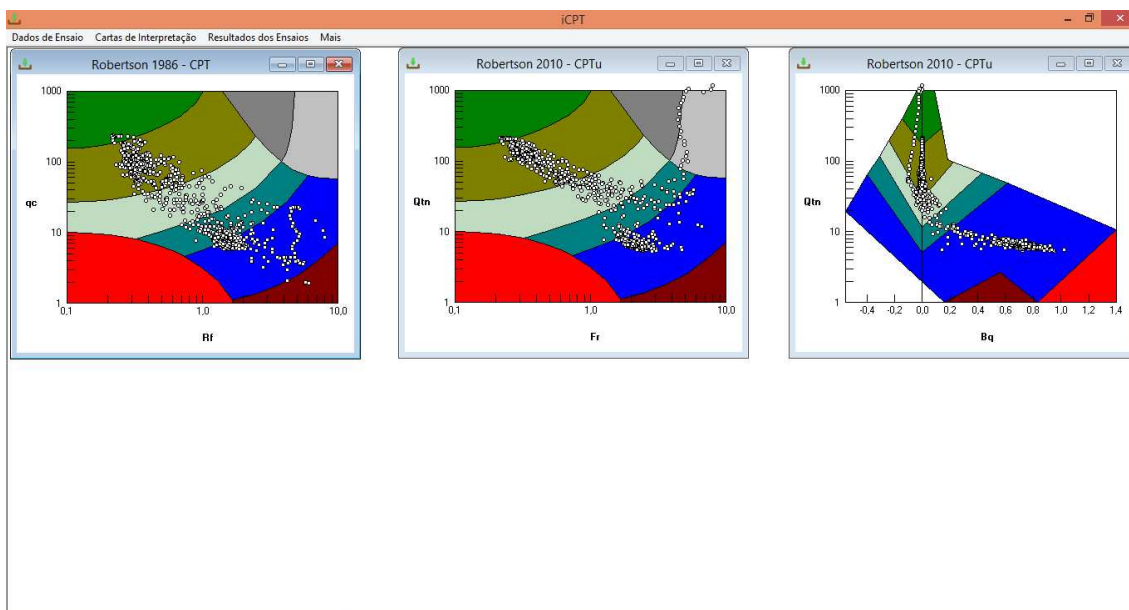


Figura 39 - Tela principal com os ábacos desenhados.

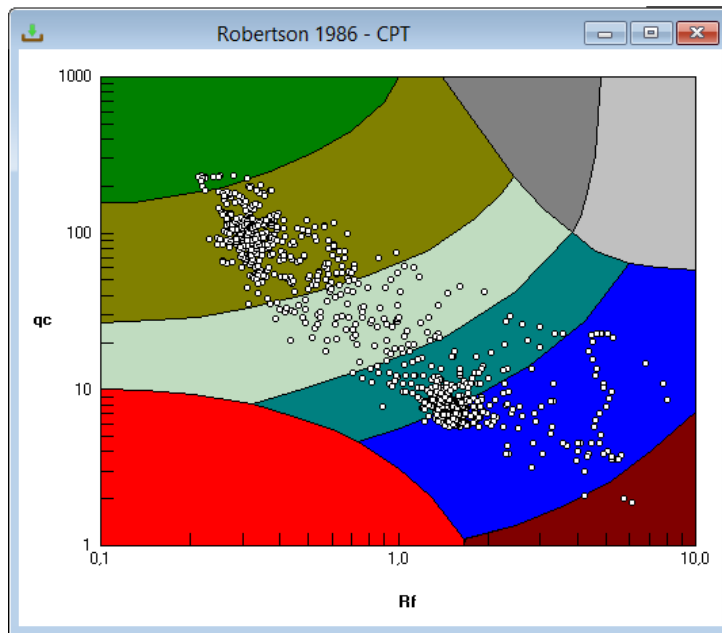


Figura 40 - Ábaco utilizado para classificação do solo e interpretação do ensaio.

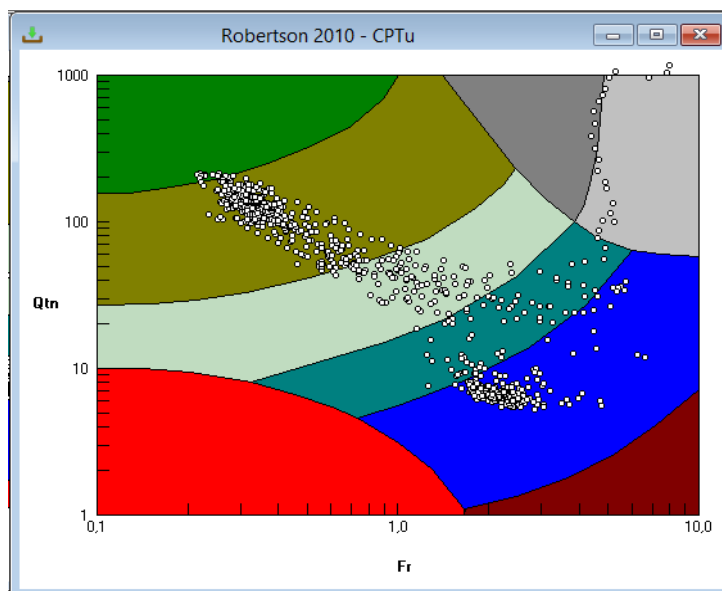


Figura 41 - Ábaco utilizado para classificação do solo (normalizado).

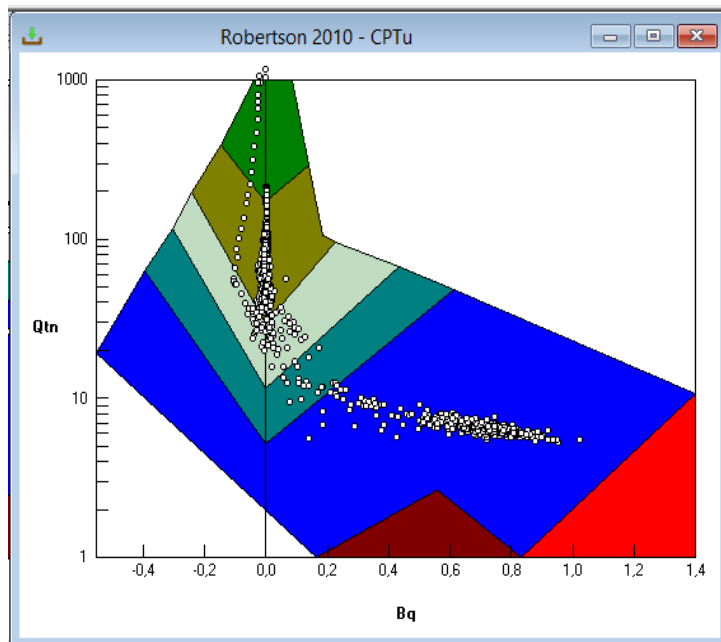


Figura 42 - Ábaco utilizado para interpretação do ensaio (normalizado).

4.1.4 Resultados dos ensaios

A opção referente aos “resultados dos ensaios” quando acionada apresenta três opções, tanto para os ensaios CPT (q_c , f_s e R_f), assim como para os ensaios CPTu (q_t , u_2 , u_0 e B_q) e a opção referente aos parâmetros geotécnicos, sendo elas: Densidade Relativa (D_r), Resistência ao Cisalhamento ou Coesão Não Drenada (S_u), Módulo de Elasticidade (E) e Histórico de Tensões (OCR). Nas Figuras 43 a 45 apresentam-se as janelas alusivas aos resultados do ensaio CPT e nas Figuras 46 a 49 expõem as janelas referentes aos resultados do ensaio CPTu. Com relação aos parâmetros geotécnicos, as Figuras 50 a 53 apresentam as janelas referentes aos mesmos.

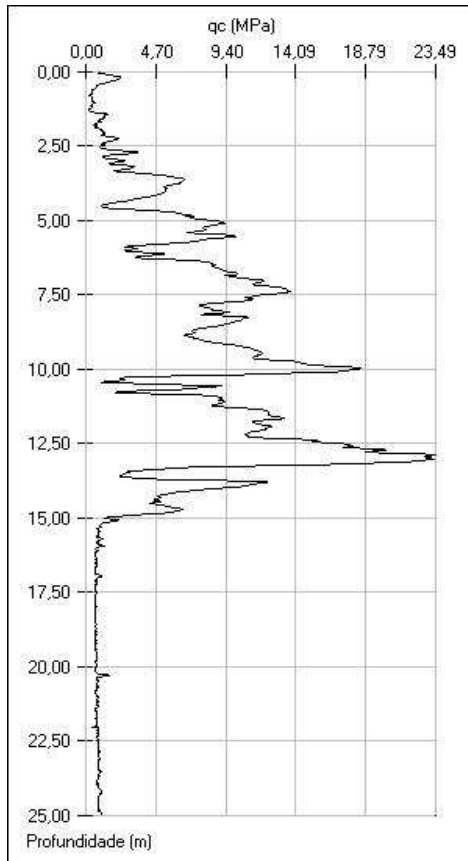


Figura 43 – Janela para apresentação do resultado de qc.

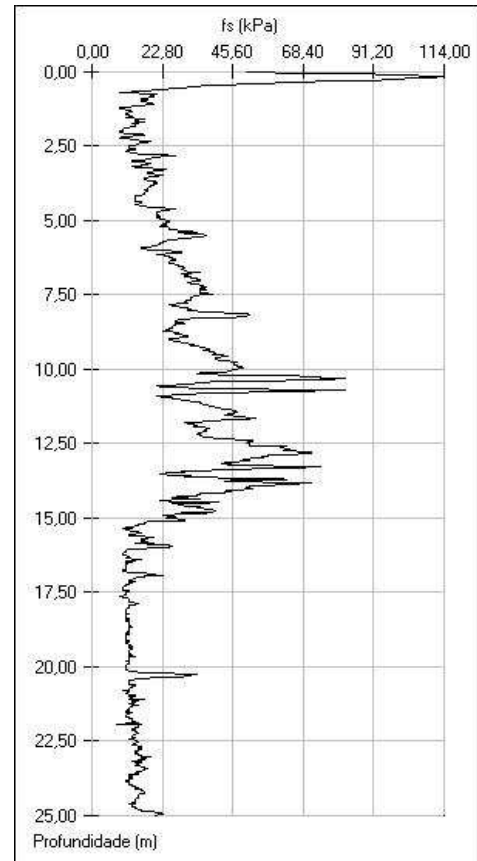


Figura 44 - Janela para apresentação do resultado de fs.

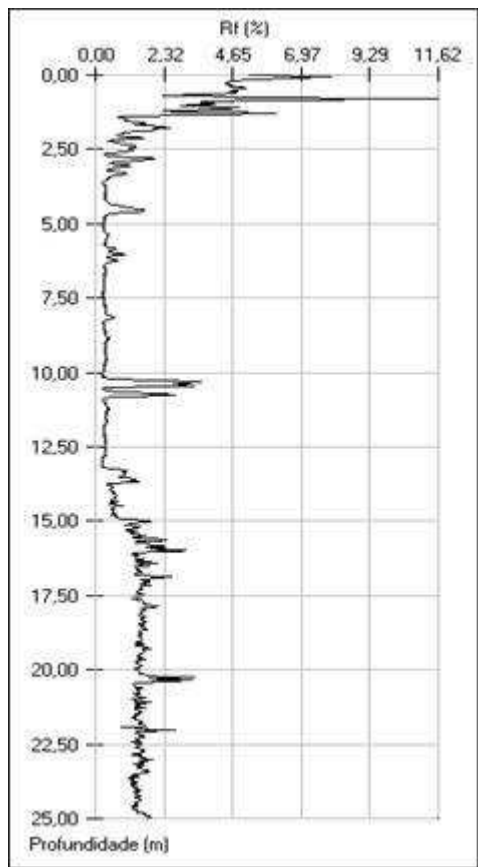


Figura 45 - Janela para apresentação do resultado de Rf.

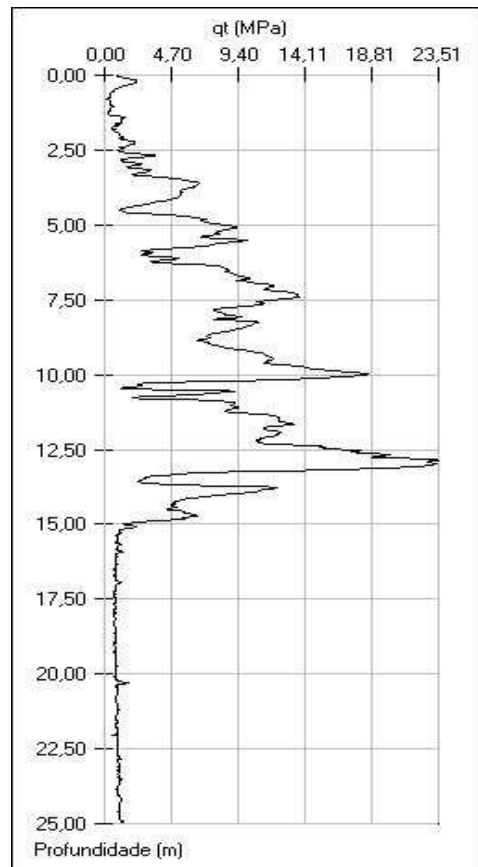


Figura 46 - Janela para apresentação do resultado de qt.

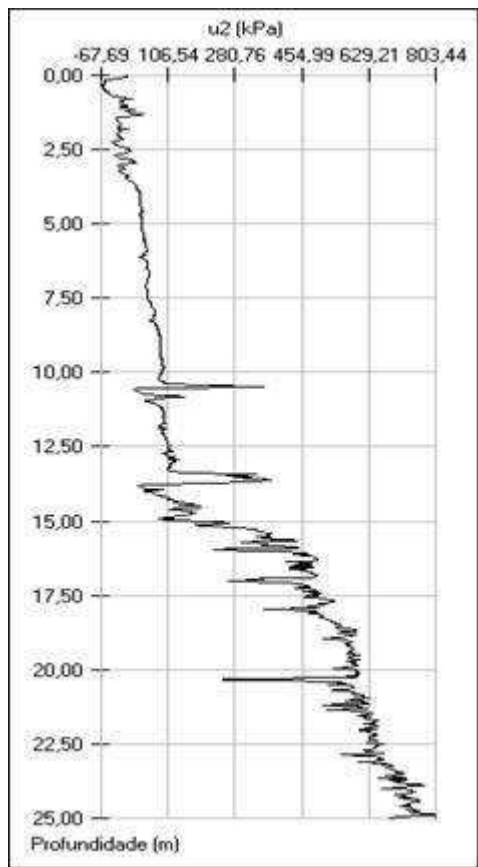


Figura 47 - Janela para apresentação do resultado de u_2 .

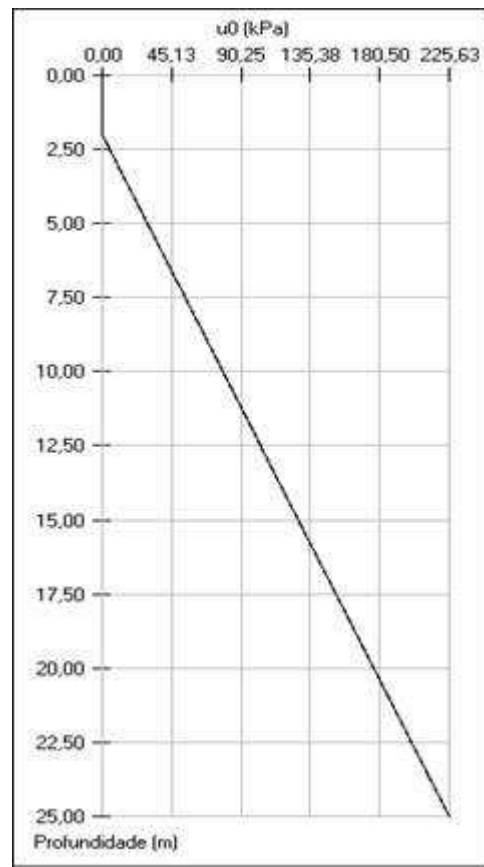


Figura 48 - Janela para apresentação do resultado de u_0 .

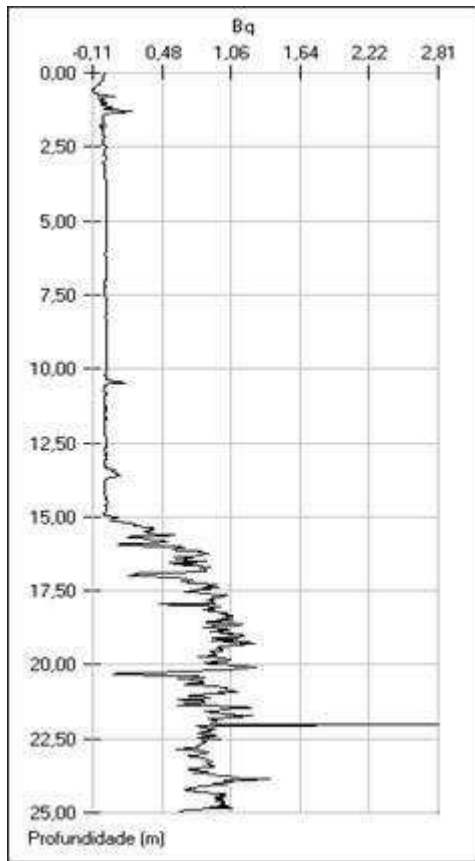


Figura 49 - Janela para apresentação do resultado de Bq..

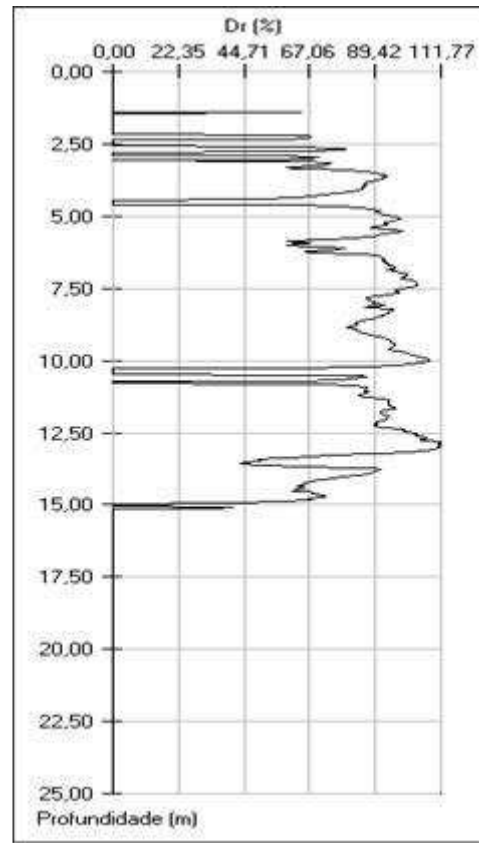


Figura 50 - Janela para apresentação do resultado de Dr.

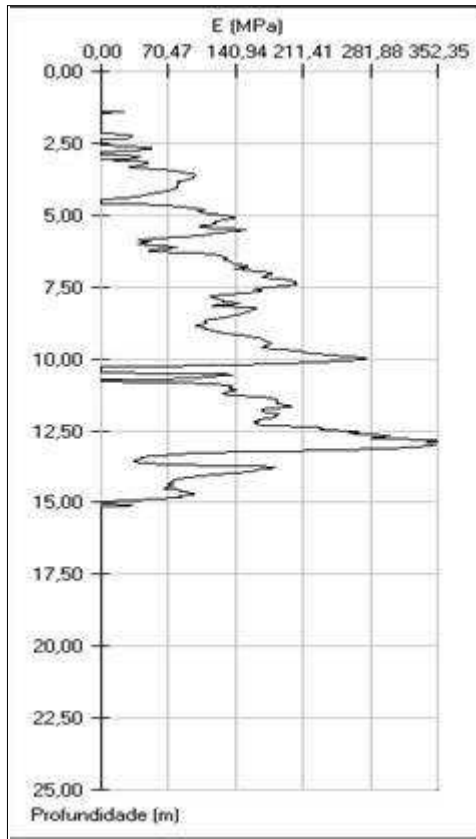


Figura 51 - Janela para apresentação do resultado de E.

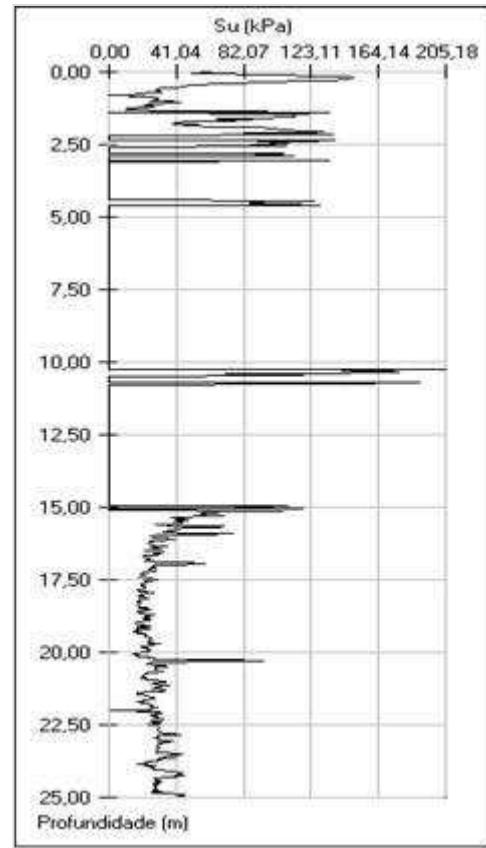
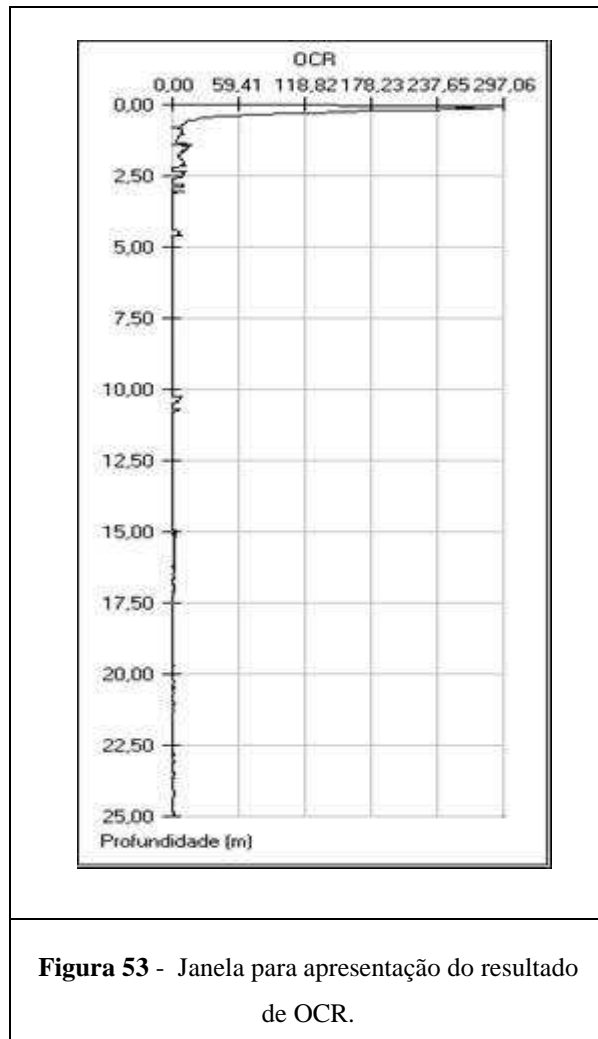


Figura 52 - Janela para apresentação do resultado de Su.



Vale ressaltar que o propósito destes resultados e parâmetros, é apresentar ao interessado, assim como nos resultados dos ensaios, gráficos que levam em consideração a profundidade, por um parâmetro selecionado. Lembrando sempre que o cálculo dos parâmetros depende diretamente dos dados iniciais (q_c , f_s e u_2), além de outras informações, que o usuário têm a necessidade de alimentar na opção “Dados de ensaio” do software.

4.1.5 Resultados interpretados

Como dito anteriormente, o iCPT é munido de uma tabela com os resultados interpretados baseados em dados iniciais e correlações propostas em guias e manuais referentes ao ensaio CPT e CPTu. Sendo assim, a tabela oferece no seu cabeçalho o título de cada coluna, lembrando que no total a tabela contém 22 colunas. A janela com os resultados interpretados está ilustrada na Figura 54.

Resultados Interpretados																
Campo	Profundidade (m)	Tipo de solo - SPT	SBT	Peso (kN/m ³)	Drenagem	qc (kPa)	fs (kPa)	u2 (kPa)	qt (kPa)	Qtn (kPa)	sv0 (kPa)	u0 (kPa)	s'v0 (kPa)	Bq	Rf (%)	Fr (%)
Prof	0.00	Argilas - Argilas Siltosas	3	14,23	Não Drenado	960,00	50,00	0,00	960,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,21	5,21
	0.05	Argilas - Argilas Siltosas	3	14,54	Não Drenado	850,00	68,00	-0,98	849,80	1167,58	0,73	0,00	0,73	0,00	8,00	8,01
Condição	0.07	Argilas - Argilas Siltosas	3	14,89	Não Drenado	1080,00	84,00	-1,96	1079,61	1035,11	1,04	0,00	1,04	0,00	7,78	7,79
	0.10	Argilas - Argilas Siltosas	3	15,19	Não Drenado	1460,00	99,00	-23,54	1455,29	956,75	1,52	0,00	1,52	-0,02	6,80	6,81
Valor	0.13	Argilas - Argilas Siltosas	3	15,49	Não Drenado	2140,00	112,00	-43,16	2131,37	1057,52	2,01	0,00	2,01	-0,02	5,25	5,26
	0.15	Argilas - Argilas Siltosas	3	15,53	Não Drenado	2270,00	114,00	-58,86	2258,23	968,28	2,33	0,00	2,33	-0,03	5,05	5,05
Selecionar	0.18	Argilas - Argilas Siltosas	3	15,49	Não Drenado	2270,00	110,00	-56,90	2258,62	809,05	2,79	0,00	2,79	-0,03	4,87	4,88
Limpar	0.20	Argilas - Argilas Siltosas	3	15,47	Não Drenado	2270,00	108,00	-55,92	2258,82	729,12	3,09	0,00	3,09	-0,02	4,78	4,79
	0.22	Argilas - Argilas Siltosas	3	15,44	Não Drenado	2270,00	105,00	-55,92	2258,82	664,17	3,40	0,00	3,40	-0,02	4,65	4,66
	0.25	Argilas - Argilas Siltosas	3	15,34	Não Drenado	2210,00	98,00	-56,90	2198,62	572,15	3,84	0,00	3,84	-0,03	4,46	4,47
	0.28	Argilas - Argilas Siltosas	3	15,21	Não Drenado	2010,00	90,00	-57,88	1998,42	468,34	4,26	0,00	4,26	-0,03	4,50	4,51
	0.30	Argilas - Argilas Siltosas	3	14,95	Não Drenado	1750,00	76,00	-67,69	1736,46	386,07	4,49	0,00	4,49	-0,04	4,38	4,39
	0.33	Argilas - Argilas Siltosas	3	14,79	Não Drenado	1550,00	69,00	-66,71	1536,66	313,78	4,88	0,00	4,88	-0,04	4,49	4,50
	0.35	Argilas - Argilas Siltosas	3	14,64	Não Drenado	1370,00	63,00	-64,75	1357,05	263,89	5,12	0,00	5,12	-0,05	4,64	4,66
	0.38	Argilas - Argilas Siltosas	3	14,46	Não Drenado	1230,00	56,00	-63,77	1217,25	220,57	5,49	0,00	5,49	-0,05	4,60	4,62
	0.40	Argilas - Argilas Siltosas	3	14,35	Não Drenado	1100,00	53,00	-63,77	1087,25	188,44	5,74	0,00	5,74	-0,06	4,87	4,90
	0.42	Argilas - Argilas Siltosas	3	14,25	Não Drenado	1030,00	50,00	-63,77	1017,25	168,92	5,99	0,00	5,99	-0,06	4,92	4,94
	0.45	Argilas - Argilas Siltosas	3	14,04	Não Drenado	870,00	44,00	-61,80	857,64	134,77	6,32	0,00	6,32	-0,07	5,13	5,17
	0.47	Argilas - Argilas Siltosas	3	13,82	Não Drenado	770,00	38,00	-59,84	758,03	115,73	6,49	0,00	6,49	-0,08	5,01	5,06
	0.50	Argilas - Argilas Siltosas	3	13,62	Não Drenado	710,00	33,00	-59,84	698,03	101,50	6,81	0,00	6,81	-0,09	4,73	4,77
	0.53	Argilas - Argilas Siltosas	3	13,43	Não Drenado	640,00	29,00	-58,86	628,23	87,28	7,12	0,00	7,12	-0,09	4,62	4,67
	0.55	Argilas - Argilas Siltosas	3	13,26	Não Drenado	580,00	26,00	-52,97	569,41	77,07	7,29	0,00	7,29	-0,09	4,57	4,63
	0.57	Argilas - Argilas Siltosas	3	13,12	Não Drenado	510,00	24,00	-49,05	500,19	65,91	7,48	0,00	7,48	-0,10	4,80	4,87
	0.60	Argilas - Argilas Siltosas	3	12,91	Não Drenado	450,00	21,00	-46,11	440,78	55,90	7,75	0,00	7,75	-0,11	4,76	4,85
	0.63	Argilas - Argilas Siltosas	3	12,73	Não Drenado	450,00	18,00	-45,13	440,97	53,99	8,02	0,00	8,02	-0,10	4,08	4,16
	0.65	Argilas - Argilas Siltosas	3	12,58	Não Drenado	440,00	16,00	-43,16	431,37	51,74	8,18	0,00	8,18	-0,10	3,71	3,78
	0.68	Argilas - Argilas Siltosas	3	12,03	Não Drenado	440,00	10,00	-40,22	431,96	51,80	8,18	0,00	8,18	-0,09	2,32	2,36
	0.70	Argilas - Argilas Siltosas	3	11,86	Não Drenado	390,00	9,00	-29,43	384,11	45,26	8,30	0,00	8,30	-0,08	2,34	2,39
	0.72	Argilas - Argilas Siltosas	3	12,85	Não Drenado	380,00	21,00	-24,52	375,10	39,55	9,25	0,00	9,25	-0,07	5,60	5,74
	0.75	Argilas - Argilas Siltosas	3	12,71	Não Drenado	360,00	19,00	-19,62	356,08	36,36	9,53	0,00	9,53	-0,06	5,34	5,48
	0.78	Argilas - Argilas Siltosas	3	12,72	Não Drenado	360,00	19,00	15,70	363,14	35,61	9,92	0,00	9,92	0,04	5,23	5,38
	0.80	Argilas - Argilas Siltosas	3	12,78	Não Drenado	360,00	20,00	10,79	362,16	34,43	10,22	0,00	10,22	0,03	5,52	5,68

Figura 54 - Tabela com o resultado do ensaio e propriedades geotécnicas.

4.1.6 A Opção "Mais"

A opção intitulada de ‘mais’, ao ser acionada apresenta três opções, sendo elas: “Como Funciona”, “Fórmulas utilizadas” e “Legenda – Tipo de Solo”. Observa-se que, ao acionar a primeira alternativa ela está disposta de forma que o usuário tem acesso à todas as informações pertinentes sobre o software, que no caso segue uma ordem pela qual o mesmo acompanha e assim provê um melhor entendimento do que está sendo realizado no iCPT. No total, a opção "Como funciona" do software dispõe de 5 passos ou dicas, sendo as mesmas apresentadas a seguir através da Figura 55.

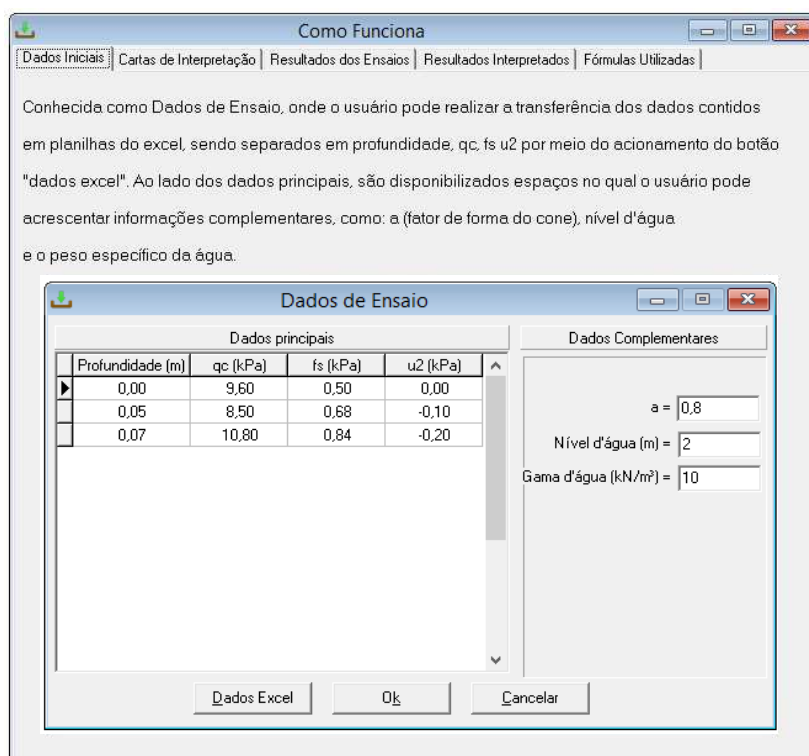


Figura 55 - Opção como funciona do iCPT.

A Figura 56 apresenta a interface conhecida no software como “Fórmulas Utilizadas”. Ao clicar nesta opção, dentro da alternativa “Mais”, o usuário depara-se com uma janela que dispõe todas as fórmulas que foram utilizadas no cálculo dos valores normalizados, além dos devidos parâmetros geotécnicos. Dentro desta janela, o usuário têm a opção de acionar uma calculadora, que faz alusão às mesmas calculadoras encontradas nas plataformas do *Windows*. Um dos motivos da escolha pela implementação desta alternativa no software é o fato de que, com esta opção, o usuário

possa realizar simples conferência dos resultados apresentados na janela “Resultados Interpretados”, sem que o mesmo precise buscar isto em outro local.

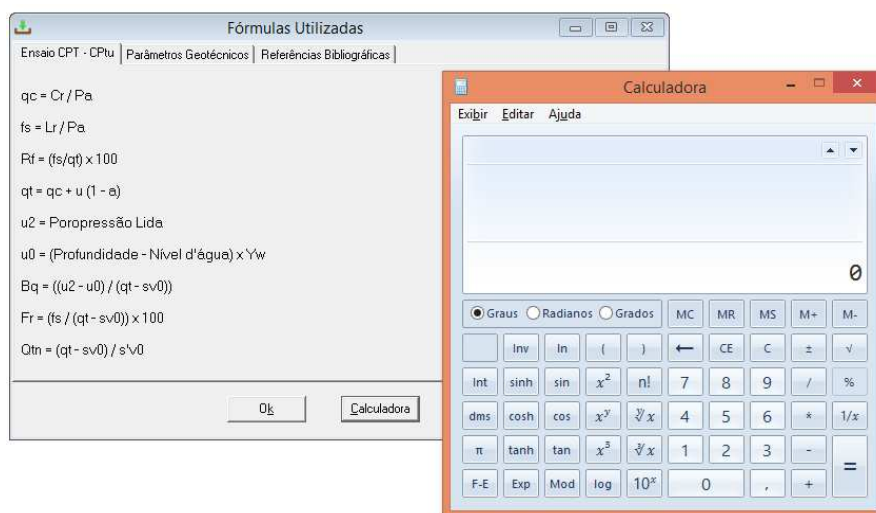


Figura 56 - Janela com as fórmulas utilizadas e calculadora.

Com relação ao software, uma das preocupações foi apresentar uma qualidade visual agradável, além de funções que não provocassem ao usuário uma perda de interesse ou dificuldade em entendê-lo. Com isso na terceira opção da aba “Mais” buscou-se implementar uma legenda referente a cada tipo do solo, sendo que a mesma representava uma região nos ábacos de classificação dos solos. Assim, o usuário encontraria facilidade em saber qual o tipo de solo, de acordo com a cor presente em cada região. A Figura 57 apresenta esta legenda, com alusão ao tipo de solo.

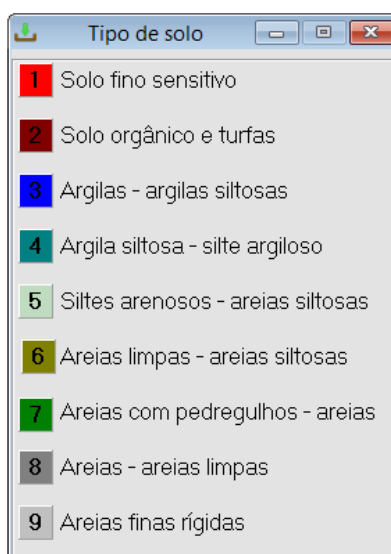


Figura 57 - Legenda com o devido tipo de solo.

CAPÍTULO 5 – COMPARAÇÃO DE RESULTADOS DE ENSAIOS PRÉ-EXISTENTES E SUAS ANÁLISES

Neste capítulo, apresentam-se os resultados referentes aos ensaios de laboratório de caracterização e aqueles de campo através do SPT, DMT e CPT. Vale ressaltar que a interpretação dos ensaios CPT foi realizada através da plataforma digital iCPT que serviu como meio de comparação, posteriormente, testando assim a sua eficiência e exequibilidade ou mostrando os pontos falhos que devem ser corrigidos em estudos futuros.

5.1 Resultados dos ensaios de laboratório

Os resultados referentes aos ensaios de laboratórios sendo eles realizados por Almeida (2000) e Monteiro (1999), de caracterização, compressibilidade e resistência ao cisalhamento, são apresentados da tabelas 03 à tabela 07.

Tabela 03 - Resultados dos ensaios de caracterização (adaptado de Almeida, 2000).

Granulometria			Limites de Atterberg			Índices Físicos		
Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ_{nat} (kN/m ³)	w (%)	γ_s (kN/m ³)
8,50	37,00	54,50	36,80	18,33	18,47	13,75	17,98	26,1

Tabela 04 - Resultados dos ensaios de caracterização (adaptado de Monteiro, 1999).

Prof. (m)	Granulometria			Limites de Atterberg			Índices Físicos		
	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	γ_{nat} (kN/m ³)	w (%)	γ_s (kN/m ³)
0,5	12	15	73	37	20,9	16,1	14,5	18,3	26
1,5	39	13	48	37	19	18	13,7	28,1	28
2,5	7,5	17	75,5	37,9	20,4	17,7	15,4	18,5	25
3,5	9	15,5	75,5	37,1	22,5	14,7	15,5	15	20
4,5	7,5	15	77,5	26,9	20,2	16,7	16,4	30,4	26

Tabela 05 - Resultados dos ensaios de compressibilidade (adaptado de Almeida, 2000).

γ_{nat} (kN/m ³)	w (%)	e_0	Sr (%)	σ'_{vo} (kPa)	C_c	OCR
13,75	20,22	1,37	38,81	260	0,51	11,82

Tabela 06 - Resultados dos ensaios de compressibilidade (adaptado de Almeida, 2000).

Prof. (m)	γ_{nat} (kN/m ³)	w (%)	e_0	Sr (%)	σ'_{vo} (kPa)	C_c	OCR
0,5	14,5	18,3	1,15	42,7	272	0,47	36,8
1,5	13,7	18,0	1,61	49,8	275	0,63	13,1
2,5	15,4	18,5	0,92	51,4	302	0,42	7,7
3,5	15,5	15,0	0,90	43,6	199	0,40	3,6
4,5	16,4	30,4	1,08	75,1	300	0,39	4,0

Tabela 07 - Resultados de ensaios de cisalhamento direto (adaptado de Monteiro, 1999).

Prof. (m)	c (kPa)	ϕ (graus)
0,5	32	31
1,5	36	29
2,5	51	35
3,5	12	38
4,5	22	40

5.2 Resultado dos ensaios de campo - Sondagens à percussão (SPT)

Os resultados referentes aos ensaios de campo realizados por Minette *et al.* (1995), Lopes (1997) e Da Silva (2000) são apresentados nas Figuras 58 a 61 e descritos resumidamente na tabela 08 e na tabela 09.

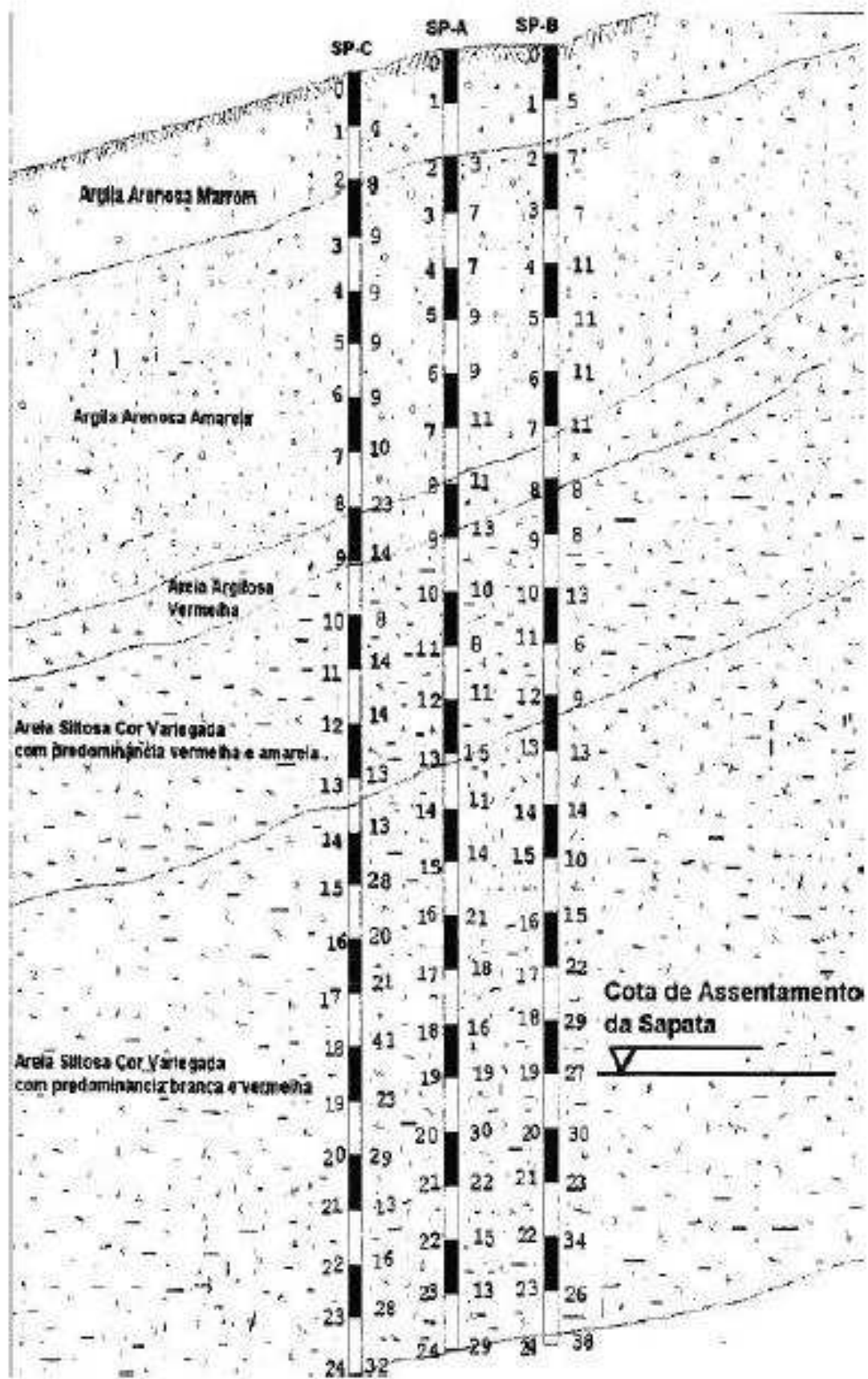


Figura 58 - Perfil geotécnico segundo Minette *et al.* (1995).

SONDAGEM - SPT 01			
Prof (m)	Classificação	N-SPT (Golpes)	
		30 Iniciais	30 Finais
0,5	Areia siltosa cor vg (rosa)	-	-
1	Areia siltosa cor vg (rosa)	6	7
1,5	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	12	23
2	Areia quartzosa pouco siltosa cor vg (branca/rosa)	29	47
2,5	Areia quartzosa pouco siltosa cor vg (branca/marrom)	13	16
3	Areia siltosa com mica cor vg (marrom/vermelho)	9	16
3,5	Areia quartzosa siltosa cor vg (branca/rosa)	14	18
4	Areia quartzosa siltosa cor vg (branca/rosa)	10	21
4,5	Areia quartzosa siltosa cor vg (rosa)	14	17
5	Areia quartzosa siltosa com mica cor vg (branca/rosa)	6	7
5,5	Nível d'água	-	-

Figura 59 - Resultados dos ensaios SPT 01 realizado por Lopes (1997).

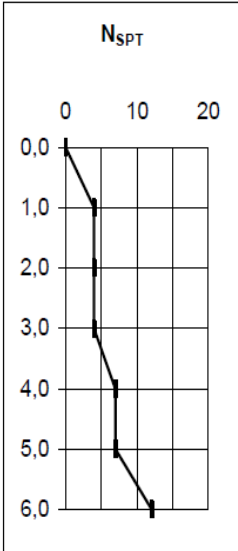
SONDAGEM - SPT 02			
Prof (m)	Classificação	N-SPT (Golpes)	
		30 Iniciais	30 Finais
0,5	Areia siltosa cor rosa	6	7
1	Areia siltosa cor rosa	11	16
1,5	Areia siltosa cor vg (rosa)	15	18
2	Areia siltosa cor rosa	11	15
2,5	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	7	11
3	Silte arenoso cor vg (marrom/rosa)	12	18
3,5	Silte arenoso cor vg (branca/marrom)	15	28
4	Silte arenoso cor vg (branca/rosa)	9	13
4,5	Silte arenoso cor vg (marrom/rosa)	9	17
5	Nível d'água	-	-

Figura 60 - Resultados dos ensaios SPT 02 realizado por Lopes (1997).

SONDAGEM - SPT 03			
Prof (m)	Classificação	N-SPT (Golpes)	
		30 Iniciais	30 Finais
0,5	Areia siltosa cor vg (rosa)	6	8
1	Areia siltosa cor vg (rosa) com veio de quartzo	6	8
1,5	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	6	10
2	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	6	9
2,5	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	7	10
3	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	7	13
3,5	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	8	13
4	Areia siltosa cor vg (rosa) com veio de quartzo	8	13
4,5	Areia siltosa cor vg (rosa)	8	13
5	Areia siltosa cor vg (rosa) - Nivel d'água	6	12
6	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	15	32
7	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	10	14
8	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	16	20
9	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	10	13
10	Areia siltosa cor vg (branca)	12	20
11	Areia siltosa cor vg (branca)	15	22
12	Areia siltosa cor vg (branca)	16	21
13	Areia siltosa cor vg (branca)	13	20
14	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	21	29
15	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	18	22
16	Silte arenoso marrom com mica	8	12
17	Areia siltosa cor rosa	18	30
18	Impenetrável à percussão (sem amostragem)	86	-

Figura 61 - Resultados dos ensaios SPT 03 realizado por Lopes (1997).

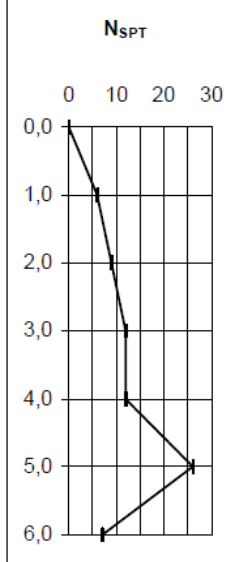
Tabela 08 - Resultado da sondagem SPT-02 (Araújo, 2001).

Prof. (m)	Classificação	N-SPT	
1,0	Areia fina, siltosa, cor marrom, pouco compacta.	4	
2,0	Areia fina, siltosa, cor avermelhada, micácea, medianamente compacta.	4	
3,0		4	
4,0	Areia fina a média, siltosa, cor variegada (rosa, vermelha e branca), medianamente compacta.	7	
5,0		7	
6,0		12	

OBS:

- 1) Profundidade do nível d'água = 5,25 metros.
- 2) Furo executado até 6,45 metros de profundidade.
- 3) Data de execução: Início: 26/01/00 - Término: 28/01/00.

Tabela 09 - Resultado da sondagem SPT-01 (Araújo, 2001).

Prof. (m)	Classificação	N-SPT	
1,0	Areia fina, siltosa, cor avermelhada, micácea, pouco compacta.	6	
2,0		9	
3,0	Areia fina, siltosa, cor variegada, micácea, medianamente compacta.	12	
4,0	Areia média, siltosa, cor variegada, medianamente compacta.	12	
5,0	Areia média a grossa, siltosa, cor variegada (branca), medianamente compacta.	26	
6,0	Areia média, siltosa, cor variegada medianamente compacta.	7	

OBS:

- 1) Profundidade do nível d'água = 4,80 metros.
- 2) Furo executado até 6,45 metros de profundidade.
- 3) Data de execução: Início: 13/02/01 - Término: 13/02/01.

5.3 Resultados dos ensaios de campo - Dilatométrico Plano (DMT)

Neste tópico encontra-se os resultados referentes aos ensaios de campo via DMT realizados por Monteiro (1999) e Da Silva (2000), sendo eles apresentados das Tabela 10 à Tabela 15.

Tabela 10 - Resultado da sondagem DMT-01 (adaptado de Monteiro, 1999).

Prof. (m)	Po (kPa)	I_d	k_d	E_D (kPa)	Solo
1,0	320	1,71	18,5	19.100	Silte Arenoso
2,0	420	1,71	11,6	25.100	Silte Arenoso
3,0	720	1,43	13,2	35.800	Silte Arenoso
4,0	330	3,3	4,4	37.500	Areia
5,0	240	3,62	2,6	30.400	Areia

Tabela 11 - Resultado da sondagem DMT-02 (adaptado de Monteiro, 1999).

Prof. (m)	Po (kPa)	I_d	k_d	E_D (kPa)	Solo
1,0	40	7,11	2,2	9.800	Areia
2,0	330	1,87	9,3	21.600	Areia Siltosa
3,0	560	1,50	10,4	29.300	Silte Arenoso

Tabela 12 - Resultado da sondagem DMT-03 (adaptado de Monteiro, 1999).

Prof. (m)	Po (kPa)	I_d	k_d	E_D (kPa)	Solo
1,0	70	3,26	4,0	8.200	Areia Siltosa
2,0	170	1,80	4,8	10.500	Silte Arenoso
3,0	220	2,70	4,1	20.200	Areia Siltosa
4,0	170	4,25	2,4	24.900	Areia
5,0	300	3,18	3,3	33.000	Areia Siltosa

Tabela 13 - Resultado da sondagem DMT-04 (adaptado de Monteiro, 1999).

Prof. (m)	Po (kPa)	I_d	k_d	E_D (kPa)	Solo
1,0	220	2,13	11,7	16.000	Areia Siltosa
2,0	350	4,95	9,3	59.600	Areia
3,0	660	2,21	11,6	50.400	Areia Siltosa

Tabela 14 - Resultado da sondagem DMT-01 (adaptado de Da Silva, 2000).

Prof. (m)	Po (kPa)	I_d	k_d	E_D (kPa)	Solo
1,0	230	1,62	13,4	12.700	Silte Arenoso
2,0	100	3,64	3,1	13.200	Areia
3,0	230	2,37	4,4	18.700	Areia Siltosa
4,0	170	2,35	2,4	13.800	Areia Siltosa
5,0	250	1,92	2,9	16.700	Areia Siltosa
6,0	250	2,04	2,5	16.700	Areia Siltosa
7,0	550	1,56	5,1	28.900	Silte Arenoso

Tabela 15 - Resultado da sondagem DMT-02 (adaptado de Da Silva, 2000).

Prof. (m)	Po (kPa)	I_d	k_d	E_D (kPa)	Solo
1,0	170	2,94	10,2	17.700	Areia Siltosa
2,0	180	1,78	5,2	11.000	Silte Arenoso
3,0	310	3,66	6,0	39.200	Areia
4,0	190	2,46	2,7	16.300	Areia Siltosa
5,0	380	2,69	4,3	35.800	Areia Siltosa
6,0	390	2,37	3,9	31.200	Areia Siltosa
7,0	390	2,72	3,5	35.400	Areia Siltosa

5.4 Resultados dos ensaios de campo - Cone Penetration Test (CPT)

Os gráficos referentes aos ensaios de campo realizados pela empresa PTS - Pesquisas Tecnológicas do Solo Ltda. em 1999 e são apresentados na figura 62 e na figura 63 em que são levados em consideração os resultados de q_c e f_s . Cabe ressaltar, que os gráficos plotados são retirados da interface digital disponibilizado pelo iCPT.

Outro ponto relevante que deve ser destacado é o fato de que os valores referentes à presença de poropressão não foram aferidos. Sendo assim, os valores disponíveis no ensaio CPT são: resistência de ponta (q_c) e atrito lateral (f_s). Sendo que nas Figuras 64 e 65 estão expostos os resultados interpretados, através das correlações propostas e citadas anteriormente no tópico Revisão Bibliográfica.

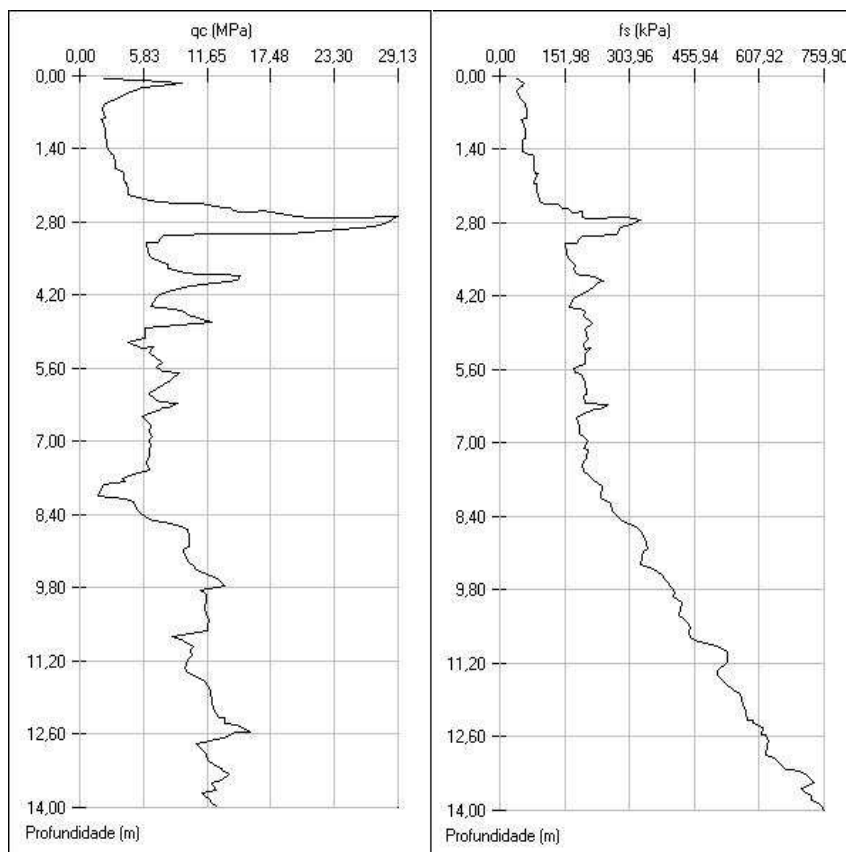


Figura 62 - Resultados do ensaio CPT-1.

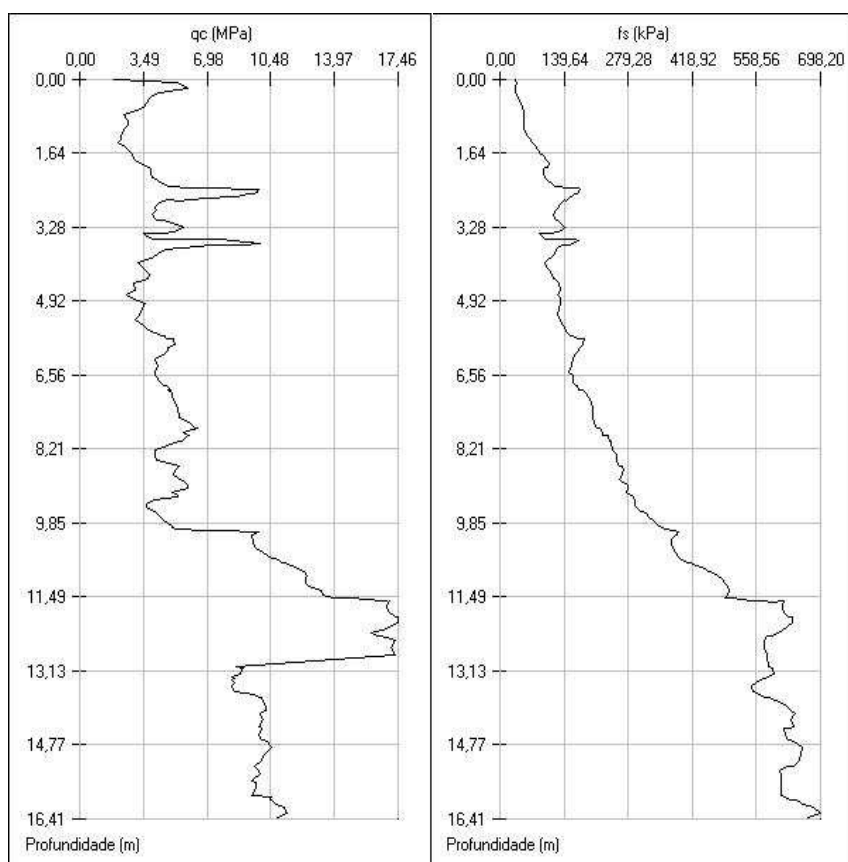


Figura 63 - Resultados do ensaio CPT-2.

Resultados Interpretados																						
Profundidade (m)	Tipo de solo - SPT	SBT	Peso (kN/m ³)	Drenagem	qc (kPa)	fs (kPa)	u2 (kPa)	qt (kPa)	Qln (kPa)	sv0 (kPa)	u0 (kPa)	s/v0 (kPa)	Bq	Rf (%)	Fi (%)	lc	ø (°)	Dr (%)	NKT	Su (kPa)	E (kPa)	OCR
0,28	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	14,66	Drenado	5090,60	41,30	0,00	5090,60	1257,66	4,04	0,00	4,04	0,00	0,81	0,81	1,19	51,70	126,62	9,87	0,00	7635,90	0,00
0,53	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	14,76	Não Drenado	2341,60	58,50	0,00	2341,60	297,86	7,84	0,00	7,84	0,00	2,50	2,51	1,90	44,81	0,00	13,29	175,55	0,00	98,29
1,23	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	14,65	Não Drenado	2529,50	51,70	0,00	2529,50	139,37	18,02	0,00	18,02	0,00	2,04	2,06	2,03	41,19	0,00	12,69	197,83	0,00	45,99
1,53	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	15,24	Não Drenado	3173,30	79,20	0,00	3173,30	135,07	23,32	0,00	23,32	0,00	2,50	2,51	2,10	41,04	0,00	13,30	236,79	0,00	44,57
2,28	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	15,50	Drenado	4461,90	88,40	0,00	4461,90	125,53	35,26	0,00	35,26	0,00	1,98	2,00	2,05	40,69	91,81	12,60	0,00	6692,85	0,00
2,53	Areias Limpas - Areias Siltosas	6	16,53	Drenado	13265,70	148,10	0,00	13265,70	316,66	41,76	0,00	41,76	0,00	1,12	1,12	1,60	45,11	120,61	10,84	0,00	19898,55	0,00
3,20	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	16,28	Drenado	6164,20	153,80	0,00	6164,20	117,31	52,10	0,00	52,10	0,00	2,50	2,52	2,14	40,36	95,48	13,31	0,00	9246,30	0,00
3,50	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	16,38	Drenado	6578,80	164,20	0,00	6578,80	113,67	57,37	0,00	57,37	0,00	2,50	2,52	2,15	40,21	95,96	13,31	0,00	9868,20	0,00
4,25	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	16,47	Drenado	6996,30	174,60	0,00	6996,30	98,98	69,97	0,00	69,97	0,00	2,50	2,52	2,19	39,55	94,88	13,31	0,00	10494,45	0,00
4,57	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	16,74	Drenado	9886,60	195,20	0,00	9886,60	128,18	76,53	0,00	76,53	0,00	1,97	1,99	2,04	40,79	103,51	12,59	0,00	14829,90	0,00
5,20	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	16,54	Não Drenado	5673,00	198,70	0,00	5673,00	64,94	86,04	0,00	86,04	0,00	3,50	3,56	2,43	37,54	0,00	14,36	389,14	0,00	21,43
5,48	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	16,67	Drenado	7600,30	201,00	0,00	7600,30	82,19	91,36	0,00	91,36	0,00	2,64	2,68	2,27	38,66	93,43	13,49	0,00	11400,45	0,00
6,23	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	16,64	Drenado	7284,30	198,80	0,00	7284,30	69,31	103,61	0,00	103,61	0,00	2,73	2,77	2,33	37,85	90,41	13,60	0,00	10926,45	0,00
6,44	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	16,61	Drenado	6781,40	197,70	0,00	6781,40	62,45	106,87	0,00	106,87	0,00	2,92	2,96	2,38	37,35	87,91	13,80	0,00	10172,10	0,00
7,30	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	16,61	Não Drenado	6328,60	203,50	0,00	6328,60	51,20	121,23	0,00	121,23	0,00	3,22	3,28	2,47	36,40	0,00	14,11	439,94	0,00	16,90
7,53	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	16,58	Não Drenado	6330,10	197,80	0,00	6330,10	49,70	124,86	0,00	124,86	0,00	3,12	3,19	2,47	36,26	0,00	14,02	442,46	0,00	16,40
8,29	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	16,84	Não Drenado	5234,90	262,00	0,00	5234,90	36,49	139,63	0,00	139,63	0,00	5,00	5,14	2,71	34,78	0,00	15,48	329,20	0,00	12,04
8,55	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	17,16	Não Drenado	7620,50	304,40	0,00	7620,50	50,97	146,64	0,00	146,64	0,00	3,99	4,07	2,54	36,38	0,00	14,77	506,04	0,00	16,82
9,31	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	17,36	Drenado	10055,30	330,80	0,00	10055,30	61,18	161,71	0,00	161,71	0,00	3,29	3,34	2,42	37,25	93,27	14,17	0,00	15082,95	0,00
9,52	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	17,57	Drenado	11294,40	379,00	0,00	11294,40	66,54	167,22	0,00	167,22	0,00	3,36	3,41	2,40	37,65	96,12	14,23	0,00	16941,60	0,00
10,28	Areias - Areias Limpas	8	17,70	Drenado	11528,70	419,20	0,00	11528,70	63,32	181,97	2,78	179,19	0,00	3,64	3,69	2,45	37,42	95,50	14,47	0,00	17293,05	0,00
10,51	Areias - Areias Limpas	8	17,78	Drenado	11713,60	446,70	0,00	11713,60	63,38	186,90	5,04	181,86	0,00	3,81	3,88	2,46	37,42	95,57	14,62	0,00	17570,40	0,00
11,18	Areias Finas Rígidas	9	17,92	Não Drenado	9930,10	533,90	0,00	9930,10	51,54	200,38	11,59	188,80	0,00	5,38	5,49	2,63	36,43	0,00	15,68	620,69	0,00	17,01
11,58	Areias Finas Rígidas	9	17,97	Não Drenado	11399,70	530,50	0,00	11399,70	58,12	208,02	15,48	192,55	0,00	4,65	4,74	2,55	37,01	0,00	15,23	734,82	0,00	19,18
12,27	Areias Finas Rígidas	9	18,16	Não Drenado	13238,00	593,60	0,00	13238,00	64,90	222,82	22,28	200,54	0,00	4,48	4,56	2,51	37,53	0,00	15,11	861,17	0,00	21,42
12,57	Areias Finas Rígidas	9	18,25	Não Drenado	14248,60	624,50	0,00	14248,60	68,67	229,38	25,22	204,15	0,00	4,38	4,45	2,48	37,80	0,00	15,04	932,03	0,00	22,66
13,22	Areias Finas Rígidas	9	18,30	Não Drenado	12648,30	681,90	0,00	12648,30	58,98	241,93	31,57	210,36	0,00	5,39	5,50	2,59	37,08	0,00	15,68	791,20	0,00	19,46
13,54	Areias Finas Rígidas	9	18,35	Não Drenado	12054,50	724,30	0,00	12054,50	55,22	248,54	34,73	213,80	0,00	6,01	6,14	2,65	36,76	0,00	16,01	737,19	0,00	18,22
14,00	Areias Finas Rígidas	9	18,43	Não Drenado	12561,80	759,90	0,00	12561,80	56,24	258,05	39,27	218,77	0,00	6,05	6,18	2,65	36,85	0,00	16,04	767,30	0,00	18,56

Figura 64 - Resultados do tipo do solo e parâmetros geotécnicos do ensaio CPT-1.

Resultados Interpretados																						
Profundidade (m)	Tipo de solo - SPT	SBT	Peso (kN/m3)	Drenagem	qc (kPa)	fs (kPa)	u2 (kPa)	qt (kPa)	Qtn (kPa)	sv0 (kPa)	u0 (kPa)	s'v0 (kPa)	Bq	Rf (%)	Fr (%)	lc	a (°)	Dr (%)	NKT	Su (kPa)	E (kPa)	OCR
0,31	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	14,33	Drenado	4395,00	32,80	0,00	4395,00	994,02	4,42	0,00	4,42	0,00	0,75	0,75	1,19	50,57	121,15	9,61	0,00	6892,50	0,00
0,69	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	14,74	Drenado	3133,60	51,80	0,00	3133,60	305,69	10,22	0,00	10,22	0,00	1,65	1,66	1,74	44,94	99,43	12,04	0,00	4700,40	0,00
1,34	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	14,90	Não Drenado	2226,50	66,90	0,00	2226,50	110,88	19,90	0,00	19,90	0,00	3,00	3,03	2,22	40,09	0,00	13,87	159,07	0,00	36,59
1,64	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	15,35	Não Drenado	2884,00	89,60	0,00	2884,00	113,34	25,22	0,00	25,22	0,00	3,11	3,13	2,22	40,20	0,00	13,97	204,59	0,00	37,40
2,31	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	15,81	Drenado	4603,30	113,60	0,00	4603,30	125,00	36,53	0,00	36,53	0,00	2,47	2,49	2,12	40,67	92,19	13,27	0,00	6904,95	0,00
2,62	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	16,29	Drenado	6826,50	150,30	0,00	6826,50	158,99	42,67	0,00	42,67	0,00	2,20	2,22	2,01	41,81	101,26	12,92	0,00	10239,75	0,00
3,34	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	16,06	Drenado	5414,60	133,80	0,00	5414,60	99,97	53,63	0,00	53,63	0,00	2,47	2,50	2,19	39,60	91,35	13,28	0,00	8121,90	0,00
3,65	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	16,49	Drenado	9910,50	157,80	0,00	9910,50	163,78	60,14	0,00	60,14	0,00	1,59	1,60	1,90	41,96	107,03	11,93	0,00	14865,75	0,00
4,31	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	15,74	Não Drenado	3852,00	113,60	0,00	3852,00	55,73	67,90	0,00	67,90	0,00	2,95	3,00	2,42	36,81	0,00	13,84	273,38	0,00	18,39
4,67	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	15,81	Não Drenado	3045,10	131,30	0,00	3045,10	40,19	73,92	0,00	73,92	0,00	4,31	4,42	2,64	35,25	0,00	15,02	197,85	0,00	13,26
5,34	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	15,81	Não Drenado	3021,90	131,30	0,00	3021,90	34,78	84,46	0,00	84,46	0,00	4,34	4,47	2,69	34,55	0,00	15,05	195,15	0,00	11,48
5,62	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	16,06	Não Drenado	4159,20	146,50	0,00	4159,20	45,03	90,36	0,00	90,36	0,00	3,52	3,60	2,54	35,79	0,00	14,39	282,67	0,00	14,86
6,34	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	16,14	Não Drenado	4262,40	155,30	0,00	4262,40	40,62	102,40	0,00	102,40	0,00	3,64	3,73	2,58	35,30	0,00	14,50	286,81	0,00	13,41
6,73	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	16,18	Não Drenado	4415,20	159,10	0,00	4415,20	39,54	108,90	0,00	108,90	0,00	3,60	3,69	2,59	35,17	0,00	14,47	297,54	0,00	13,05
7,29	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	16,54	Não Drenado	5351,30	202,00	0,00	5351,30	43,36	120,64	0,00	120,64	0,00	3,77	3,86	2,57	35,61	0,00	14,61	358,08	0,00	14,31
7,60	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	16,61	Não Drenado	6008,80	205,80	0,00	6008,80	46,60	126,25	0,00	126,25	0,00	3,42	3,50	2,52	35,95	0,00	14,31	411,16	0,00	15,38
8,22	Argilas - Argilas Siltosas	3	16,67	Não Drenado	4116,80	246,20	0,00	4116,80	29,05	137,00	0,00	137,00	0,00	5,98	6,19	2,84	33,69	0,00	16,04	248,12	0,00	9,59
8,65	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	16,87	Não Drenado	5279,80	268,90	0,00	5279,80	35,16	146,01	0,00	146,01	0,00	5,09	5,24	2,73	34,61	0,00	15,53	330,49	0,00	11,60
9,32	Argilas - Argilas Siltosas	3	16,88	Não Drenado	4069,80	295,50	0,00	4069,80	24,86	157,36	0,00	157,36	0,00	7,26	7,55	2,95	32,95	0,00	16,65	235,03	0,00	8,20
9,63	Argilas - Argilas Siltosas	3	16,98	Não Drenado	4222,30	318,20	0,00	4222,30	24,82	163,53	0,00	163,53	0,00	7,54	7,84	2,96	32,94	0,00	16,76	242,17	0,00	8,19
10,30	Argila Siltosa - Silte Argiloso	4	17,49	Não Drenado	9527,40	375,00	0,00	9527,40	51,89	180,13	0,00	180,13	0,00	3,94	4,01	2,53	36,47	0,00	14,72	634,86	0,00	17,12
10,66	Silte Arenoso - Areia Siltosa	5	17,61	Drenado	10892,10	396,50	0,00	10892,10	57,04	187,67	0,00	187,67	0,00	3,64	3,70	2,48	36,92	93,43	14,48	0,00	16338,15	0,00
11,25	Areias - Areias Limpas	8	17,92	Drenado	12560,70	494,90	0,00	12560,70	61,30	201,63	0,00	201,63	0,00	3,94	4,00	2,48	37,26	96,48	14,72	0,00	18841,05	0,00
11,61	Areias - Areias Limpas	8	18,25	Drenado	16905,20	590,90	0,00	16905,20	78,80	211,83	0,00	211,83	0,00	3,50	3,54	2,37	38,46	104,29	14,34	0,00	25357,80	0,00
12,35	Areias - Areias Limpas	8	18,24	Drenado	16301,50	594,70	0,00	16301,50	71,34	225,34	0,00	225,34	0,00	3,65	3,70	2,41	37,99	102,36	14,48	0,00	24452,25	0,00
12,61	Areias - Areias Limpas	8	18,22	Drenado	17059,90	575,80	0,00	17059,90	73,25	229,77	0,00	229,77	0,00	3,38	3,42	2,38	38,11	103,39	14,24	0,00	25589,85	0,00
13,28	Areias Finas Rígidas	9	17,95	Não Drenado	8526,70	577,00	0,00	8526,70	34,77	238,37	0,00	238,37	0,00	6,77	6,96	2,82	34,55	0,00	16,40	505,42	0,00	11,47
13,64	Areias Finas Rígidas	9	17,98	Não Drenado	9588,40	565,70	0,00	9588,40	38,11	245,14	0,00	245,14	0,00	5,90	6,05	2,75	34,99	0,00	15,97	584,88	0,00	12,58
14,36	Areias Finas Rígidas	9	18,13	Não Drenado	9843,20	641,40	0,00	9843,20	36,81	260,32	0,00	260,32	0,00	6,52	6,69	2,79	34,83	0,00	16,28	588,65	0,00	12,15
14,66	Areias Finas Rígidas	9	18,11	Não Drenado	9995,70	626,30	0,00	9995,70	36,64	265,59	0,00	265,59	0,00	6,27	6,44	2,78	34,80	0,00	16,16	602,09	0,00	12,09
15,33	Areias Finas Rígidas	9	18,07	Não Drenado	9795,70	608,60	0,00	9795,70	34,36	277,05	0,00	277,05	0,00	6,21	6,39	2,80	34,50	0,00	16,14	589,74	0,00	11,34
15,74	Areias Finas Rígidas	9	18,07	Não Drenado	9696,00	612,40	0,00	9696,00	33,08	284,53	0,00	284,53	0,00	6,32	6,51	2,82	34,31	0,00	16,19	581,18	0,00	10,92
16,00	Areias Finas Rígidas	9	18,17	Não Drenado	10504,90	645,20	0,00	10504,90	35,14	290,65	0,00	290,65	0,00	6,14	6,32	2,79	34,60	0,00	16,10	634,29	0,00	11,60

Figura 65 - Resultados do tipo do solo e parâmetros geotécnicos do ensaio CPT-2.

5.5 Comparação entre os resultados dos ensaios CPT, DMT, SPT e de laboratório

Neste tópico foram realizadas comparações pertinentes com relação aos resultados alcançados através do software iCPT e ensaios de campo e laboratório citados anteriormente. Vale lembrar, que todos os ensaios e resultados foram citados e esclarecidos em tópicos antecedentes.

Para um melhor entendimento e em razão da grande gama de ensaios realizados para efeito de comparação buscou-se separar e delimitar os ensaios de acordo com a proximidade entre eles. Com isso, o resultado de ensaio CPT-1 foi comparado com os ensaios DMT 01, DMT 02, DMT 03 e DMT 04 (MONTEIRO, 1999), SPT-1, SPT-2 e SPT-3 (LOPES, 1997), SP-A, SP-B e SP-C (MINETTE, *et al.*, 1995).

Já o ensaio CPT-2 foi comparado com os ensaios DMT-01 e DMT-02 (DA SILVA, 2000), SPT-01 e SPT-02 (DA SILVA, 2000). Em relação aos poços 1 e 2 de onde retiraram-se amostras para ensaios de laboratório, os resultados foram comparados com os dois ensaios CPT.

▪ Resultados do ensaio CPT-1 comparados com os ensaios DMT 01, DMT 02, DMT 03 e DMT 04 (MONTEIRO, 1999)

Para efeito de comparação, utilizou-se somente os resultados do tipo de solo das camadas. Na Tabela 16 são apresentados os resultados do iCPT comparados com os ensaios Dilatométrico plano.

Considerando-se que no ensaio DMT as análises são baseadas em resultados de ensaios realizados a cada 20 cm de profundidade e que no ensaio CPT, estes resultados são contínuos (intervalos da ordem de 1 cm de profundidade), pode-se assumir que há equivalência entre as classificações destas duas metodologias. Observa-se que nas camadas com profundidade de 2,0 m , 3,0 m e 5,0 m os resultados do iCPT apresentaram em algumas camadas semelhança com aqueles aferidos através do ensaio DMT.

Tabela 16 - Resultados do iCPT e ensaios DMT realizado por Monteiro.

Prof. (m)	DMT 01	DMT 02	DMT 03	DMT 04	iCPT
1,0	Silte Arenoso	Areia	Areia Siltosa	Areia Siltosa	Argila Siltosa - Silte Argiloso
2,0	Silte Arenoso	Areia Siltosa	Silte Arenoso	Areia	Silte Arenoso – Areia Siltosa e Areias Limpas – Areias Siltosas
3,0	Silte Arenoso	Silte Arenoso	Areia Siltosa	Areia Siltosa	Silte Arenoso – Areia Siltosa
4,0	Areia	-	Areia	-	Silte Arenoso – Areia Siltosa
5,0	Areia	-	Areia Siltosa	-	Silte Arenoso – Areia Siltosa e Argila Siltosa – Silte Argiloso

▪ **Resultados do ensaio CPT-1 comparado com os ensaios SP-A, SP-B e SP-C (MINETTE, *et al.*, 1995)**

Com relação aos resultados do programa iCPT quando comparados aos resultados do ensaio SPT para os furos SP-A, SP-B e SP-C realizados por Minette *et al.* (1995), constata-se a equivalência das classificações entre as duas metodologias. Ressalta-se que nos ensaios SPT há a retirada de amostras em intervalos de 1 metro de profundidade e a classificação do tipo de solo é feita através de análise visual e táctil que inclui a descrição da cor do solo e possibilidade de identificação de argilo minerais e presença de matéria orgânica.

Assim, uma comparação entre estas duas técnicas de ensaio, o CPT (método indireto sem coleta de amostras) e o SPT (método direto com coleta de amostras) para identificação da estratigrafia do subsolo, apesar de fornecerem resultados semelhantes conforme verificado nas análises apresentadas, deve-se ressaltar que o CPT trabalha com informações qualitativas adquiridas de forma contínua através de sensores e a classificação é realizada por meio de cartas de classificação.

▪ **Resultados do ensaio CPT-1 comparado com os ensaios SPT-1, SPT-2 e SPT-3 (LOPES, 1997)**

Na Figura 66 são encontrados os resultados da classificação feita pelo software iCPT comparados com os ensaios realizados por LOPES (1997). Nesta comparação, pelo fato dos ensaios SPT's possuírem muitas camadas, achou-se mais conveniente apresentar os mesmos desta forma, sendo realizado em seguida uma análise dos mesmos.

A mesma observação feita anteriormente vale para esta outra comparação, em que os resultados para identificação da estratigrafia do subsolo apresentaram ligeiras diferenças em algumas camadas. Além do que foi dito, um fator que faz com que os resultados sejam distintos é o fato de que as cartas utilizadas para classificação do solo por meio do ensaio CPT, foram arranjadas por meio de experiências internacionais em regiões de clima temperado, e que não consideram peculiaridades dos solos tropicais típicos da região de Viçosa.

Prof (m)	Classificação			
	SPT 01	SPT 02	SPT 03	iCPT
0,5	Areia siltosa cor vg (rosa)	Areia siltosa cor rosa	Areia siltosa cor vg (rosa)	Argila Siltosa - Silte Argiloso
1	Areia siltosa cor vg (rosa)	Areia siltosa cor rosa	Areia siltosa cor vg (rosa) com veio de quartzo	Argila Siltosa - Silte Argiloso
1,5	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	Areia siltosa cor vg (rosa)	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	Argila Siltosa - Silte Argiloso
2	Areia quartzosa pouco siltosa cor vg (branca/rosa)	Areia siltosa cor rosa	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	Silte Arenoso - Areia Siltosa
2,5	Areia quartzosa pouco siltosa cor vg (branca/marrom)	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	Areias Limpas - Areias Siltosas
3	Areia siltosa com mica cor vg (marrom/vermelho)	Silte arenoso cor vg (marrom/rosa)	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	Silte Arenoso - Areia Siltosa
3,5	Areia quartzosa siltosa cor vg (branca/rosa)	Silte arenoso cor vg (branca/marrom)	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	Silte Arenoso - Areia Siltosa
4	Areia quartzosa siltosa cor vg (branca/rosa)	Silte arenoso cor vg (branca/rosa)	Areia siltosa cor vg (rosa) com veio de quartzo	Silte Arenoso - Areia Siltosa
4,5	Areia quartzosa siltosa cor vg (rosa)	Silte arenoso cor vg (marrom/rosa)	Areia siltosa cor vg (rosa)	Silte Arenoso - Areia Siltosa
5	Areia quartzosa siltosa com mica cor vg (branca/rosa)	Nível d'água	Areia siltosa cor vg (rosa) - Nível d'água	Argila Siltosa - Silte Argiloso
6	-	-	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	Silte Arenoso - Areia Siltosa
7	-	-	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	Argila Siltosa - Silte Argiloso
8	-	-	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	Argila Siltosa - Silte Argiloso
9	-	-	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	Silte Arenoso - Areia Siltosa
10	-	-	Areia siltosa cor vg (branca)	Areias - Areias Limpas
11	-	-	Areia siltosa cor vg (branca)	Areias Finas Rígidas
12	-	-	Areia siltosa cor vg (branca)	Areias Finas Rígidas
13	-	-	Areia siltosa cor vg (branca)	Areias Finas Rígidas
14	-	-	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	Areias Finas Rígidas
15	-	-	Areia siltosa cor vg (branca/rosa)	Areias Finas Rígidas
16	-	-	Silte arenoso marrom com mica	Areias Finas Rígidas
17	-	-	Areia siltosa cor rosa	Areias Finas Rígidas
18	-	-	Impenetrável à percussão sem amostragem	Areias Finas Rígidas

Figura 66 - Comparação entre os resultados do iCPT e dos ensaio SPT realizados por Lopes (1997).

- **Resultados do ensaio CPT-2 comparados com os ensaios DMT-01 e DMT-02 (DA SILVA, 2000)**

Na Tabela 17 são apresentados os resultados das classificações dos solos feitas pelo iCPT comparados com as classificações realizadas via ensaios DMT por DA SILVA (2000).

Tabela 17 - Resultados do iCPT e ensaios DMT realizado por Da Silva (2000).

Prof. (m)	DMT-01	DMT-02	iCPT
1,0	Silte Arenoso	Areia Siltosa	Argila Siltosa – Silte Argiloso
2,0	Areia	Silte Arenoso	Silte Arenoso – Areia Siltosa
3,0	Areia Siltosa	Areia	Silte Arenoso – Areia Siltosa
4,0	Areia Siltosa	Areia Siltosa	Argila Siltosa - Silte Argiloso
5,0	Areia Siltosa	Areia Siltosa	Argila Siltosa - Silte Argiloso
6,0	Areia Siltosa	Areia Siltosa	Argila Siltosa - Silte Argiloso
7,0	Silte Arenoso	Areia Siltosa	Argila Siltosa - Silte Argiloso

Por meio da tabela anterior, em que são apresentadas as comparações dos resultados através dos ensaios DMT e CPT, percebe-se que apesar das duas metodologias abordarem métodos indiretos para investigação, apenas em duas das profundidades (2,0 m e 3,0 m) ocorreu a semelhança entre os valores do ensaio CPT-2. Em função desta disparidade e por se tratar de ensaios que analisam o solo de acordo com o seu comportamento mecânico, o aconselhável é sempre aferir de modo que sejam coletadas amostras podendo-se distinguir corretamente as camadas do subsolo.

- **Resultados do ensaio CPT-2 comparados com os ensaios SPT-01 e SPT-02 (DA SILVA, 2000)**

Com relação aos resultados do iCPT, nota-se a semelhança na descrição do tipo de solo encontrado em determinadas profundidades, sendo comum a alternância nas descrições entre silte argiloso e argila siltosa. Tal dificuldade é também verificada no caso das classificações baseadas na análise visual e tátil utilizada no ensaio SPT.

Na Tabela 18 são apresentados os resultados do iCPT comparados aos ensaios SPT-01 e SPT-02 realizados por DA SILVA (2000).

Tabela 18 - Resultado do iCPT e ensaios SPT realizado por Da Silva (2000).

Prof. (m)	SPT-01	SPT-02	iCPT
1,0	Areia Fina Siltosa	Areia Fina Siltosa	Argila Siltosa – Silte Argiloso
2,0	Areia Fina Siltosa	Areia Fina Siltosa	Silte Arenoso – Areia Siltosa
3,0	Areia Fina Siltosa	Areia Fina Siltosa	Silte Arenoso – Areia Siltosa
4,0	Areia Média Siltosa	Areia Média Siltosa	Argila Siltosa - Silte Argiloso
5,0	Areia Média Siltosa	Areia Média Siltosa	Argila Siltosa - Silte Argiloso
6,0	Areia Média Siltosa	Areia Média Siltosa	Argila Siltosa - Silte Argiloso

Com base nos resultados e apesar dos ensaios CPT e SPT serem consagrados, pode-se notar que as diferenças nos resultados das camadas 2 m e 3 m varia de "areia fina siltosa" para "silte arenoso a areia siltosa", o que em essência não compromete nenhum dos dois métodos. Do ponto de vista de comportamento mecânico, estas duas classificações são equivalentes. Vale ressaltar, que embora bastante difundidas e suas aplicações já serem bem conhecidas, os dois métodos para a identificação da estratigrafia do subsolo trabalham com metodologias diferentes, um através de sensores e outro por meio de análise de amostras.

▪ **Resultados do ensaio CPT-1 comparados com os ensaios de laboratório (ALMEIDA, 2000)**

Com relação aos resultados de granulometria, observou-se que a composição da amostra de solo era de 54,50 % de Areia, 37,00 % de Silte e 8,5 % de Argila, portanto uma "areia silto argilosa". Já na profundidade 1,53 m, com o iCPT, o solo encontrado é uma "argila siltosa a silte argiloso", o que comprova mais uma vez a limitação ao se reconhecer camadas de solo residual através de ábacos confeccionados com experiências em câmaras de calibração e para solos temperados.

Em relação aos índices físicos, o peso específico natural encontrado no solo é de 13,75 kN/m³ sendo que, no iCPT, o peso específico do solo encontrado foi de 15,24 kN/m³. Fica evidente que as correlações utilizadas na interpretação dos ensaios CPT e

CPTu precisam ser calibradas para solos residuais e solos tropicais. Vale ressaltar que quando segue as normas vigentes e têm-se critério na realização dos ensaios, o peso específico é melhor obtido através de ensaios de laboratório com amostras indeformadas, sendo assim, as correlações propostas devem ser utilizadas somente quando não se dispõe da possibilidade de realização de ensaios de laboratório.

Observando-se a razão de sobreadensamento (OCR), na mesma camada, em ensaios de compressibilidade o valor foi de 11,82 para uma tensão vertical efetiva (σ'_{vo}) de 22 kPa. Quando se analisou através do software iCPT, o valor de OCR encontrado através das correlações foi de 44,57 para uma tensão vertical efetiva de 23,32 kPa. Os resultados são disponibilizados na Tabela 19.

Tabela 19 - Resultados do ensaio CPT-1 e de laboratório (Almeida, 2000).

	Profundidade (m)	Tipo de Solo	γ (kN/m³)	σ'_{vo} (kPa)	OCR
ALMEIDA	1,6 m	Areia Silto Argilosa	13,75	22	11,82
iCPT	1,53 m	Argila Siltosa – Silte Argiloso	15,24	23,32	44,57

Considerando-se que a profundidade para a coleta da amostra realizada por Almeida (2000) foi de 1,6 m, optou-se por retirar os dados da profundidade mais próxima por meio do iCPT, sendo fixado em 1,53 m. Como era esperado, os valores de OCR encontrados no software foram maiores, uma vez que a tensão efetiva aplicada nos ensaios de compressibilidade é maior do que a utilizada nas correlações propostas na utilização dos resultados derivados do ensaio CPT. Com relação ao peso específico e ao tipo de solo, houve disparidade entre os resultados.

▪ **Resultados do ensaio CPT-2 comparados com os ensaios de laboratório (ALMEIDA, 2000)**

Nos resultados de granulometria, observou-se que a composição da amostra de solo era de 54,50 % de Areia e 37,00 % de Silte e 8,5 % de Argila. Já na profundidade de 1,64 m, com o iCPT, o solo encontrado é uma Argila Siltosa – Silte Argiloso.

Em relação aos índices físicos, o peso específico natural encontrado no solo é de 13,75 kN/m³, sendo que no iCPT, o peso específico do solo encontrado no ensaio CPT-2 foi de 15,35 kN/m³.

Na razão de sobreadensamento (OCR), na mesma camada em ensaios de compressibilidade, o valor foi de 11,82 para uma tensão vertical efetiva (σ'_{vo}) de 22 kPa. Quando se analisou através do software iCPT, o valor de OCR através das correlações encontrado foi de 37,40 para uma tensão vertical efetiva de 25,22 kPa. Os resultados são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Resultados do ensaio CPT-2 e de laboratório (Almeida, 2000).

	Profundidade (m)	Tipo de Solo	γ (kN/m ³)	χ (kPa)	OCR
ALMEIDA	1,6 m	Areia Silto Argilosa	13,75	22	11,82
iCPT	1,64 m	Argila Siltosa – Silte Argiloso	15,35	25,22	37,40

Com base na Tabela 20, nota-se que os resultados encontrados no iCPT através dos dados do ensaio CPT-2 tiveram os mesmos problemas apresentados anteriormente. Note-se que os valores ficaram bastante superiores como é o caso da razão de sobre adensamento, que através do iCPT, encontrou-se três vezes maior daquela aferida por meio do ensaio de compressibilidade. Com relação ao peso específico e ao tipo de solo, a diferença encontrada demonstra uma diferença muito grande entre os resultados.

▪ **Resultados do ensaio CPT-1 e CPT-2 comparado com os ensaios de laboratório (MONTEIRO, 1999)**

Com relação aos ensaios realizados, as amostras foram coletadas nas profundidades de 0,5 m, 1,5 m, 2,5 m, 3,5 m e 4,5 m.

As classificações obtidas pelo iCPT apresentaram as mesmas diferenças mencionadas anteriormente, existindo dificuldades na distinção entre "areias siltosas" e "siltes arenosos", principalmente em se tratando de solos residuais.

Em relação aos índices físicos, os valores encontrados pelo iCPT são novamente bem maiores que os determinados experimentalmente em laboratório a partir

de amostras indeformadas. Tal fato, deve-se à necessidade de calibração das equações utilizadas na interpretação de ensaios CPT e CPTu para solos tropicais.

Na Tabela 21 são apresentados os resultados do iCPT comparados aos ensaios de laboratório realizados por Monteiro (1999).

Valores de razão de sobreadensamento (OCR), ângulo de atrito e peso específico obtidos em ensaios de laboratório, estão disponibilizados na Tabela 22 para melhor visualização e entendimento. Já aqueles oferecidos pelo iCPT estão apresentados na tabela 23 e na tabela 24.

Tabela 21 - Ensaios de laboratório e iCPT.

Prof. (m)	CPT-1 iCPT	CPT-2 iCPT	Ensaio de laboratório
0,5	Argila Siltosa – Silte Argiloso	Silte Arenoso - Areia Siltosa	Areia Siltosa
1,5	Argila Siltosa – Silte Argiloso	Argila Siltosa – Silte Argiloso	Areia Argilosa
2,5	Areia Limpas - Areia Siltosa	Silte Arenoso - Areia Siltosa	Areia Siltosa
3,5	Silte Arenoso - Areia Siltosa	Silte Arenoso - Areia Siltosa	Areia Siltosa
4,5	Silte Arenoso - Areia Siltosa	Argila Siltosa – Silte Argiloso	Areia Siltosa

A partir dos resultados obtidos e tomando-se por base o julgamento citado acima, pode-se concluir que, em relação ao tipo de solo, algumas camadas apresentaram similaridade significativa entre os dados alcançados em ensaios de análise granulométrica realizados em laboratório com aqueles disponíveis através da plataforma digital iCPT, principalmente no ensaio CPT-1.

Pode-se observar que no ensaio CPT-1, apenas nas camadas de 0,53 m e 1,53 m, os valores de razão de sobreadensamento calculados, sendo que no caso do ângulo de atrito as camadas calculadas foram as de 2,53 m, 3,50 m e 4,57 m. Isso se deve ao fato de que no software iCPT os parâmetros são calculados de acordo com o tipo de solo característico, ou seja, em algumas camadas as correlações não oferecem confiabilidade e aplicabilidade para a determinação de parâmetros geotécnicos. Sendo assim,

analisando-se os dados de OCR e ângulo de atrito do ensaio CPT-1, observa-se que os valores do ângulo de atrito mantiveram-se próximos, principalmente nas camadas de 3,50 m e 4,57 m. Porém, os valores de OCR, assim como anteriormente, apresentaram disparidade entre os ensaios de laboratório e as correlações propostas. Com relação ao peso específico, os valores ficaram próximos, principalmente nas profundidades de 0,53 m, 3,50 m e 4,57 m.

Tabela 22 - Resultados dos ensaios de compressibilidade e cisalhamento realizado por Monteiro (1999).

Profundidade (m)	Ângulo de Atrito (graus) Direto	σ_{vo} (kPa)	γ (kN/m³)	OCR
0,5	31	7,25	14,5	36,8
1,5	29	20,55	13,7	13,1
2,5	35	38,50	15,4	7,7
3,5	38	54,25	15,5	3,6
4,5	40	73,80	16,4	4,0

Tabela 23 - Resultados do CPT-1 obtidos pelo iCPT.

Profundidade (m)	Ângulo de Atrito (graus)	σ'_{vo} (kPa)	γ (kN/m³)	OCR
0,53	0	7,84	14,76	98,29
1,53	0	23,32	15,24	44,57
2,53	45,11	41,76	16,53	0
3,50	40,21	57,37	16,38	0
4,57	40,79	76,53	16,74	0

Tabela 24 - Resultados do CPT-2 alcançados no iCPT.

Profundidade (m)	Ângulo de Atrito (graus)	σ'_{vo} (kPa)	γ (kN/m³)	OCR
0,69	44,94	10,22	14,74	0
1,64	0	25,22	15,35	37,40
2,62	41,81	42,67	16,29	0
3,65	41,96	60,14	16,49	0
4,67	0	73,92	15,81	13,26

Como dito anteriormente, as mesmas observações são feitas para o ensaio CPT-2 em que algumas camadas não foram calculadas devido a falta de confiabilidade e aplicabilidade para a determinação de parâmetros geotécnicos. Com isso, os valores do ângulo de atrito nas profundidades de 0,69 m, e 2,62 m ficaram bastante dispersos em comparação com aqueles aferidos através de ensaios de laboratório, ou seja, apenas em 3,65 m o valor manteve-se próximo aos realizados por Monteiro (2000). Em relação à razão de sobreadensamento, a diferença em comparação com os ensaios de laboratório foram expressivas, assim como ocorreu no ensaio CPT-1. Com relação ao parâmetro atribuído ao peso específico, os valores mantiveram-se próximos, sobretudo nas profundidades de 0,69 m, 2,62 m e 4,67 m.

De forma geral, resultados mais confiáveis poderiam ser obtidos se existisse um monitoramento mais preciso da poropressão lida no ensaio (u₂), pois através deste resultado os valores utilizados nas correlações estariam normalizados e o produto final seria mais próximos da realidade, pois as mesmas utilizam valores de resistência de ponta corrigida (q_t) e tensão vertical efetiva inicial (σ'_{vo}), dados que dependem diretamente da poropressão lida. Mas cabe ressaltar que, através dos ensaios SPT citados anteriormente, a presença do nível de água estava localizado à 5 m. Com isso, a falta de medição da poropressão lida no ensaio (u₂), não apresentou influência significativa no resultado final, pois os ensaios de laboratório tiveram profundidade final de 4,5 m.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6.1 Conclusões

Considerando as finalidades propostas no presente estudo, que teve como objetivos desenvolver um software para análise e interpretação do ensaio CPTu, intitulado de iCPT e comparar e validar os resultados das correlações propostas no mesmo com outros ensaios, tais como SPT, DMT e de laboratório, pode-se concluir que:

- nos resultados de classificação do solo, houve em alguns casos semelhança dos dados aferidos através das cartas disponibilizadas pelo software iCPT com relação aqueles atingidos em os outros ensaios, como: DMT, SPT e de caracterização. Com relação às camadas que apresentaram diferença, pode-se afirmar que elas ocorrem pelo fato de que os ábacos empregados para classificação do solo através do ensaio CPTu abrangem experiências em regiões predominantes de clima de temperado, sendo que o presente estudo baseia-se em resultados de ensaios realizados em região de clima tropical;
- com relação ao uso de correlações propostas para apresentarem valores de parâmetros geotécnicos, como o ângulo de atrito, houve uma boa similaridade entre as informações aferidas em laboratório, através de ensaios de resistência com cisalhamento direto, daquelas propostas e aplicadas no iCPT, mesmo levando em consideração a disponibilidade de poucos dados para uma análise mais detalhada;
- quando se considera a razão de sobreadensamento, as correlações não obtiveram nenhuma similaridade com os dados obtidos através dos ensaios de compressibilidade, sendo que na maioria dos casos os valores obtidos por meio das correlações no iCPT encontraram-se duas ou três vezes maiores. Essa constatação é tanto para os ensaios de Monteiro (1999), quanto para os de Almeida (2000);

- na comparação de resultados entre do peso específico determinado em laboratório e os obtidos em correlações do iCPT apresentou uma diferença perceptível entre os valores;
- com base nos resultados da interface do iCPT, levando-se em consideração os gráficos com resultados e ábacos de classificação do solo, o software criado proporcionou uma semelhança significativa com outras plataformas consagradas no meio da engenharia geotécnica. No entanto, não foram feitas comparações entre os resultados dos parâmetros geotécnicos entre os softwares, pois isto está fora do escopo do presente trabalho.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

Em vista dos estudos realizados, propõe-se que sejam desenvolvidos novos trabalhos para um melhor delineamento dos diversos pontos abordados nesta pesquisa, com relação a utilização do ensaio CPT e CPTu para os condicionantes geotécnicos da região da Zona da Mata Norte.

Desta forma, recomenda-se:

- realizar ensaios penetrométricos com o CPT e CPTu em solos da Zona da Mata Norte de Minas Gerais;
- desenvolver protocolo de validação geotécnica dos resultados dos ensaios realizados com os ensaios CPT e CPTu em solos da Zona da Mata Norte de Minas Gerais, a partir do banco de dados obtido com a realização de ensaios de laboratório de caracterização geotécnica, resistência mecânica e compressibilidade, englobando:
 - a implementação e atualização de carta de classificação de solos; e
 - a análise da aplicabilidade de correlações da literatura técnica entre parâmetros do referido ensaio de campo e parâmetros de resistência ao cisalhamento e compressibilidade determinados em ensaios de laboratório.

- implementar funcionalmente o iCPT para a análise e interpretação geotécnica dos resultados de ensaios com os ensaios CPT e CPTU, com base em solos da Zona da Mata Norte de Minas Gerais;
- disponibilizar em ambiente acadêmico na UFV o iCPT para análise e interpretação dos resultados dos ensaios CPT e CPTu como ferramenta de aprendizado em disciplinas de interesse; e
- avaliar a eficácia da referida ferramenta no processo de aprendizagem dos alunos de graduação e pós-graduação do Curso de Engenharia Civil da UFV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT: NBR 3406. **Ensaio de Penetração de Cone In Situ (CPT) - Método de Ensaio.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991.

ABNT. NBR 6484. **Sondagem de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1980.

ABNT. NBR 7250. **Identificação e descrição de amostras de solos obtidas em sondagens de simples reconhecimento dos solos.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1982.

ABNT. NBR 9604. **Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo com retirada de amostras deformadas e indeformadas.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1986.

AL-KHAFAJI, A. W. et al. **GEOTEK-PRO: Geotechnical software for the IBM-PC,** Santa Cruz, California: Kingman-Block, 1986.

ALMEIDA, M. S.S. **Análise numérica de prova de carga direta assente em solo residual de gnaiss.** Viçosa, MG: UFB. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, 147 p. 2000.

ASTM. **Tentative Method for Deep Quase-static, Cone and Friction Cone Penetration Tests in soils,** D3441-75T, 1979.

BALCI, Osman. **Principles and Techniques of Simulation Validation, Verification, and Testing.** Proceedings of the 27 the Winter Simulation Conference, Arlington, Virginia. p 147-154, 1995.

BALDI, G.; BELLOTTI, R.; GHIONNA, V. N.; JAMIOLKOWSKI, M.; ASQUALINI, E. **Design parameters for sand from CPT.** In: EUROPEAN SYMP. ON ENETRATION TESTING, ESOPT, 2. Amsterdam. Proceedings. v. 2, p. 425-432. 1982.

BARATA, F.E. **Propriedades da Mecânica dos Solos – Uma Introdução ao Projeto de Fundações.** Porto Alegre: Livros Técnicos e Científicos. 1984.

BEGEMANN, H. K. S. **The friction jacket cone as an aid in determining the soil profile.** Proceedings of the 6th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Montreal, v. 1, p. 17-20. 1965.

BURLAND. J.B. **The teaching of soil Mechanics – a personal view.** Proc 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation. Engineering, Dublin, 3, p. 1427-1441, 1987.

CAMPANELLA, R.G., AND ROBERTSON, P.K. **State of the art in In-situ testing of soils: developments since 1978.** In Proceedings of Engineering Foundation Conference on Updating Subsurface Sampling of Soils and Rocks and Their In-situ Testing. Santa Barbara, California. January 1982, pp. 245-267. 1982.

CAMPANELLA, R.G. & DAVIES, M.P. **In-situ testing for geo-environmental site characterization: a mine tailings example.** In: International conference on soil mechanics and foundation engineering, 14, 1997.

CAMPANELLA, R.G. **Guidelines for geotechnical design using the cone penetrometer test and cpt with pore pressure measurement.** Hogentogler & Company, Inc. 1995.

CORNELL, G.; STRAIN, T. **Delphi: segredos e soluções.** SP: Makron Books, 1996.

DA SILVA, C. E. F. **Estudo da distribuição de cargas ao longo do fuste e base de um tubulão.** Viçosa, MG: UFV. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa. 2000.

DOURADO, J. C. **A utilização da sísmica na determinação de parâmetros elásticos de maciços rochosos e terrosos in situ.** (Publicação Especial), ABGE, São Paulo, SP.12 p. 1984.

FERREIRA, B. **Uma técnica para validação de processos de desenvolvimento de software.** Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional (MMC) do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas. Belo Horizonte. 2008

ISSMFE. **International reference test procedure for cone penetration test (CPT).** In Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils – TC 16 with Reference Test Procedures CPT - SPT - DP - WST, SGI. 1989.

JACOBS, P. **Cone Penetration Testing (Cpt): "Simplified Description Of The Use And Design Methods For Cpts In Ground Engineering".** Fugro Engineering Services Limited. 2004.

JAMIOLKOWSKI, M., LADD, C.C., GERMAINE, J.T., LANCELLOTA, R., **New developments in field and laboratory testing of soils.** Proc. XI ICSMFE, San Francisco, Vol. 1, pp. 57-153, 1985.

JASKA, M. B., KAGGWA, W. S., BROOKER, I., VAN HOLST, D. A. **Modelling the lateral spatial variation of the undrained shear strength of a stiff, overconsolidated clay using an horizontal cone penetration test.** Department of civil and environmental engineering. University of Adelaide. 1994

LOPES, G.S. **Execução e análise de uma prova de carga direta em verdadeira grandeza em solo residual de gnaiss.** Viçosa, MG: UFV, 1997. 172 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa. 1997.

LUNNE, T.; ROBERTSON, P. K. & POWELL, J.J.M. **Cone Penetration Testing.** Londres: Blackie Academic & Professional. 1997.

MAYNE, P. W. **Regional Report for North America.** Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA USA. 1995.

MAYNE, P. W. **Cone Penetration Testing: A Synthesis of Highway Practice.** Transportation Research Board. 2007.

MEIGH, A. **Cone penetration testing: methods and interpretation.** Ciria Ground Engineering Report: In situ testing. 1987.

MINETTE, E., PASCHOALOTTI, L. M, L., BARBOSA, P. S. A. **Estudo geológico-geotécnico do regolito típico da Zona da Mata – MG.** Relatório Anual de Pesquisa Apresentado ao CNPq e CEPE/UFV, Viçosa/MG, p. 1-33. 1995.

MONTEIRO, G. C. **Caracterização de um solo residual de gnaiss através de dilatômetro e de laboratório.** Rio de Janeiro, RJ: COPPE/UFRJ. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 129 p. 1999.

NASCIMENTO, W.D. **Geoweb, um facilitador para a aprendizagem em geotecnia.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa. 2009.

OBERKAMPF, W.L., TRUCANO, T.G., **Verification and validation benchmarks, Nuclear Eng. Design, Validation and Uncertainty Estimation** Department, Sandia National Laboratories, vol 238 p. 716-743, 2007.

OLIVER, A.W.; OLIPHANT, J. **A Computer-aided learning program for teaching Effective stress to undergraduates,** Geotechnical and Geological Engineering, 17: 85-97, 1999.

PENROD, P. **Developing Windows applications using Delphi.** New York: John Wiley & Sons, 1995.

PRESSMAN, R. S. **Engenharia de software.** 6. ed. São Paulo: Mc Graw Hill, 2006.

Robertson, P.K., and Campanella, R.G. **Interpretation of cone penetration tests – Part I (sand).** Canadian Geotechnical Journal, 20(4): 718-733. 1983a.

Robertson, P.K., and Campanella, R.G. **Interpretation of cone penetration tests – Part II (clay).** Canadian Geotechnical Journal, 20(4): 734-745. 1983b.

ROBERTSON, P.K., CAMPANELLA, R.J., GILLESPIE D, AND GRIEG, J. **Use of piezometer cone data.** Proc. In-Situ '86, ASCE Specialty Conference on the Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering, Blacksburg, VA, ASCE Specialty Geotechnical Publication 6, 1263–1298. 1986.

ROBERTSON, P. K. **“Soil classification using the cone Penetration test”**, in: Canadian Geotech. J., 27 (1), 151-158, 1990.

ROBERTSON, P.K., SULLY, J.P., WOELLER, D.J., LUNNE, T., POWELL, J.J.M., AND GILLESPIE, D.G. **Estimating coefficient of consolidation from piezocone tests.** Canadian Geotechnical Journal. 1992.

ROBERTSON, P.K., WRIDE, C.E. **Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test.** Canadian Geotechnical Journal 35 (3): 442-459. 1998.

ROBERTSON, P. K. **“Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering.** Gregg Drilling & Testing, Inc. 2010.

ROBERTSON, P. K. **“Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering.** Gregg Drilling & Testing, Inc. 2015.

ROGERS, J. D. **Fundamentals Of Cone Penetrometer Test (Cpt) Soundings.** Disponível em: <<http://web.mst.edu/~rogersda/umrcourses/ge441/CPT-Soundings.pdf>>. Acesso em 31 de Outubro de 2015.

RUMBAUGH, J et al. **Modelagem e Projetos baseados em objetos.** RJ: Campus, 1994.

RUS, I.; LINDVALL, M. **Knowledge Management in Software Engineering.** *IEEE Software*, [S. l.], v. 19, n. 3, p. 26-38, May 2002.

SCHMERTMANN, J.H. **Guidelines for cone penetration test, performance and design,** US Federal Highway Administration, Washington, DC, Report FHW-TS-78-209. 1978.

SANTANA, P. LAMAS, Z. DIMITROVOVÁ, **“Utilização de ferramentas computacionais orientadas para o ensino no curso de Engenharia Geológica”.** 10º Congresso Nacional de Geotecnia (10CNG), Vol. 2, pp. 635-645, 22-25. 2006.

SCHNAID, F. **Ensaio de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações.** Oficina de textos. 2000.

SCHNAID, F. **Ensaio de campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações.** Oficina de textos. 2009.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software.** 8. ed. São Paulo: Pearson Addison-Wesley, 2007.

VERÍSSIMO, G. S. & CARVALHO, J. R. **Delphi Básico.** Universidade Federal de Viçosa. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de Engenharia Civil. 1997.

WROTH C.P. **The Interpretation of In Situ Soil Tests.** Twenty Fourth Rankine Lecture, *GÉOTECHNIQUE* 34, NO. 4, PP 449-489. 1984