

**INTERPRETAÇÃO DE ENSAIOS DE PIEZOCONE UTILIZANDO
CONCEITOS DE SIMILARIDADE**

HELENA DE FÁTIMA ARAUJO FERNANDES MEDINA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE - UENF

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

Fevereiro / 2007

INTERPRETAÇÃO DE ENSAIOS DE PIEZOCONE UTILIZANDO
CONCEITOS DE SIMILARIDADE

HELENA DE FÁTIMA ARAUJO FERNANDES MEDINA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense – Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção de título de mestre em Engenharia Civil com ênfase em Geotecnia.

Orientador: Prof. Fernando Saboya Albuquerque Junior

Campos dos Goytacazes – Rio de Janeiro

Fevereiro / 2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCT / UENF

15/2007

Medina, Helena de Fátima Araujo Fernandes

Interpretação de ensaios de Piezocone utilizando conceitos de similaridade / Helena de Fátima Araújo Fernandes Medina. – Campos dos Goytacazes, 2007.

xii, 165 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) --Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de Engenharia Civil. Campos dos Goytacazes, 2007.

Orientador: Fernando Saboya Albuquerque Junior.

Área de concentração: Geotecnia.

Bibliografia: f. 60-65

1. Ensaio Piezocone 2. Comportamento solo 3. Análise dados 4. Agrupamentos 1. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Centro de Ciência e Tecnologia. Laboratório de

INTERPRETAÇÃO DE ENSAIOS DE PIEZOCONE UTILIZANDO
CONCEITOS DE SIMILARIDADE

HELENA DE FÁTIMA ARAUJO FERNANDES MEDINA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologia, da Universidade Estadual do Norte Fluminense – Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção de título de mestre em Engenharia Civil com ênfase em Geotecnia.

Aprovada em 13 de fevereiro de 2007.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Pedricto Rocha Filho: PhD. – PUC-Rio

Prof. Sérgio Tibana, D. Sc. - UENF

Prof. Paulo César de Almeida Maia: D. Sc. – UENF

Prof. Fernando Saboya Albuquerque Júnior D. Sc. – UENF

Orientador

AGRADECIMENTOS

Ao professor Fernando Saboya Jr., que além de orientar na realização deste trabalho com muita competência e dedicação, mostrou-se incentivador na pesquisa de idéias renovadas.

A FAPERJ pela concessão de bolsa que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho e a UENF pela cessão dos dados do piezocone.

A todos os professores e técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da UENF, da Graduação e Pós-graduação, que foram os responsáveis pelos conhecimentos adquiridos.

Agradeço também a todos que, de alguma maneira, contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus pais, que sempre me incentivaram e abdicaram de suas vidas em prol da formação profissional dos seus filhos.

SUMÁRIO

Resumo.....	XI
Abstract.....	XII
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 – Considerações Gerais	2
1.2 – Objetivos	4
CAPÍTULO 2 – ENSAIO CPT/CPTU	6
2.1 – Introdução e Histórico.....	7
2.2 – Ensaio de CPTU	8
2.2.1 – Generalidades do Ensaio CPTU	10
2.2.2 - Vantagens e limitações do ensaio de CPTU	12
2.3 – Interpretação do Ensaio do Piezocone	14
CAPÍTULO 3 ANÁLISE POR AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO.....	25
3.1 - Introdução	26
3.2 - Etapas da análise por Clusters	28
3.2.1 – Seleção de Variáveis	28
3.2.2 - Normalização dos Dados	29
3.2.3 – Matriz de Distância	30
3.2.4 – Escolha da Técnica de Agrupamento ou Regras de Ligação	32

3.2.5 – Confeção do Dendrograma	33
3.2.6 – Determinação do N de Cluster	34
3.2.7 – Critério de Camadas	34
3.2.8 – Interpretação dos Resultados	36
3.3 – Fluxograma	37
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS DO ENSAIO N° 01	39
4.1 – Exemplo.....	40
4.1.1 – Classificação do Tipo de Solo	42
4.1.2 – Resultado Típico do CPTU.....	44
4.1.3 – Ensaio SPT.....	45
4.1.3.1 – Resultado do SPT.....	46
4.1.4 – Normalização.....	47
4.1.5 – Análise do Dendrograma.....	47
4.1.6 – Resultado Final.....	49
4.1.7 – Análise dos Resultados.....	56
4.2 – Outros resultados	56
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
5.1 – Conclusões	58
5.2 – Sugestões para futuros trabalhos	59
CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
APÊNDICE 1	66
APÊNDICE 2	78

APÊNDICE 3	90
APÊNDICE 4	102
APÊNDICE 5	114
APÊNDICE 6	124
APÊNDICE 7	142
APÊNDICE 8 - ARTIGO COMBRASEG	160

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 – ENSAIO CPT/CPTU

Tabela 2.1 – Potencialidades do CPT/CPTU (1986)	12
Tabela 2.2 – Tipo de Solo a partir de Rf (Begemann, 1965)	16

CAPÍTULO 4

Tabela 4.1 – Resultado do diagrama – zona e tipo de comportamento do solo (Robertson, 1990).....	43
Tabela 4.2 – Classificação de solos (NBR 7.250/82).....	45
Tabela 4.3 - Resultado dos dados do piezocone intervalo de 20 cm.....	51
Tabela 4.4 – Matriz simétrica da distância euclidiana.....	52
Tabela 4.5 – Resultado final da análise.....	54

LISTAS DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 – ENSAIO CPT/CPTU

Figura 2.1 – Componentes do CPTU.....	8
Figura 2.2 – Corte esquemático típico de um Piezocone (Lunne e outros)..	9
Figura 2.3 – Sistema de cravação	10
Figura 2.4 – Gráfico de perfilagem de Schmertmann, 1978	15
Figura 2.5 - Gráfico de perfilagem de Begemann, 1965	15
Figura 2.6 - (a) e (b) - Diagrama de classificação de solos a partir do Resultado ensaio de cone elétrico e piezocone (Robertson et. al., 1986) ...	18
Figura 2.7 – Gráfico de perfilagem por Senneset et al (1989)	20
Figura 2.8 (a) e (b) – Proposta para classificação dos solos (Robertson, 1990).....	22

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE POR CLUSTER

Figura 3.1 - Medidas do cosseno - similaridade para normalização de BqxQ...31	
Figura 3.2 - Critério proposto para avaliar a estratigrafia do solo para análise de cluster nos dados do piezocone	35
Figura 3.3 - Fluxograma das etapas da análise de agrupamento dos dados do CPTU.....	38

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS DO ENSAIO

Figura 4.1 (a), (b) e (c) – Resultados típicos do ensaio CPTU	41
Figura 4.2 – Gráfico contendo os resultados da razão de poro pressão (Bq) e resistência do cone (Q)	42

Figura 4.3 (a) e (b) – Resultado do ensaio de piezocone e perfil do solo	44
Figura 4.4 (a) e (b) – Resultado do ensaio SPT e classificação	46
Figura 4.5 – Dendrograma de agrupamento, utilizando o método de ligação simples e distância euclidiana	48
Figura 4.6 (a) e (b) – Exemplo dos resultados da análise.....	49

RESUMO

O uso do CPTU (Piezocone Penetration Test), quando comparado com outros testes no campo, devido a sua rapidez e precisão tem se tornado popular no meio geotécnico. Assim sendo, entendeu-se necessário descrever uma técnica de interpretação do perfil do solo a partir dos dados obtidos com ensaios, visando uma melhor discretização das camadas que o compõem. É usado um método estatístico de agrupamento hierárquico chamado *cluster analysis*, por meio de grupos similares e a técnica de ligação única (vizinhos mais próximos), relacionando com o cálculo dos dados obtidos plotados no gráfico de Robertson (1990), para classificar o solo. São apresentados resultados de testes realizados em 6 furos localizados no Campus da Uenf e 2 no bairro da Lapa, cidade de Campos, norte do Estado do Rio de Janeiro, possibilitando assim, a classificação das camadas, transições e lentes de solo.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio Piezocone, Comportamento Solo, Análise Dados, Agrupamentos.

ABSTRACT

The CPTU (Piezocone Penetration Test), when compared to other in-situ tests, has become popular in the geotechnical community, due to its quickness and accuracy. Thus, a data interpretation technique for the evaluation of the soil profile is required aiming a good discretization of subsoil layers. For this, a statistical method of hierarchical grouping known as cluster analysis, is performed herein, jointing similar groupings and the single linkage technique (closest neighbors). The result is plotted on Robertson's chart (1990) in order to obtain a soil classification. Results from tests carried out in 6 (six) holes at the UENF Campus and 2 holes (two) in the Lapa borough, Campos dos Goytacazes city, northern region of the State Rio de Janeiro, have been presented. Consequently, the classification of layers, transitions and soil lenses has been available.

KEY-WORDS: Piezocone testing, Soil Behavior, Data Analysis, Clusters.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

An	-	área de superfície da luva de atrito
ASTM	-	Sociedade Americana para Testes e Materiais
At	-	área da base do cone
Be	-	razão de poro pressão efetiva
Bq	-	razão de poro pressão
CPT	-	<i>Cone Penetration Test</i>
CPTU	-	<i>Piezococone Penetration Test</i>
dist (x,y)	-	distância euclidiana
X_j	-	variante Bq e Q
$E(X_j)$	-	valor esperado dos Parâmetros Bq e Q
f_s	-	resistência por atrito lateral
ISSMFE	-	Sociedade Internacional para Mecânica do Solo e Engenharia Geotécnica
NBR	-	Norma Brasileira
prof. (1)	-	profundidade do nível d'água
prof. (2)	-	profundidade do terreno
Q	-	resistência de ponta normalizada
q_c	-	resistência a penetração da ponta
qt	-	resistência total de ponta corrigida
R_f	-	razão de atrito
Rfnrm	-	razão de atrito normalizada
Stddev	-	desvio padrão
TA	-	ângulo de inclinação
Uo	-	poro pressão estática in-situ

U	–	poro pressão medida na base do cone
z_{norm}	–	ferramenta estatística para normalização de variáveis
α	–	relação da área líquida
σ_v	–	tensão vertical total in-situ
σ'_v	–	tensão efetiva in-situ
$\gamma_{\text{água}}$	–	peso específico da água
γ_s	–	peso específico do solo

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

A determinação de perfis em solos é um passo necessário de caracterização na Engenharia Geotécnica que envolve a demarcação do limite vertical, número e tipos de camadas do solo e a presença e localização das lentes, transições e outras características.

Significativas evoluções e pesquisas têm sido verificadas, registradas e aplicadas no meio internacional em termos de técnicas de investigações geotécnicas e de ensaio de campo.

Com o contínuo desenvolvimento da Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações e o crescimento na utilização de ensaios de cone na Engenharia Geotécnica, vários métodos foram propostas visando a classificação do solo através das variáveis fornecidas pelo equipamento e uma estimativa realista das propriedades geomecânicas dos materiais envolvidos.

O conhecimento adequado das condições do subsolo, ou seja, seu comportamento mecânico e sua variação espacial constituem um pré-requisito para que os projetos e construções de fundações, barragens, estruturas de contenção, aterros sobre solos moles e outros, sejam mais seguros e econômicos. Estas informações podem ser obtidas através de programas de investigação de ensaios de laboratório e de campo.

Devido à impossibilidade ou dificuldade de obtenção de amostras representativas, muitas vezes é dada preferência aos ensaios de campo, como o de piezocone.

O ensaio de campo com o uso do CPT, *Cone Penetration Test*, e do CPTU, *Piezocone Penetration Test* com medida de poro-pressão, vem se consolidando como uma ferramenta de prospecção geotécnica. Ele determina os perfis dos solos sedimentares, residuais e principalmente em depósitos de argilas moles e prevê a capacidade da carga de fundações.

As primeiras referências sobre o CPT datam de 1930 na Holanda (Barentsen, 1936; Boonstra, 1936), tendo sua utilização consolidada na década de 50 (e.g. Begemann, 1963; 1965).

Este ensaio tem sido empregado no Brasil desde o final da década de 50, apesar de sua utilização limitar-se a pequenas atividades como projeto de plataformas marítimas para a prospecção de petróleo. Este quadro apresentou mudanças apenas na década de 90 com o crescente interesse comercial pelo ensaio de cone, impulsionado por pesquisas desenvolvidas em universidades brasileiras tal como Rocha Filho e Schnaid (1995), Quaresma *et al.* (1996).

É uma técnica de ensaio avançada para se obter a identificação e a descrição da seqüência de camadas que compõem um perfil geotécnico, auxiliando assim um problema antigo no estudo de camadas moles: a identificação da ocorrência de lentes de areia entre as camadas de argila.

Os testes retornam dados contínuos com a profundidade além da versatilidade do equipamento, visto que permite incorporação de diversos sensores, fornecendo o registro contínuo da resistência à penetração a cada 2,0 cm, uma descrição detalhada do perfil do subsolo, informação essencial à

composição de projetos de fundações e a eliminação de qualquer influência do operador nas medidas do ensaio.

Este trabalho de pesquisa tem como objetivo demonstrar a aplicabilidade dos conceitos de similaridade, aliados a análise de agrupamento, na determinação de perfis estratificados do solo, utilizando os dados do piezocone, localizados na Cidade de Campos, norte do Estado do Rio de Janeiro em uma bacia sedimentar quaternária fluxo-lacustre.

1.2 - OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho não é a classificação direta dos solos, mas sim uma discretização das camadas que compõem o perfil por meio de grupos similares, além da distinção entre aqueles que são mais similares com um determinado grupo do que com outro. Tal abordagem possibilita a classificação das transições, camadas de solo misto e, até mesmo, a localização de solos alterados mediante a determinação da camada matriz.

A proposta deste trabalho é a utilização do método estatístico hierárquico de agrupamento para interpretar os dados provenientes do ensaio de piezocone a fim de determinar perfis de materiais geológicos com precisão. Na análise de agrupamento será computada a medida da distância euclidiana e a regra de *single linkage* (vizinhos mais próximos), resultando em um dendrograma de similaridade analisado juntamente com o gráfico de Robertson (1990), para posterior interpretação.

É necessário, nesta dissertação, de uma normalização dos dados obtidos do ensaio de cone, para que possam ser interpretados de forma independente da unidade.

Uma ferramenta que ajuda nesta abordagem são as diversas metodologias de interpretação e gráficos propostos. Além disso, um grande desafio é a determinação precisa das fronteiras entre camadas de solos adjacentes e a detecção de lentes e solos mistos, visto que em alguns perfis ocorrem mudanças drásticas dos tipos de solo.

CAPÍTULO 2

ENSAIO CPT / CPTU

2.1 – INTRODUÇÃO E HISTÓRICO

O ensaio de cone, historicamente, foi inicialmente difundido na Europa na década de 30 (Barentsen, 1936; Bonstra, 1936), consolidando-se a partir da década de 50 (Begemann, 1963; 1965). Vários relatos detalhados do estado do conhecimento, enfocando aspectos diversos da prática de engenharia, podem ser encontrados em Meigh (1987) e Lunne *et al.* (1997), além de Conferências específicas dedicadas ao tema.

Segundo Danziger (1990), um equipamento para a realização de ensaios de piezocone pode ser dividido, de uma maneira geral, em três componentes: o sistema de cravação, o piezocone e o sistema de aquisição de dados.

O ensaio de piezocone, originalmente desenvolvido para investigar solos moles (e também estratos arenosos onde se apoiariam estacas) se difundiu no mundo graças à qualidade de suas informações, recebendo várias denominações, como “ensaio de penetração estática” (devido à sua forma de cravação), “ensaio de penetração contínua”, pois fornece informações quase contínuas nos cones mecânicos e realmente contínuos nos cones elétricos e piezocones (Veloso e Lopes).

Os procedimentos do ensaio e as dimensões são normalizados no Brasil pela NBR 12069, pelo ISSMFE (1977,1998) e pela ASTM (1979).

Existem no mercado diferentes cones, podendo ser classificados em três categorias: mecânicos, elétricos e piezocone (CPTU). No cone mecânico o sistema de medição ocorre por transmissão de esforços pelas hastes de cravação até a superfície, que transmite os valores de “ q_c ” (resistência de ponta) e “ f_s ” (atrito lateral), o cone elétrico, cuja adaptação de células de carga instrumentadas

eletricamente permite obter as mesmas variáveis do cone mecânico, e o piezocone que possui um transdutor de poro-pressão (década de 70) associado a uma pedra porosa, além dos dados transmitidos do cone elétrico mede a poro-pressão (U) geradas durante a cravação.

A partir dos anos 80, elementos piezométricos foram incorporados a um cone penetrômetro padrão, conforme mostrado por Campanella e Robertson (1981), Smits (1982). Existem no mercado outros tipos de cone como o sísmico, os ambientais e etc.

2.2 – ENSAIO CPTU

O ensaio de cone é bastante simples, consistindo na cravação vertical no terreno de uma ponteira cônica (60° de ápice) de aço instrumentada, cuja seção transversal é de 10 cm², e área da luva é de 150 cm², a uma velocidade lenta e constante de 20 mm/s² (Figuras 2.1 e 2.2).

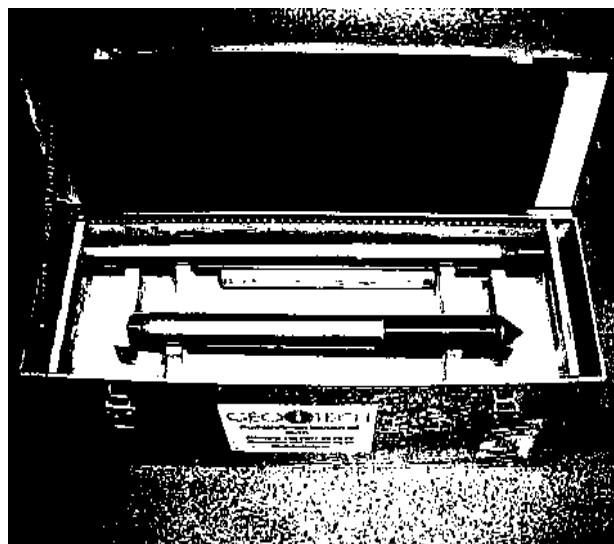


Figura 2.1 – Componentes do CPTU.

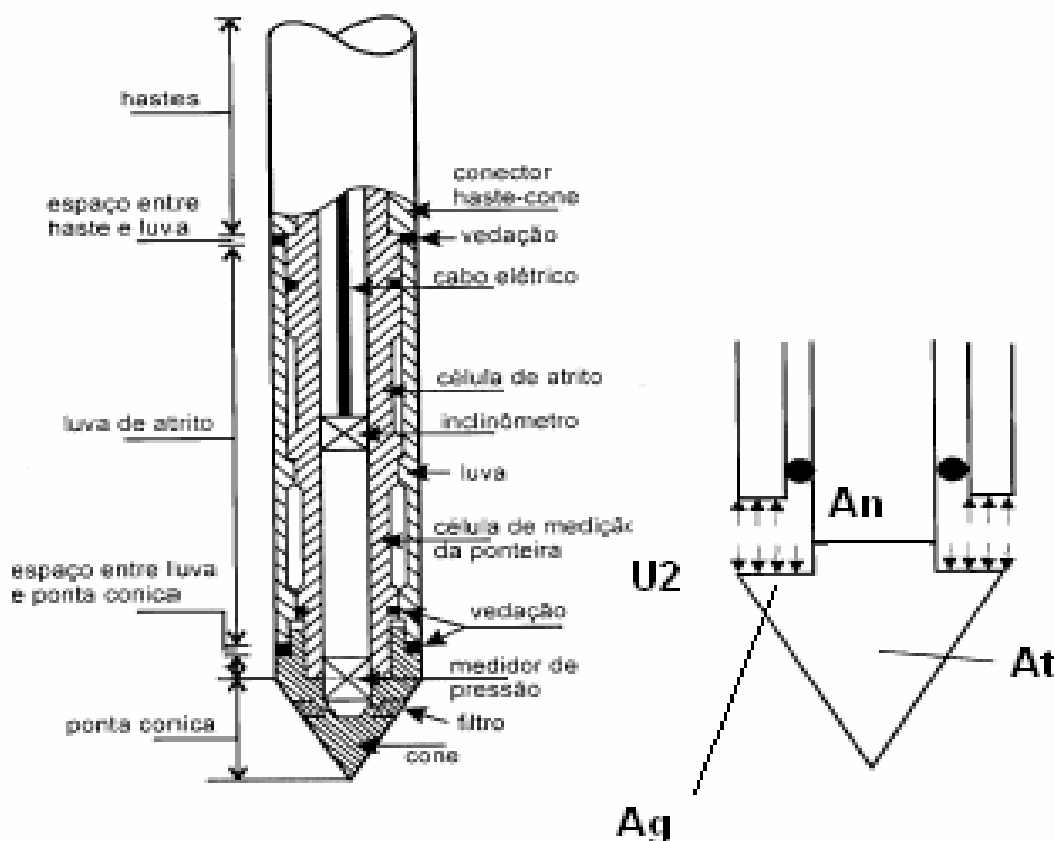


Figura 2.2: Corte esquemático típico de um piezocone (Lunne *et al.*, 1986).

O equipamento de cravação consiste em uma estrutura de reação sobre a qual é montado um sistema de aplicação de carga (Figura 2.3). Um sistema hidráulico é usado para esta finalidade, sendo o pistão acionado por uma bomba hidráulica acoplada a um motor de combustão ou elétrico. Uma válvula reguladora de vazão possibilita o controle preciso da velocidade de cravação durante o ensaio. A penetração é obtida através da cravação contínua de hastes de comprimento de 1m, seguida de um pistão hidráulico para posicionamento de nova haste.

O conjunto pode ser montado sobre um caminhão, utilitário ou reboque, cuja capacidade varia entre 10 e 20 toneladas (100 e 200 kN). A reação aos esforços é obtida pelo peso próprio do equipamento e/ou através de fixação ao solo de hélices de ancoragem manual (Schnaid, 1995).



Figura 2.3 – Sistema de cravação

2.2.1 – GENERALIDADES DO ENSAIO CPTU

À medida que se procede a cravação das hastes no solo, são feitas medidas a cada 2 cm de profundidade dos seguintes valores:

- Resistência a penetração da ponta (q_c);
- Resistência por atrito lateral, ou atrito local (f_s);
- Poro pressão (U) (medida entre a ponta do cone e a luva de atrito);
- Ângulo de inclinação (TA);

Estas grandezas são medidas através de instrumentação de precisão, devidamente calibrada, instalada na extremidade do conjunto, sendo as mesmas transmitidas à superfície por um sistema de ondas sonoras. Os sinais são coletados, transferidos e armazenados em um computador, podendo o resultado do ensaio ser visualizado imediatamente na tela.

Os dados obtidos da relação acima (item 2.2.1) são interessantes para algumas correlações existentes na bibliografia (Robertson, 1990; Robertson *et. al.* 1992; Senneset *et. al.*,1992) que permitem converter grandezas medidas em

parâmetros mecânicos de forma direta nos fatores que auxiliam na determinação dos perfis dos solos.

As medidas são praticamente contínuas e automatizadas ao longo da penetração, oferecendo grande sensibilidade para detecção das camadas, até mesmo muito finas, o que é mais difícil por outros métodos.

Além de oferecer uma boa estimativa dos parâmetros mecânicos do solo, este ensaio pode ser utilizado na avaliação do perfil com relação ao tipo de solo, espessura e continuidade de camadas bem como a definição do nível d'água.

Experiências, de diversos autores, têm mostrado que a posição da localização do filtro influencia nos valores medidos da poro-pressão. A confiabilidade dos mesmos depende se no projeto do piezocone foi levado em conta um sistema que avalie a deaeração do equipamento (elemento-filtro).

Bruzzi e Battaghio (1988) apontam razões para que o comportamento dilatante do solo, por si só não possa explicar a constatação de que quanto mais distante da ponta do piezocone estiver o elemento-de-filtro, mais os valores de U tenderão a decrescer e em alguns casos, podendo ficar com os valores inferiores a U_0 .

A Tabela 2.1 compara a eficiência do ensaio de piezocone, devido a poro pressão em relação ao CPT (Cone Penetration Test), tendo em vista alguns objetivos da prospecção em solos. Com o ensaio do CPTU pode-se detectar melhor a história de tensões, o perfil, a estrutura do solo, etc.

Tabela 2.1 - Potencialidades do CPT e CPTU (Battaglio *et al.*, 1986).

INVESTIGAÇÃO	CPT	CPTU
Perfil do solo	Alta	Alta
Estrutura do solo	Baixa	Moderada a alta
História de tensões	Baixa	Moderada a alta
Variação espacial das propriedades mecânicas	Alta	Alta
Propriedades Mecânicas	Moderada a alta	Moderada a alta
Características de Adensamento	-----	Alta
Condições do Nível d'água	----	Alta
Potencial de Liquefação	Moderada	Alta
Economia custos de Investigações	Alta	Alta

2.2.2 – VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO ENSAIO DE CPTU

É importante ressaltar algumas vantagens e limitações do ensaio para se confirmar a importância da utilização neste trabalho.

Vantagens:

Penetração rápida (~1m/min.), isto é, curto tempo de ensaio;

Ensaio padronizado (Norma Brasileira e Americana) - confiável;

Alta precisão e repetibilidade quase-contínuo;

Medidas a cada 2 cm de profundidade;

Ensaio de maior potencial se comparado com o SPT, o pressiometrico para determinação das propriedades geotécnicas do subsolo;

Ensaio mais avançado que o SPT, possibilitando maior qualidade das informações do subsolo e uma boa produtividade comercial;

Obtenção e processamento automático dos dados, isto é, sem interferência do operador;

Relação custo/benefício elevado;

A ausência de amostras é compensada pela grande capacidade de perfilagem e pequeno tempo para se obter cada perfil.

Limitações

A não coleta de amostras, como o SPT, os dados obtidos são por golpes e não por parâmetros geotécnicos como o CPTU;

Necessidade de operador treinado;

Equipamento relativamente complexo

Suporte técnico;

Os resultados do ensaio, na prática atual são interpretados para detectar o perfil das camadas do solo, usando uma ou mais das três seguintes abordagens:

(1) análise visual dos dados de cravação sem qualquer tratamento, o que depende do nível de experiência do engenheiro nem sempre satisfatório;

(2) uso de gráfico de classificação empírica para classificar os tipos de solo; e

(3) métodos estatísticos de multivariáveis e univariáveis (Hegazy *et. al.*, 1997). A última abordagem inclui métodos como coeficiente de correlação e métodos generalizados de distância (Hegazy e Mayne, 2002).

2.3 – INTERPRETAÇÃO DO ENSAIO DO PIEZOCONE

Pioneiro na determinação do perfil do solo, Begemann (1965), a partir do CPT mostrou que enquanto solos com granulometria grossa apresentam grandes valores de resistência de ponta, q_c e atrito lateral, f_s , os solos de granulometria fina têm seu tipo determinado não só em função de uma das duas resistências, mas sim através de uma combinação de ambas. Tal combinação resultou no fator razão de atrito (R_f) (Equação 2.1) que utilizaremos posteriormente neste trabalho para ser plotado no gráfico R_f versus profundidade.

A razão de atrito (R_f) é o primeiro parâmetro derivado do ensaio, normalmente utilizado para a classificação dos solos. Esta classificação pode ser obtida através de procedimentos gráficos que relacionam diretamente q_c versus R_f , Schmertmann (1978) (Figura 2.4) e incorporados por dados do CPT de Begemann, que indica as zonas comuns do tipo de solo, (Figura 2.5).

$$R_f = \frac{f_s}{q_c} \quad (2.1)$$

Onde: R_f = razão de atrito

f_s = atrito lateral

q_c = resistência de ponta

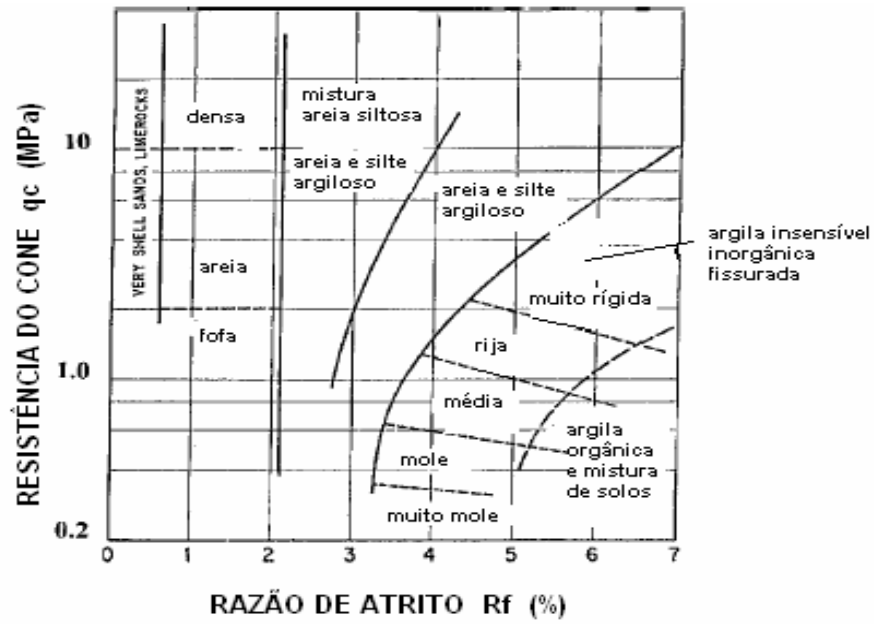


Figura 2.4 – Gráfico de perfilagem de Schmertmann, 1978.

A Figura 2.5 e a Tabela 2.2 de Begemann mostram a combinação destes valores para determinar o tipo de solo.

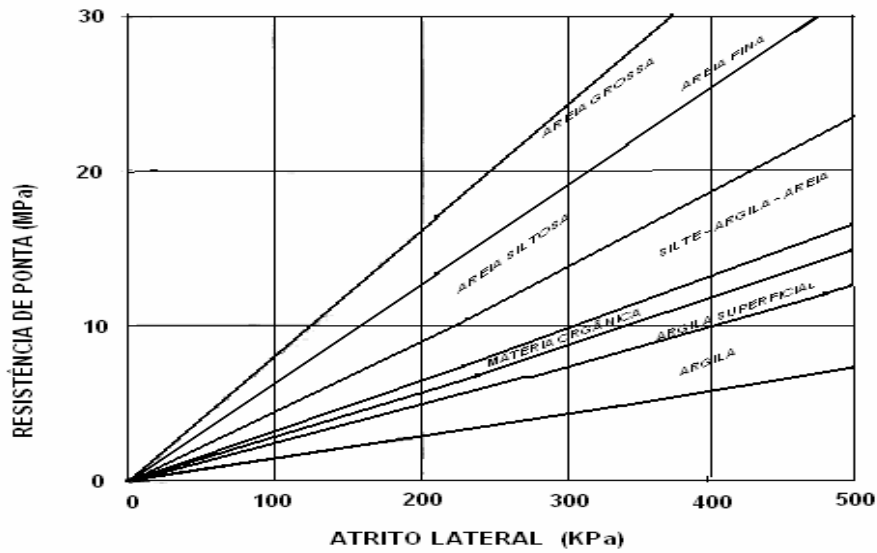


Figura 2.5 – Gráfico de perfilagem de Begemann (Begemann, 1965).

Tabela 2.2 - Tipo de solo a partir de R_f (Begemann, 1965).

Tipo de Solo a partir da razão de atrito R_f – Begemann, 1965	
Areia Grossa com pedregulhos	1,2% - 1,6%
Areia Siltosa	1,6% – 2,2%
Argilas Silto-Arenosas	2,2% - 3,2%
Argila e Solos Argilosos	3,2% - 4,1%
Argila	4,1% -7,0%
Seixos	>7%

Para se determinar o tipo de solo, por meio de gráficos, da R_f (razão de atrito) e q_c (resistência de ponta) outras propostas foram apresentadas por Sanglerat et al. (1974), Schmertmann (1978), Robertson e Campanella (1983) entre outros. Douglas e Olsen (1981) foram os primeiros a propor um gráfico de determinação do tipo de solo baseados em testes de cones elétricos.

O CPTU possui uma ponta porosa que mede as poro pressões geradas durante a cravação. O parâmetro “U” (poro-pressão) é medido de formas diferentes dependendo do fabricante, podendo a célula hidrostática estar locada em diferentes pontos do cone e até mesmo em mais de um ponto.

Segundo Rocha Filho (1979), quando se faz referência a interpretação da resistência de ponta, não se deveria referir a q_c , mas ao valor que incorpore a influência da poro-pressão medida (um valor corrigido de, q_c).

Rocha Filho (1979), propôs a Equação 2.2 de correção para os valores medidos de

q_c :

$$q_t = q_c + U(1 - \alpha) \quad (2.2)$$

Onde: q_t = resistência total de ponta corrigida;

q_c = resistência de ponta obtida do cone;

U = poro pressão inferida entre a ponta do cone e a luva de atrito;

α = relação das áreas;

Tal que: $\alpha = \frac{A_n}{A_t}$ = fator de área (ver Figura 2.2) (2.3)

Onde: A_n = área da base da luva de atrito;

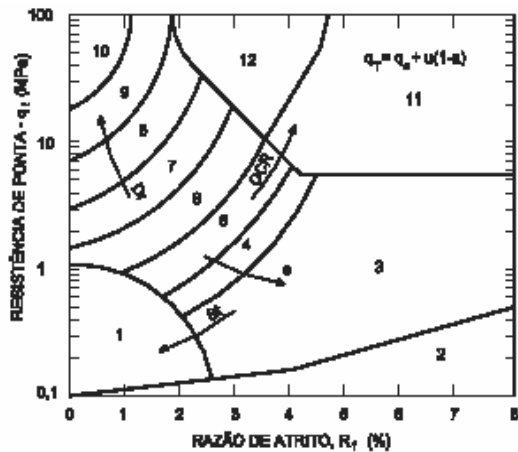
A_t = área da base do cone.

Os primeiros a apresentarem um gráfico baseado em piezocone com a resistência de ponta corrigida q_t pelo parâmetro de poro-pressão B_q , medida no topo do cone foram Robertson et al. (1986), Campanella e Robertson (1986).

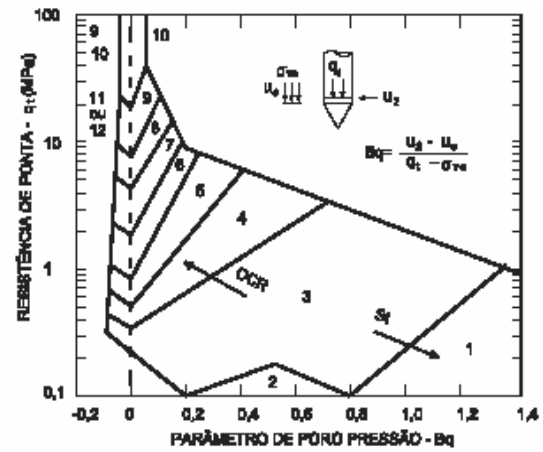
O diagrama para se determinar o perfil do solo proposto por Robertson et al. (1986) identifica áreas numeradas que separam os tipos de solo em 12 zonas (Figura 2.6).

Robertson et al. (1986) propõem o uso simultâneo de dois diagramas para classificação dos solos. O primeiro é um gráfico de resistência de ponta versus razão de atrito, Figura 2.6 (a). O segundo é um gráfico de resistência de ponta corrigida versus parâmetro de poro-pressão, B_q , Figura 2.6 (b). Segundo os autores, ocasionalmente um determinado solo pode ser classificado de maneiras diferentes nos dois ábacos. Portanto, há necessidade de uma análise mais adequada para classificar o solo de forma satisfatória.

Os autores comentam que tanto a velocidade como a forma pela a qual o excesso de poro-pressão se dissipa durante uma pausa na cravação auxiliam na classificação do solo.



(a)



(b)

As áreas do gráfico numeradas identificam 12 zonas, ou seja, 12 tipos de solo.

- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1- Solo sensível - granulometria fina | 7- Areia siltosa a Silte arenoso |
| 2- Solo Orgânico | 8 - Areia a Areia Siltosa |
| 3- Argila | 9 - Areia |
| 4- Argila Siltosa a Argila | 10 - Areia e Areia grossa |
| 5- Silte Argiloso a Argila siltosa | 11 - Solo muito rijo - granulometria fina |
| 6- Silte arenoso a Silte argiloso | 12 - Areia cimentada ou pré-adensada a Areia argilosa |

Figura 2.6 (a) e (b) - Diagrama de classificação de solos a partir do resultado de ensaio cone elétrico e piezocone (Robertson *et. al.*, 1986).

A determinação da história das tensões é analisada através do parâmetro denominado relação de poro-pressão B_q (Wroth, 1984). A notação de B_q resume a seguir:

$$Bq = \frac{(U - U_o)}{(qt - \sigma_v)} \quad (2.4)$$

Onde: Bq = razão de poro pressão, originalmente definida em relação a q_c ao invés de q_t (Senneset *et al.* 1982), mas que posteriormente foi redefinido por Senneset e Janbu (1982).

U = poro pressão medida na base do cone

U_o = poro pressão *in situ*

qt = resistência de ponta corrigida

σ_v = tensão vertical total de *in situ*

$$\text{Tal que: } U_o = \gamma_{\text{água}} \cdot \text{prof.}(2) \quad (2.5)$$

Onde: $\gamma_{\text{água}}$ = peso específico da água;

prof.(2) = profundidade do nível do terreno;

$$\sigma_v = \text{prof.}(1) \cdot \gamma_{\text{solo}} \quad (2.6)$$

prof.(1) = profundidade do nível d'água medida pelo cone;

γ_{solo} = peso específico do solo.

A poro-pressão hidrostática é um componente de penetração da poro-pressão mas é normalmente independente da mudança do perfil do solo e seu excesso representa a variação do tipo e/ou comportamento.

Outra proposta neste sentido foi a de Senneset *et al.* (1989), que apresentaram um gráfico de classificação de solos plotando a resistência de ponta corrigida, q_t , contra a razão de poro-pressão, B_q , como mostrado na Figura 2.7.

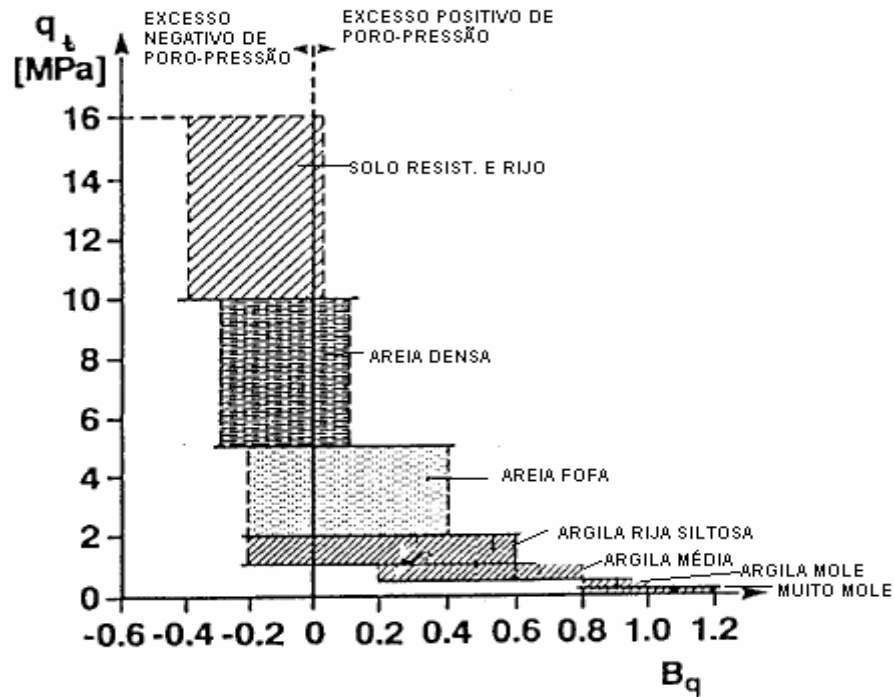


Figura 2.7 – Gráfico de perfilagem por Senneset *et al.* (1989).

Wroth (1988) propôs a resistência de cone normalizada Q , baseado nos dados do piezocone para interpretar a classificação do solo (Equação 2.7).

$$Q = \frac{(qt - \sigma_v)}{\sigma'_v} \quad (2.7)$$

Onde: qt = resistência de ponta corrigida.

σ_v = tensão vertical total *in situ*

σ'_v = tensão vertical efetiva *in situ*

$(qt - \sigma_v)$ = resistência real do cone

$$\text{Tal que: } \sigma'_v = \gamma_{solo} \cdot \text{prof. (1)} - U_o \quad (2.8)$$

Onde: γ_{solo} = peso específico do solo

prof.(1) = profundidade do nível d'água medida pelo cone;

U_o = poro-pressão *in-situ*.

A razão de atrito normalizada é definida como o atrito lateral sobre a resistência real do cone (Equação 2.9).

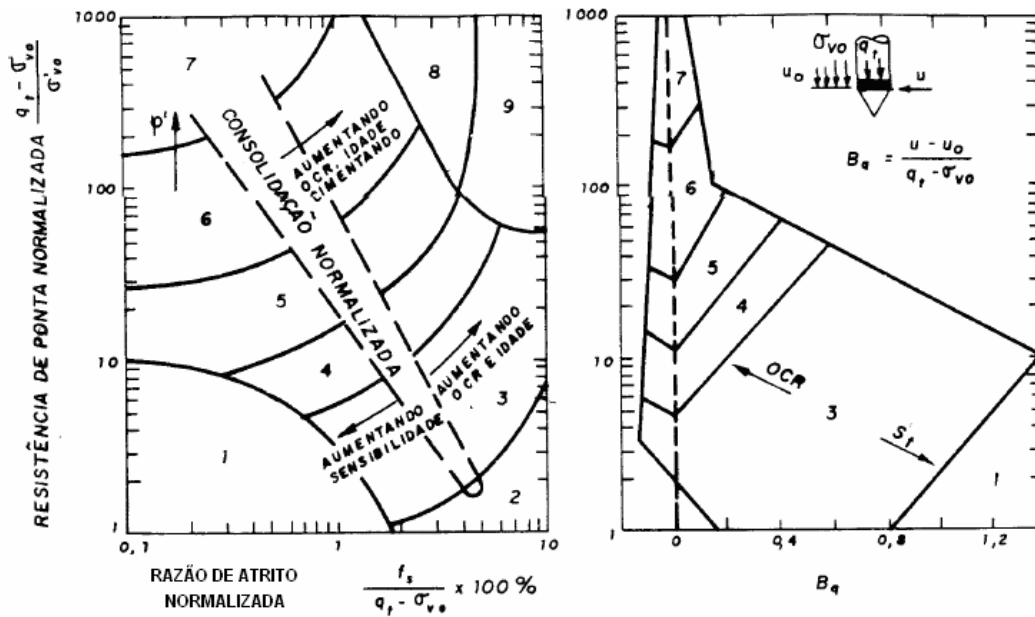
$$Rf_{nrm} = \frac{f_s}{(qt - \sigma_v)} \quad (2.9)$$

Onde: Rf_{nrm} = razão de atrito normalizada.

f_s = atrito lateral

A introdução da razão de poro-pressão (B_q) na caracterização dos solos foi de grande importância, porque é uma grandeza que pode ser comparada com a resistência de ponta, em um gráfico separado por “regiões”, sem que haja o risco de estar utilizando parâmetros com um grau de interdependência.

Robertson (1990) propôs uma melhoria em seu diagrama (Figs. 2.8 a e b), porém com parâmetros normalizados, plotando a resistência de ponta normalizada, Q , contra a razão de atrito normalizada, Rf_{nrm} e $Q \times B_q$ (razão de poro pressão). Este diagrama ($Q \times B_q$) será objeto deste trabalho.



- 1- Solos sensitivos de granulometria fina
- 2- Solos orgânicos e turfas
- 3- Argilas a Argilas siltosas
- 4- Misturas Siltosas - Argila siltosa a silte argiloso
- 5- Misturas Arenosas - Silte arenoso a areia siltosa
- 6- Areia siltosa e areia limpa
- 7- Areia e Areia grossa
- 8- Areia e Areia argilosa a Areia muito rija
- 9- Solo cimentado, pré-adensado, muito rijo, de granulometria fina.

Figura 2.8 (a) e (b) - Proposta para classificação dos solos (Robertson, 1990).

Wroth (1984, 1988) e Robertson (1991) consideram que os dois parâmetros normalizados Q e B_q são funções derivadas do tipo e comportamento do solo.

Eslami e Fellenius (1996) propuseram uma razão de poro-pressão totalmente independente da resistência de ponta, razão de poro-pressão efetiva, demonstrada a seguir:

$$B_e = \frac{(U - U_0)}{U_0} \quad (2.10)$$

Onde: B_e = razão de poro-pressão efetiva

U = poro-pressão medida na base do cone

U_0 = poro-pressão estática *in-situ*

Os autores acreditam que um diagrama mostrando q_t contra B_e será útil para avaliar o potencial de liquefação, grau de pré-adensamento e compressibilidade de solos argilosos e arenosos. Ainda é uma suposição afirmar que B_e possa mostrar-se útil na determinação da magnitude do acréscimo de capacidade de carga em estacas cravadas entre a cravação inicial e após o solo ter se consolidado (Fellenius e Eslami, 2000).

De acordo com a bibliografia anteriormente informada podemos observar que simultaneamente com a evolução das aplicações, do cone mecânico para o piezocone, foram desenvolvidas fórmulas empíricas e gráficos de classificação condizentes com os parâmetros fornecido pelo equipamento. O piezocone, por exemplo, informa dados de poro-pressão (U) e outros valores também iguais ao cone mecânico (q_c e f_s), que desenvolveram fórmulas que possibilitam o uso do diagrama (Figuras 2.6 e 2.8), para se classificar os solos e definir o perfil geotécnico.

Obtém-se numa única sondagem uma riqueza de informações necessárias para se detectar camadas muito finas do solo. Os registros dos parâmetros citados acima se

complementam e levam a identificação de um mesmo material. A base são os ábacos de classificação de diversos autores, portanto se constata uma razoável adequação de sua proposta.

Um aproveitamento fiável das leituras contínuas efetuadas pelo ensaio CPTU permitem, assim, um conhecimento de uma seqüência contínua dos parâmetros, com um maior rigor de análise conseguido através de uma discretização fina das camadas.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DE AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO

3.1 – INTRODUÇÃO

Método de agrupamento ou *cluster* é um ramo da estatística multivariada usada em mineração de dados, que consiste em uma variedade de técnicas e algoritmos multivariados. O principal objetivo é separar as observações (dados) ou objetos segundo suas características de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo tenham alto grau de similaridade (Andeberg, 1973).

Cada dado obtido de uma amostra multivariada deve ser considerado como um ponto em um espaço euclidiano multidimensional de maneira que possa agrupá-los em conjuntos assim definindo o processo de classificação para encontrar a melhor maneira de descrever seus padrões de similaridade mútuos. Estas classes de dados similares serão os agrupamentos.

Everitt (1974) resumiu o uso da análise em clusters como:

- (1) redução de dados e exploração;
- (2) ajuste do modelo;
- (3) estimativas baseadas em grupos;
- (4) geração de hipóteses e testes;
- (5) classificação sistemática de tipos que tenham características em comum.

A tarefa básica do agrupamento é classificar um conjunto de objetos em subconjuntos segundo um ou mais critérios apropriados. Os critérios mais comuns adotados em agrupamentos são: homogeneidade e separação. A homogeneidade refere-se a objetos pertencentes a um mesmo cluster, que devem ser tão similares quanto possível, enquanto a separação está relacionada a objetos de diferentes “clusters”, que devem ser distintos entre si, tanto quanto possível (Maravalle *et. al*, 1997).

Para se obter um bom resultado na interpretação da análise o usuário deve saber:

- (1) escolher os atributos;
- (2) homogeneizar as variáveis;
- (3) conhecer as medidas de (di) similaridade;
- (4) escolher os critérios de agrupamento;
- (5) escolher o algoritmo;
- (6) definir um número de cluster adequado.

Com os dados do piezocone em mãos, este tipo de ferramenta é utilizada para:

- (1) determinar objetivamente grupos similares do perfil do solo;
- (2) delimitar fronteiras entre as diferentes camadas;

(3) localizar lentes e solos misturados, que não podem ser classificados em qualquer um do grupo pré-definido. Cada grupo de dados (diferentes tipos de solos, ou mesmo tipo com propriedades distintas) corresponde a um número de clusters (N_c) (Hegazy e Mayne, 2002). A simples separação dos dados do piezocone em grupos por similaridade não os classifica em solos distintos. Portanto, é necessária a utilização de um dos diagramas de classificação e, para este trabalho, usaremos a carta de classificação de Robertson (1990), (Figura 2.8).

A vantagem da análise de cluster para o piezocone, se comparado com as outras técnicas de interpretação, retornam a resultados independentes de erros sistemáticos e de outros problemas (Hegazy, 1998).

3.2 – ETAPAS DA ANÁLISE POR CLUSTERS

A aplicação e desenvolvimento dos dados do piezocone são realizados em sete etapas (Hegazy e Mayne, 2002), sendo que no presente trabalho foi inserido o item (5) para auxiliar na interpretação dos resultados que é também demonstrado na Figura 3.3:

- (1) seleção de variáveis;
- (2) normalização dos dados;
- (3) confecção da matriz de distancia;
- (4) escolha da técnica de análise em cluster;
- (5) confecção do dendrograma;
- (6) determinação do número de *clusters*;
- (7) interpretação dos resultados.

3.2.1 – SELEÇÃO DE VARIÁVEIS

São usados três dados transmitidos do equipamento: resistência de ponta (q_t), poro-pressão (U) e atrito lateral (f_s). Foram usados f_s e U de um só furo e nas mesmas profundidades em que foi cravado o piezocone.

Com os dados da resistência de ponta (q_t) e poro-pressão (U), podem-se distinguir diferentes tipos de solo, por exemplo, a poro-pressão do ensaio no interior de uma camada de areia, indica lentes de argila e na camada de argila lentes de areia. Portanto, estas duas leituras (q_t e U) são importantes para se reconhecer o perfil do solo.

Wroth (1984) propôs que fossem usadas duas Equações (2.4) e (2.7) de Robertson *et al.* (1986 e 1990) para interpretar a classificação do solo.

Num solo homogêneo a resistência de ponta, q_t , tende a aumentar com o aumento da profundidade e a tensão vertical (σ_v) se iguala no interior da camada uniforme do solo, portanto é normalizada na forma de Q (resistência do cone normalizada).

A pressão hidrostática (U_0) é independente das mudanças do perfil do solo e o excesso de poro pressão gerado durante a cravação pode representar a variação do tipo do solo, e/ou seu comportamento (Hegazy e Mayne 2002).

3.2.2 – NORMALIZAÇÃO DOS DADOS

A normalização é a representação dos dados em formatos diferentes eliminando o efeito de usar e converter unidades de variáveis distintas.

Para a análise de agrupamento, a normalização não é essencial, mas um passo necessário para se obter adequados resultados (Milligan, 1996).

Existem alguns métodos de normalização usados como: *znorm*, *range*, *rescale*, *max*, *mean* e *desvio padrão*.

Com as variáveis definidas o próximo passo é a normalização dos dados. Esta etapa consiste em fazer uma seleção dos pontos que não caracterizam o solo, ou seja, pontos que ficariam fora da curva (*outliers*). Para isto, faz-se uso de ferramentas estatísticas tal como a média ($E(X_j)$), o desvio padrão ($\sigma(X_j)$) e a normalizada das variáveis (*znorm*) Q e B_q (equações 3.1, 3.2 e 3.3) Hegazy e Mayne (2002).

$$E(X_j) = \text{mean}(X_j) = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} \quad (3.1)$$

$$\sigma(X_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [x_{ij} - E(X_j)]^2}{n-1}} \quad (3.2)$$

$$z_{norm} = z_{ij} = \frac{x_{ij} - E(X_j)}{\sigma(X_j)} \quad (3.3)$$

Onde: $E(X_j)$ = valor esperado dos parâmetros Bq e Q (constante).

$\sigma(X_j)$ = desvio padrão de todos os valores do parâmetro (constante).

z_{norm} = ferramenta estatística para normalização de variáveis.

As equações acima são de fácil compreensão, pois são usados valores obtidos diretamente dos dados do piezocone. São equações que visam aferir a similaridade entre dois pontos, com características distintas, através de ferramentas estatísticas.

A seguir deve-se montar a matriz de distância, que significa locar as características de todos os pontos.

Foram utilizados cálculos de estatística do “Programa StatisticaTM”, que facilitou a interpretação dos resultados.

3.2.3 – MATRIZ DE DISTÂNCIA

A matriz de distância é uma medida estatística de similaridade entre os pontos dados. De acordo com a similaridade entre os dados obtidos (z_{norm} de B_q e Q), o agrupamento é arrumado em clusters individuais. Na mesma medida de profundidade os dados normalizados de B_q e Q são obtidos para formar uma matriz de distância similar ou medida de similaridade do coseno (Equação 3.4) para a normalização de Q e Bq no espaço como mostrado na Figura 3.1 de acordo com os dados obtidos do piezocone.

$$\cos_{ij} = d_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ik} x_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik})^2 \cdot \sum_{k=1}^n (x_{jk})^2}} \quad (3.4)$$

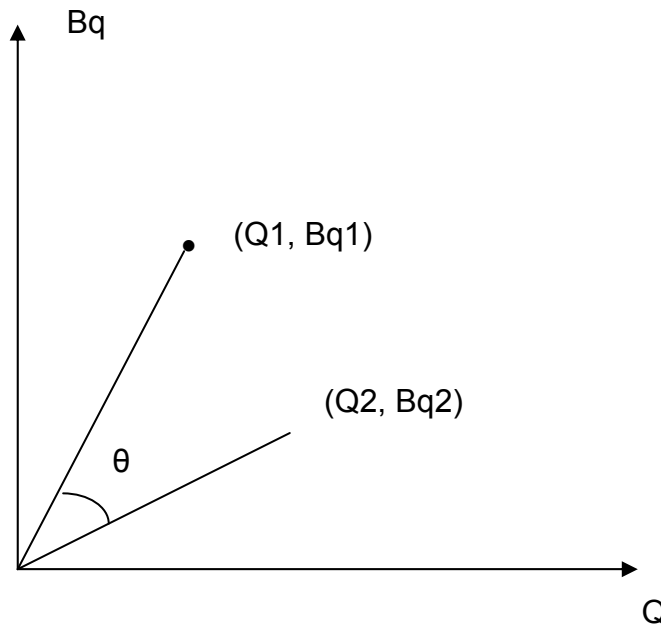


Figura 3.1 - Medidas do coseno – similaridade para normalização de Bq x Q.

Utilizando o método do coseno ou distância, a Figura 3.1 exemplifica como é feita análise de similaridade entre pontos com características distintas.

Norusis (1988) resumiu em oito medidas de similaridade: Pearson, distância de Manhattan, Minkowski, power, distância euclidiana, coseno, quadrado da distância euclidiana e Chebychev. Para este trabalho foi escolhida a distância euclidiana, por ser a mais simples.

Para se formar a matriz de similaridade, é necessário calcular a “Distância Euclidiana” (equação 3.5) entre um dado particular (x_i) e todos os outros subsequentes (y_i).

$$dist(x, y) = \left[\sum_i (x_i - y_i)^2 \right]^{1/2} \quad (3.5)$$

Onde: $\text{dist}(x,y)$ = distância euclidiana;

(x_i) e (y_i) = z_{norm} de Q e Bq.

3.2.4 – ESCOLHA DA TÉCNICA DE AGRUPAMENTO OU REGRAS DE LIGAÇÃO

Quando cada dado representar seu próprio cluster, a distância entre estes dados são definidos pela escolha da medida da distância. Porém, uma vez que foram unidos vários dados, se determina as distâncias entre estes novos clusters pela regra de ligação. Várias técnicas de agrupamentos têm sido propostas como: ligação única (vizinhos mais próximos), ligação completa (vizinhos mais distantes), média não ponderada de agrupamento pareado, média ponderada de agrupamento pareado, centróide não ponderado do agrupamento pareado, centróide médio do agrupamento pareado e o método *ward*.

A técnica hierárquica escolhida foi a *single linkage*, por ser um método que:

(1) considera como a distância entre dois grupos aquela entre os dois pontos mais próximos dos dois;

(2) é muito suscetível a encadeamento, produzindo grupos de tamanhos muito diferentes;

(3) a interpretação: posição dos pontos é opcional; o número de classes é definido de forma arbitrária (a priori ou distância crítica);

(4) é formada uma associação de dados com todo o grupo que seja próximo e similar entre si.

Como propôs Milligan (1996), o método adotado deve ter seus próprios grupos de classificação, ser insensível de erros ou *outliers* dos dados em grupos e ser automatizado. O método de agrupamento *single-link* (utilizado no trabalho) satisfaz a condição matemática deste modo como a continuidade e a mínima distorção (Sibson 1972).

3.2.5 – CONFECÇÃO DO DENDROGRAMA

Resultante da técnica de agrupamento “single-link” por meio de um gráfico (estrutura em árvore) de esquemas hierárquicos representando uma síntese dos resultados da similaridade de agrupamentos.

Os casos semelhantes são unidos em grupos, cujas posições no dendrograma são determinadas pelo nível de dis (similaridade) entre eles.

Para se juntar (ou aglomerar) matematicamente os dados obtidos, no espaço multidimensional e formar os agrupamentos hierárquicos usam-se as informações da matriz de distância para se criar um dendrograma de similaridade. Na interpretação do dendrograma entre dados, o fundamental é que dois dados próximos devem ter também valores semelhantes para as variáveis dadas. Portanto quanto mais próximos os dados mais similares entre eles. O dendrograma hierarquiza esta similaridade, de modo que se possa ter uma visão bidimensional da similaridade ou dissimilaridade de todo o conjunto de dados utilizado no trabalho.

3.2.6 – DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CLUSTERS

Para auxiliar na decisão do número de grupos, pode-se adotar, segundo Bussab, et al. (1990), a técnica hierárquica que consiste em examinar o dendrograma em busca de grandes alterações nos níveis de similaridade para as sucessivas fusões.

Para se determinar o número de cluster a utilizar durante a análise deve-se fazer uso do bom senso e ter em vista o objetivo da análise a ser realizada, uma vez que se podem ter tantos clusters quantos pontos (Hegazy e Mayne, 2002).

Primeiro, adota-se um nível alto de semelhança e analisa-se o perfil obtido. Posteriormente, vai-se diminuindo o grau de exigência até a obtenção de um perfil

que não apresenta grandes variações (número de clusters) com o grau de semelhança. Este passo não é trivial, porém com análises criteriosas determina-se o perfil com boa aproximação do real. O que estiver sozinho é considerado como lente.

3.2.7 – CRITÉRIO DE CAMADAS

O agrupamento hierárquico auxilia o engenheiro geotécnico em detectar e definir as seguintes características do perfil vertical do solo: camadas, lentes, anomalias e zonas de transição entre as camadas. As anomalias podem incluir inclusões naturais do solo, assim como camadas cimentadas, pedras ou erros sistemáticos relacionados na obtenção de dados, incluindo interferências elétricas, mudanças de haste de perfuração, dissipação de poro-pressão e efeitos diversos (Hegazy e Mayne 2002).

Como mostrado na Figura 3.2, eles consideram que t (espessura da camada) é igual a 0,50 m, e ainda propuseram duas camadas: uma primária (A), sendo $t \geq 1,0$ m e uma secundária (a), $0,50\text{m} \leq t < 1,0\text{m}$, ou seja, se for maior que 50 centímetros são consideradas camadas. Quando o *cluster* não for contínuo são classificados em misturas de solo e transições denominadas por a^* e A^* , sendo $t \geq 0,50$ m ou $t \geq 1,0$ m, respectivamente.

Se t for menor que 0,50 m podem representar lentes ou anomalias na formação do solo. No meio dos solos misturados, a zona de transição é definida entre as camadas ou onde os três primeiros dados consecutivos do piezocone são ascendentes ou descendentes em ordem dos números de clusters.

Hegazy e Mayne (2002) propuseram um diagrama que ajuda avaliar a importância de dados deste gênero (Figura 3.2).

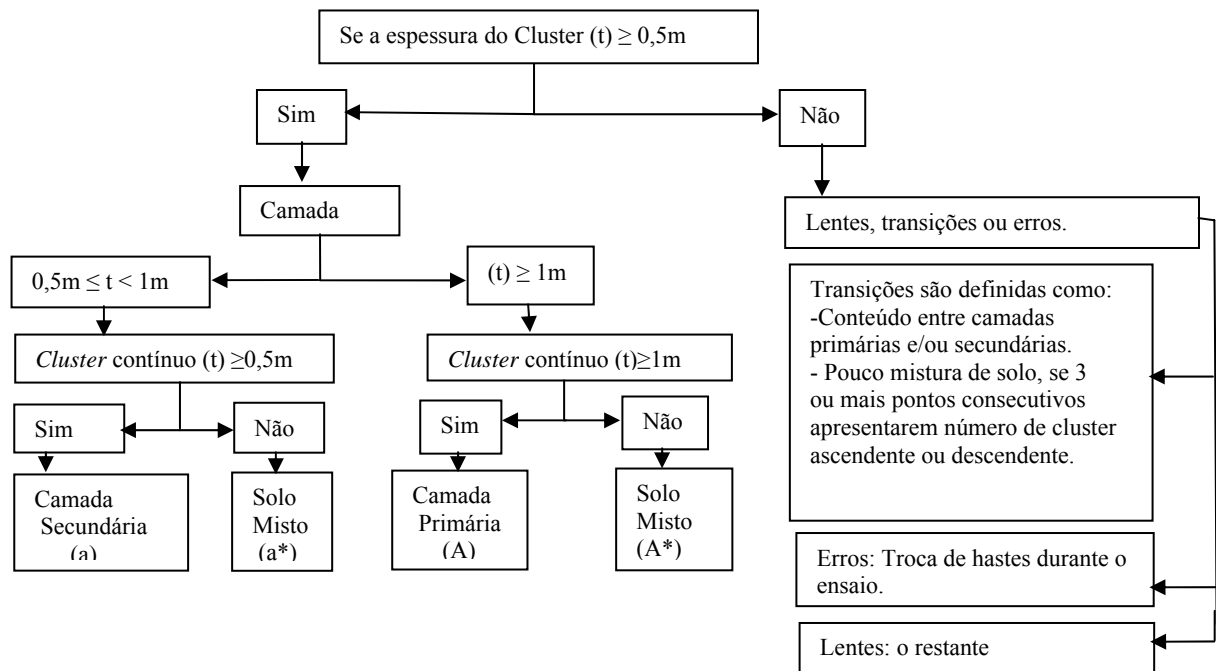


Figura 3.2 - Critério proposto para avaliar a estratigrafia do solo para análise de cluster nos dados do piezocone (Hegazy e Mayne, 2002).

3.2.8 – INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

São plotados no gráfico de Robertson (1990) o valor de Q (resistência de ponta normalizada) e Bq (razão de poro-pressão), para classificar cada ponto o comportamento do solo e, em seguida, relacionar com o número de *cluster* determinado.

Para se obter uma precisão nos resultados foi adotado neste trabalho um critério de dados de valores reais a cada 20 cm e assim os cálculos foram sendo executados.

O engenheiro geotécnico tendo em mãos o método da análise de agrupamento descobre e define as seguintes características no interior do perfil vertical: camadas, lentes, anomalias e zonas de transição entre diferentes camadas.

3.3 – FLUXOGRAMA

Uma proposta do diagrama de fluxo com os elementos da análise estatística de agrupamento dos dados do piezocone, para delimitação geostatigráfica do solo é mostrada na Figura 3.3 (Hegazy e Mayne, 2002).

O primeiro passo, seleção das variáveis, consiste em escolher o parâmetro do solo mais adequado para fazer análise de similaridade. Dentre os parâmetros existentes, assim como: ângulo de atrito, coeficiente de adensamento, pode-se citar a resistência de ponta, q_c , resistência de ponta corrigida, q_t , razão de poro-pressão, B_q , resistência de ponta normalizada Q , dentre outros parâmetros obtidos empiricamente a partir dos dados do ensaio de piezocone. O uso destes para efeito de comparação pode ser feito de diversas formas, sempre comparando a similaridade de um ponto, com suas específicas características, com outro a uma diferente profundidade.

Tendo as variáveis definidas o próximo passo é a normalização dos dados, que consiste em fazer uma seleção dos pontos que não caracterizam o solo, ou seja, retirar os pontos que destoam dos demais. Faz-se, portanto o uso de ferramentas estatísticas como: $znorm$, $range$, etc (Hegazy e Mayne, 2002) obtiveram bons resultados utilizando o método de $znorm$ na normalização dos dados de piezocone, exemplificado no item 3.2.2 (Equação 3.3).

A Equação da distância euclidiana (3.5) mede a similaridade entre dois pontos. Tendo em mãos os dados normalizados (Q e B_q) e o programa “Statistic TM”, usa-se o método hierárquico *single-link*, a matriz de similaridade e o dendrograma de agrupamento (em relação a bibliografia citada, o item 3.2).

é acrescentado ao trabalho) são processados. Define-se a distância de ligação e o número de *clusters* (item 3.2.6), e por fim o perfil do solo é interpretado.

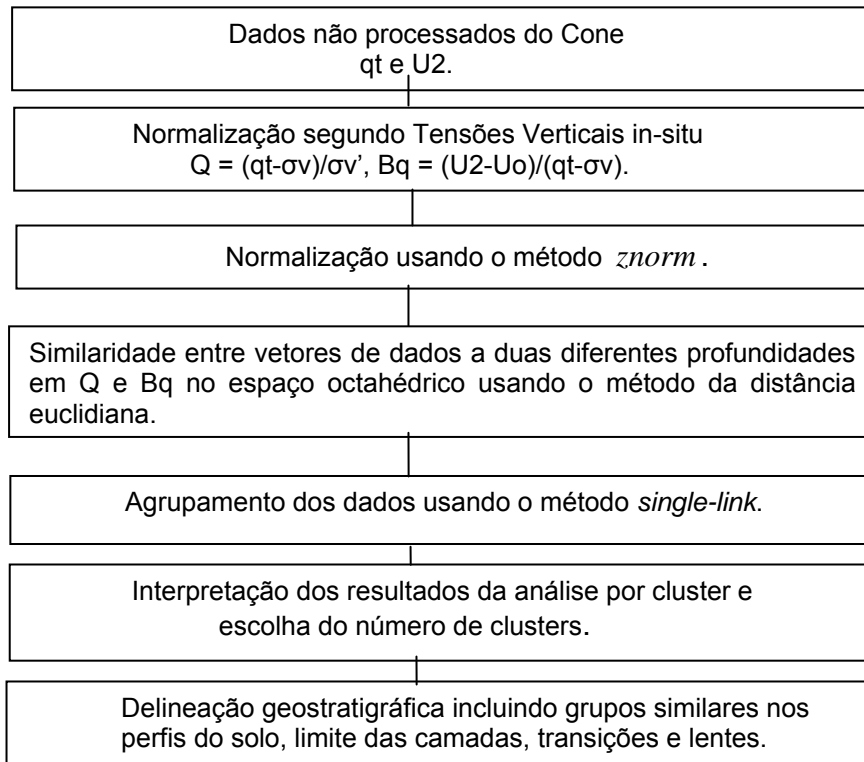


Figura 3.3: Fluxograma das etapas da análise de agrupamento dos dados do CPTU (Hegazy e Mayne, 2002).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS DO ENSAIO N° 01

LOCAL: UENF

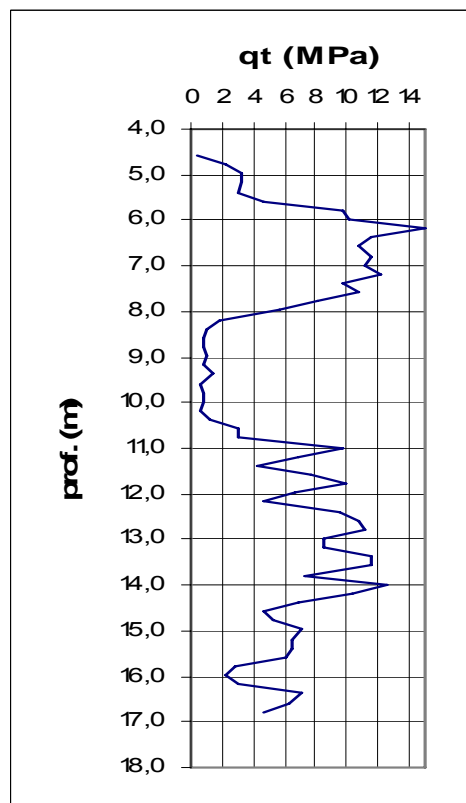
4.1 – EXEMPLO

Foram obtidos dados do CPTU no Campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense e em um terreno localizado na Avenida Adão Pereira Nunes, Lapa, Campos dos Goytacazes norte do Estado do Rio de Janeiro.

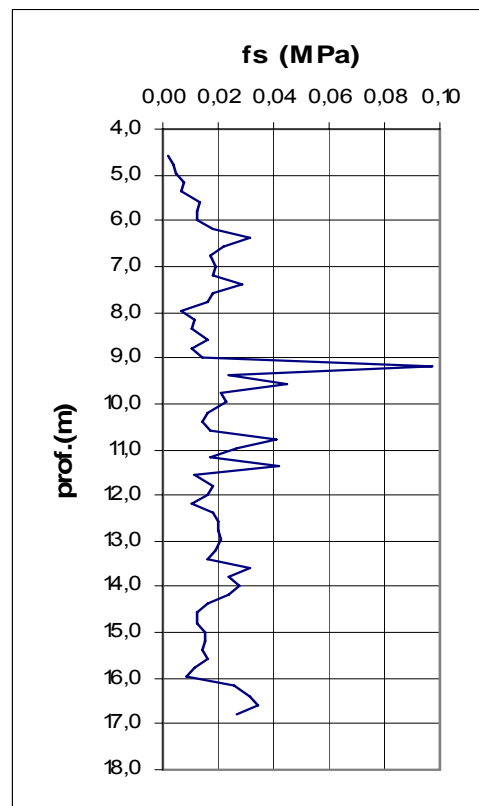
Em todos os dois ensaios além do CPTU também foram executados testes de SPT. Os dados foram utilizados para aferir a capacidade e a funcionalidade da análise por cluster neste tipo de solo.

Como foi mencionado anteriormente o equipamento transmite dados diretamente para um sistema de computador, com intervalo de dois em dois centímetros de profundidade, porém para a interpretação dos dados foram considerados a cada 20 cm em virtude da grande quantidade de resultados a ser analisada.

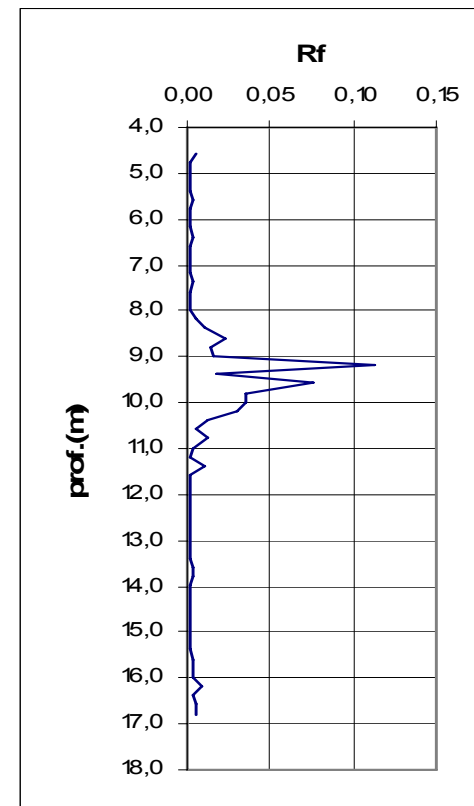
Com os três dados coletados no campo (prof. (1), q_c e f_s) do ensaio CPTU (Tabela 4.3), foram calculados os seguintes parâmetros: R_f (2.1), q_t (2.2), U_o (2.5), σ'_v (2.8), σ_v (2.6), B_q (2.4), Q (2.7), $z_{norm} B_q$ e $z_{norm} Q$ (3.3). Posteriormente, são plotados os seguintes gráficos (Fig. 4.1(a), (b) e (c)): resistência total de ponta corrigida q_t , atrito lateral f_s , razão de atrito R_f e (Fig. 4.3(a)) poro pressão medida U e poro pressão estática U_o pela profundidade. E o ensaio SPT a relação do número de golpes também pela profundidade para efeito de comparação (Fig. 4.4 (a)).



(a)



(b)



(c)

Figura 4.1 (a), (b) e (c): Resultados típicos do ensaio CPTU.

4.1.1 – CLASSIFICAÇÃO DO TIPO DE SOLO

Tendo em mãos o cálculo de Q (resistência do cone normalizada) (Equação 2.7) e B_q (razão de poro-pressão) (Equação 2.4), como indicada na Tabela 4.3, foram plotados o gráfico $B_q \times Q$ (Figura 4.2), de acordo com a proposta de Robertson (1990) para classificar o tipo de solo (Fig. 2.8 – b).

Os pontos são inseridos no gráfico, e de acordo com as regiões demarcadas, o solo é classificado.

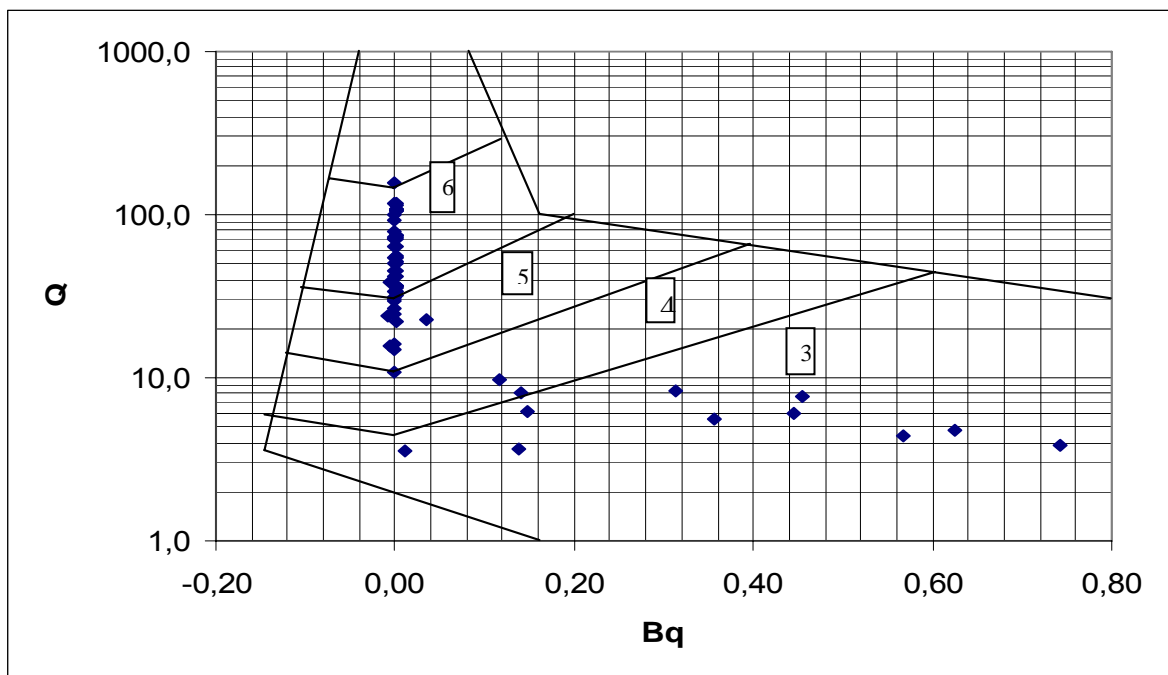


Fig. 4. 2 – Gráfico contendo os resultados da razão de poro pressão (B_q) e da resistência normalizada do cone (Q), de acordo com a Tabela 4.3, adaptado de Robertson (1990).

Os números referidos na Figura 4.2 delimitam zonas de solo com comportamento diferenciado de acordo com a descrição que se apresenta na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Resultado do diagrama (Figura 4.2) – zona e tipo de comportamento do solo (Robertson, 1990).

Zona	Comportamento do solo	Parâmetros utilizados
3	Argilas a argilas siltosas	$Bq = \frac{(U - U_o)}{(qt - \sigma_v)}$
4	Misturas siltosas	$Q = \frac{(qt - \sigma_v)}{\sigma'_v}$
5	Misturas arenosas	
6	Areia siltosa a areia limpa	

4.1.2 – RESULTADO TÍPICO DO CPTU

O perfil das camadas do solo da (Figura 4.3- b), foi resultante da análise do gráfico U_0 e U (Figura 4.3 - a), com a proposta resultante do diagrama de Robertson (1990) (Figura 4.2).

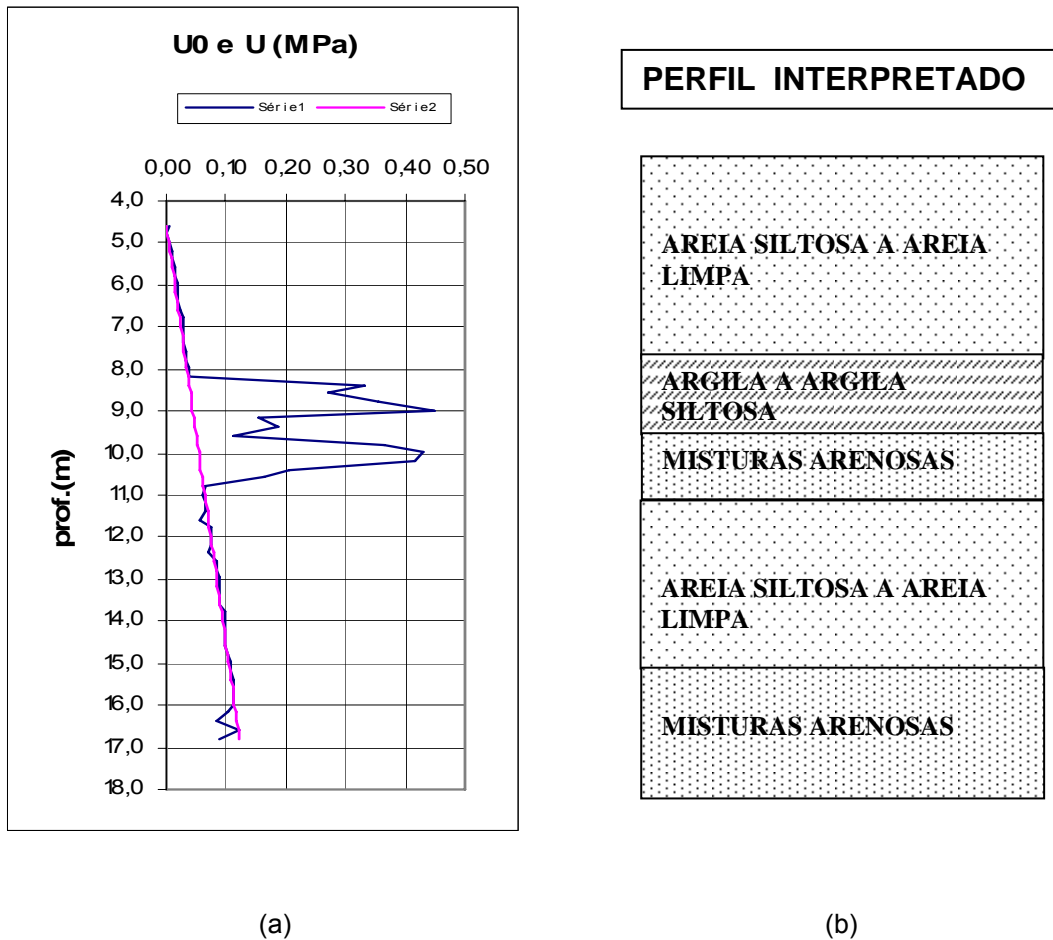


Fig. 4. 3 (a) e (b) - Resultado do ensaio de piezocone e perfil estratigráfico.

4.1.3 - ENSAIO SPT

O ensaio SPT (Standard Penetration Test), é o mais popular, rotineiro e econômica ferramenta de investigação do subsolo. Emite-nos uma medida de resistência dinâmica conjugada a uma sondagem de simples reconhecimento visual.

A Tabela 4.2 mostra o sistema de classificação dos solos argilosos, usado no Brasil e recomendado pela NBR 7.250/82, baseado em medidas de resistência à penetração sem qualquer correção quanto à energia de cravação e nível de tensões, proposta de Clayton (1993).

Tabela 4.2 – Classificação de solos (NBR 7.250/82).

Ensaio de penetração dinâmica SPT

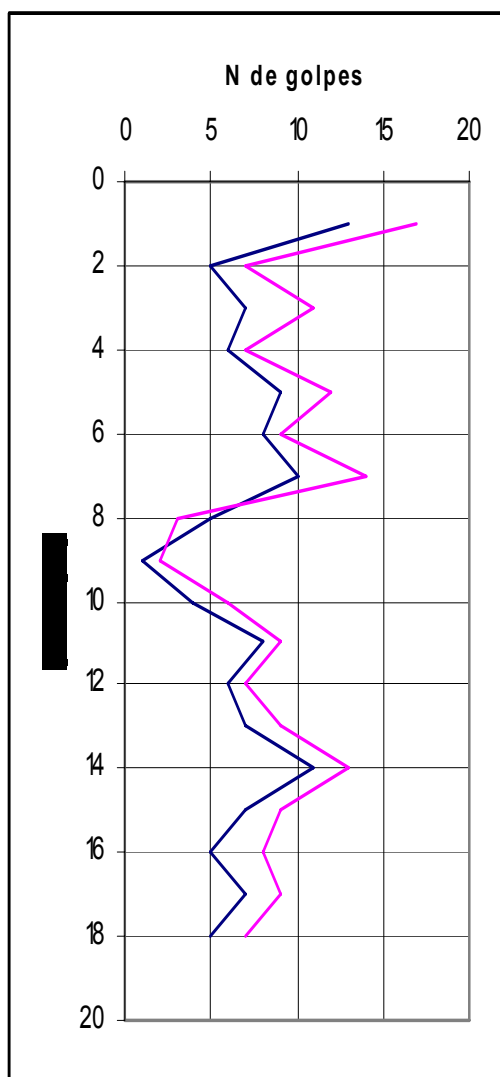
Consistência de argilas

Consistência	N (SPT)	q_u (kPa)
Muito mole	< 2	< 30
Mole	2 a 4	30 a 50
Média	4 a 8	50 a 100
Dura	8 a 15	100 a 200
Muito dura	15 a 30	200 a 400
Rija	> 30	> 400

q_u – resistência à compressão simples
O factor de correcção C_N não é aplicável para os solos argilosos

4.1.3.1 – RESULTADO DO ENSAIO SPT

Para efeito de comparação foram executados ensaios SPT, ao lado do ensaio CPTU, obtendo-se dados (n° de golpes versus profundidade) plotados em gráficos (Figura 4.4 (a)), resultando no perfil do solo (Figura 4.4 (b)), de acordo com a classificação táctil e visual.



(a)

PERFIL INTERPRETADO

AREIA FINA, MÉDIA E GROSSA, COR AMARELA, MEDIANAMENTE COMPACTA.

AREIA FINA E MÉDIA, COR AMARELA, MEDIANAMENTE COMPACTA.

AREIA FINA, MÉDIA E GROSSA, SILTO ARGILOSA COR CINZA.

ARGILA, COM TURFA, AREIA FINA, COR PRETA, MUITO MOLE.

AREIA FINA, MÉDIA E GROSSA, COR CINZA, POUCO COMPACTA.

AREIA FINA E MÉDIA, SILTO ARGILOSA, COM MICA, COR CINZA ESCURA, POUCO COMPACTA.

(b)

Figura 4.4 (a) e (b) – Resultado do ensaio SPT e perfil interpretado.

4.1.4 – NORMALIZAÇÃO

Os dados B_q e Q são inseridos no programa “StatisticTM”, obtendo-se a normalizada ($Z_{norm} B_q$ e Q) (item 3.2.2). Posteriormente determina-se pelo método da distância euclidiana (Equação 3.5) e a regra de ligação *single-linkage* a análise de similaridade entre os pontos desejados. A Tabela 4.4 exemplifica a matriz de similaridade para pontos medidos a cada 20 cm.

4.1.5 – ANÁLISE DO DENDROGRAMA

Com a matriz de similaridade o programa nos fornece o dendrograma (item 3.2.5) (Figura 4.5) para a devida análise e assim determina-se a distância de ligação.

Primeiro adota-se um nível alto de semelhança ou distância de ligação e analisa-se o perfil obtido. Depois vai diminuindo o grau de exigência até a obtenção de um perfil que não apresenta grandes variações (número de *clusters*) com o grau de semelhança. Para solo muito estratificado esse passo não é trivial, porém com as análises criteriosas determina-se o perfil com boa aproximação do real. A distância de ligação mais adequada para este exemplo é de 0,25.

Os resultados dos dados normalizados ($z_{norm} B_q$ e $z_{norm} Q$ – Eq. 3.3) foram inseridos no programa de computador “StatisticTM” e conforme apresentado nos itens 3.2.2, 3.2.3 e 3.2.4, as análises foram sendo executadas.

Foram obtidos os seguintes dados: uma matriz de similaridade (Tab. 4.4) e o dendrograma de agrupamento (Fig. 4.5).

Tabela 4.4 - Matriz Simétrica da Distância Euclidiana

PONTOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0,000	0,588	0,886	0,917	0,783	1,300	2,766	2,820	4,216	3,150	2,869	3,060	2,860	3,102	2,438	2,619	1,923	1,279
2	0,588	0,000	0,301	0,333	0,198	0,716	2,182	2,236	3,632	2,567	2,285	2,476	2,276	2,518	1,854	2,035	1,339	0,694
3	0,886	0,301	0,000	0,032	0,103	0,415	1,881	1,936	3,332	2,266	1,984	2,175	1,976	2,218	1,553	1,735	1,038	0,393
4	0,917	0,333	0,032	0,000	0,135	0,384	1,849	1,904	3,300	2,234	1,952	2,144	1,944	2,186	1,521	1,703	1,007	0,362
5	0,783	0,198	0,103	0,135	0,000	0,518	1,984	2,038	3,434	2,369	2,087	2,278	2,079	2,320	1,656	1,837	1,141	0,496
6	1,300	0,716	0,415	0,384	0,518	0,000	1,466	1,520	2,916	1,851	1,569	1,760	1,561	1,802	1,138	1,319	0,623	0,022
7	2,766	2,182	1,881	1,849	1,984	1,466	0,000	0,054	1,450	0,385	0,103	0,294	0,095	0,336	0,328	0,147	0,843	1,488
8	2,820	2,236	1,936	1,904	2,038	1,520	0,054	0,000	1,396	0,330	0,049	0,240	0,040	0,282	0,383	0,201	0,897	1,542
9	4,216	3,632	3,332	3,300	3,434	2,916	1,450	1,396	0,000	1,065	1,347	1,156	1,356	1,114	1,778	1,597	2,293	2,938
10	3,150	2,567	2,266	2,234	2,369	1,851	0,385	0,330	1,065	0,000	0,282	0,091	0,290	0,048	0,713	0,532	1,228	1,873
11	2,869	2,285	1,984	1,952	2,087	1,569	0,103	0,049	1,347	0,282	0,000	0,191	0,008	0,233	0,431	0,250	0,946	1,591
12	3,060	2,476	2,175	2,144	2,278	1,760	0,294	0,240	1,156	0,091	0,191	0,000	0,199	0,042	0,622	0,441	1,137	1,782
13	2,860	2,276	1,976	1,944	2,079	1,561	0,095	0,040	1,356	0,290	0,008	0,199	0,000	0,242	0,423	0,241	0,938	1,583
14	3,102	2,518	2,218	2,186	2,320	1,802	0,336	0,282	1,114	0,048	0,233	0,042	0,242	0,000	0,665	0,483	1,179	1,824
15	2,438	1,854	1,553	1,521	1,656	1,138	0,328	0,383	1,778	0,713	0,431	0,622	0,423	0,665	0,000	0,181	0,515	1,160
16	2,619	2,035	1,735	1,703	1,837	1,319	0,147	0,201	1,597	0,532	0,250	0,441	0,241	0,483	0,181	0,000	0,696	1,341
17	1,923	1,339	1,038	1,007	1,141	0,623	0,843	0,897	2,293	1,228	0,946	1,137	0,938	1,179	0,515	0,696	0,000	0,645
18	1,279	0,694	0,393	0,362	0,496	0,022	1,488	1,542	2,938	1,873	1,591	1,782	1,583	1,824	1,160	1,341	0,645	0,000
19	0,345	0,245	0,545	0,576	0,442	0,960	2,426	2,480	3,876	2,811	2,529	2,720	2,521	2,762	2,098	2,279	1,583	0,938
20	1,821	1,943	2,022	2,030	1,982	2,208	3,234	3,279	4,495	3,555	3,319	3,478	3,312	3,514	2,974	3,116	2,594	2,199
21	2,073	2,208	2,286	2,294	2,247	2,464	3,446	3,489	4,673	3,756	3,528	3,681	3,521	3,716	3,195	3,332	2,832	2,456
22	2,603	2,724	2,783	2,789	2,751	2,929	3,787	3,826	4,927	4,071	3,862	4,002	3,856	4,035	3,562	3,686	3,243	2,922
23	2,658	2,769	2,823	2,828	2,792	2,960	3,796	3,835	4,921	4,076	3,869	4,008	3,863	4,039	3,575	3,696	3,264	2,954
24	0,824	1,029	1,196	1,216	1,126	1,507	2,832	2,884	4,235	3,200	2,930	3,113	2,922	3,154	2,523	2,693	2,048	1,491
25	0,665	0,824	0,998	1,019	0,925	1,325	2,685	2,737	4,102	3,058	2,784	2,970	2,776	3,011	2,370	2,544	1,884	1,308
26	0,773	1,025	1,211	1,232	1,135	1,538	2,883	2,936	4,293	3,254	2,982	3,166	2,974	3,207	2,571	2,744	2,091	1,521
27	3,335	3,454	3,502	3,506	3,474	3,623	4,363	4,397	5,394	4,615	4,429	4,554	4,423	4,582	4,165	4,273	3,890	3,618
28	3,682	3,794	3,836	3,840	3,811	3,946	4,631	4,664	5,611	4,869	4,693	4,811	4,688	4,838	4,447	4,548	4,191	3,942
29	4,390	4,499	4,534	4,537	4,511	4,630	5,234	5,263	6,124	5,447	5,289	5,395	5,284	5,419	5,070	5,159	4,844	4,626
30	0,794	0,971	1,133	1,152	1,063	1,442	2,769	2,821	4,174	3,138	2,867	3,051	2,859	3,091	2,459	2,630	1,983	1,426
31	0,541	0,228	0,417	0,443	0,328	0,804	2,253	2,307	3,700	2,637	2,356	2,546	2,347	2,588	1,927	2,107	1,416	0,783
32	0,517	0,072	0,370	0,401	0,267	0,785	2,251	2,305	3,701	2,636	2,354	2,545	2,346	2,587	1,923	2,104	1,408	0,763
33	1,852	1,267	0,967	0,935	1,070	0,551	0,914	0,969	2,365	1,299	1,017	1,209	1,009	1,251	0,586	0,768	0,072	0,573
34	1,269	0,684	0,383	0,352	0,486	0,033	1,498	1,552	2,948	1,883	1,601	1,792	1,593	1,834	1,170	1,351	0,655	0,010
35	0,722	0,136	0,165	0,197	0,062	0,580	2,046	2,100	3,496	2,431	2,149	2,340	2,141	2,382	1,718	1,899	1,203	0,558
36	1,384	0,798	0,498	0,466	0,601	0,084	1,383	1,438	2,834	1,768	1,486	1,677	1,478	1,720	1,055	1,237	0,541	0,105
37	1,823	1,239	0,939	0,907	1,041	0,523	0,943	0,997	2,393	1,328	1,046	1,237	1,037	1,279	0,615	0,796	0,100	0,545
38	1,140	0,555	0,254	0,222	0,357	0,161	1,627	1,682	3,077	2,012	1,730	1,921	1,722	1,964	1,299	1,480	0,784	0,139
39	0,768	0,183	0,118	0,150	0,017	0,534	1,999	2,054	3,450	2,384	2,102	2,294	2,094	2,336	1,671	1,853	1,157	0,512
40	1,660	1,075	0,775	0,743	0,878	0,360	1,106	1,161	2,557	1,491	1,209	1,401	1,201	1,443	0,778	0,960	0,264	0,381
41	1,857	1,273	0,972	0,941	1,075	0,557	0,909	0,963	2,359	1,294	1,012	1,203	1,004	1,245	0,581	0,762	0,066	0,579
42	1,941	1,357	1,056	1,025	1,159	0,641	0,825	0,879	2,275	1,210	0,928	1,119	0,920	1,161	0,497	0,678	0,018	0,663
43	1,416	0,832	0,532	0,500	0,634	0,116	1,350	1,404	2,800	1,735	1,453	1,644	1,444	1,686	1,022	1,203	0,507	0,138
44	1,400	0,815	0,515	0,483	0,618	0,100	1,366	1,421	2,817	1,751	1,469	1,660	1,461	1,703	1,038	1,220	0,523	0,121
45	1,927	1,342	1,042	1,010	1,145	0,627	0,839	0,894	2,290	1,224	0,942	1,133	0,934	1,176	0,511	0,693	0,004	0,649
46	1,911	1,327	1,027	0,995	1,129	0,611	0,855	0,909	2,305	1,240	0,958	1,149	0,949	1,191	0,527	0,708	0,012	0,633
47	1,140	0,555	0,255	0,223	0,357	0,161	1,627	1,681	3,077	2,011	1,730	1,921	1,721	1,963	1,299	1,480	0,784	0,139
48	2,037	1,453	1,152	1,120	1,255	0,737	0,729	0,784	2,179	1,114	0,832	1,023	0,824	1,065	0,401	0,582	0,114	0,759
49	1,653	1,069	0,768	0,737	0,871	0,353	1,113	1,167	2,563	1,498	1,216	1,407	1,208	1,449	0,785	0,966	0,270	0,375

50	1,041	0,456	0,155	0,124	0,258	0,260	1,726	1,780	3,176	2,111	1,829	2,020	1,821	2,062	1,398	1,579	0,883	0,238
51	0,639	0,054	0,247	0,279	0,145	0,663	2,128	2,183	3,579	2,513	2,231	2,423	2,223	2,465	1,800	1,982	1,286	0,641
52	0,736	0,150	0,151	0,183	0,049	0,566	2,032	2,086	3,482	2,417	2,135	2,326	2,127	2,368	1,704	1,885	1,189	0,544
53	1,045	0,460	0,159	0,128	0,262	0,256	1,722	1,776	3,172	2,107	1,825	2,016	1,817	2,058	1,394	1,575	0,879	0,234
54	0,911	0,326	0,025	0,007	0,128	0,390	1,856	1,910	3,306	2,241	1,959	2,150	1,951	2,192	1,528	1,709	1,013	0,368
55	0,912	0,327	0,027	0,006	0,130	0,389	1,854	1,909	3,305	2,239	1,957	2,149	1,949	2,191	1,526	1,708	1,012	0,367
56	0,837	0,252	0,049	0,081	0,054	0,464	1,930	1,985	3,380	2,315	2,033	2,224	2,025	2,267	1,602	1,783	1,087	0,442
57	0,321	0,269	0,569	0,601	0,466	0,985	2,450	2,505	3,901	2,835	2,553	2,744	2,545	2,787	2,122	2,304	1,607	0,963
58	0,210	0,383	0,683	0,715	0,580	1,099	2,564	2,619	4,015	2,949	2,667	2,858	2,659	2,901	2,236	2,418	1,721	1,077
59	0,343	0,254	0,554	0,586	0,452	0,969	2,435	2,489	3,885	2,820	2,538	2,729	2,529	2,771	2,107	2,288	1,592	0,947
60	0,959	0,372	0,078	0,054	0,178	0,346	1,811	1,865	3,261	2,195	1,913	2,105	1,905	2,147	1,483	1,664	0,968	0,324
61	0,828	0,243	0,058	0,090	0,046	0,473	1,939	1,993	3,389	2,324	2,042	2,233	2,034	2,275	1,611	1,792	1,096	0,451
62	0,571	0,040	0,326	0,358	0,226	0,740	2,205	2,259	3,655	2,589	2,307	2,499	2,299	2,541	1,876	2,058	1,362	0,718

19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
0,345	1,821	2,073	2,603	2,658	0,824	0,665	0,773	3,335	3,682	4,390	0,794	0,541	0,517	1,852	1,269	0,722	1,384	1,823	1,140	0,768
0,245	1,943	2,208	2,724	2,769	1,029	0,824	1,025	3,454	3,794	4,499	0,971	0,228	0,072	1,267	0,684	0,136	0,798	1,239	0,555	0,183
0,545	2,022	2,286	2,783	2,823	1,196	0,998	1,211	3,502	3,836	4,534	1,133	0,417	0,370	0,967	0,383	0,165	0,498	0,939	0,254	0,118
0,576	2,030	2,294	2,789	2,828	1,216	1,019	1,232	3,506	3,840	4,537	1,152	0,443	0,401	0,935	0,352	0,197	0,466	0,907	0,222	0,150
0,442	1,982	2,247	2,751	2,792	1,126	0,925	1,135	3,474	3,811	4,511	1,063	0,328	0,267	1,070	0,486	0,062	0,601	1,041	0,357	0,017
0,960	2,208	2,464	2,929	2,960	1,507	1,325	1,538	3,623	3,946	4,630	1,442	0,804	0,785	0,551	0,033	0,580	0,084	0,523	0,161	0,534
2,426	3,234	3,446	3,787	3,796	2,832	2,685	2,883	4,363	4,631	5,234	2,769	2,253	2,251	0,914	1,498	2,046	1,383	0,943	1,627	1,999
2,480	3,279	3,489	3,826	3,835	2,884	2,737	2,936	4,397	4,664	5,263	2,821	2,307	2,305	0,969	1,552	2,100	1,438	0,997	1,682	2,054
3,876	4,495	4,673	4,927	4,921	4,235	4,102	4,293	5,394	5,611	6,124	4,174	3,700	3,701	2,365	2,948	3,496	2,834	2,393	3,077	3,450
2,811	3,555	3,756	4,071	4,076	3,200	3,058	3,254	4,615	4,869	5,447	3,138	2,637	2,636	1,299	1,883	2,431	1,768	1,328	2,012	2,384
2,529	3,319	3,528	3,862	3,869	2,930	2,784	2,982	4,429	4,693	5,289	2,867	2,356	2,354	1,017	1,601	2,149	1,486	1,046	1,730	2,102
2,720	3,478	3,681	4,002	4,008	3,113	2,970	3,166	4,554	4,811	5,395	3,051	2,546	2,545	1,209	1,792	2,340	1,677	1,237	1,921	2,294
2,521	3,312	3,521	3,856	3,863	2,922	2,776	2,974	4,423	4,688	5,284	2,859	2,347	2,346	1,009	1,593	2,141	1,478	1,037	1,722	2,094
2,762	3,514	3,716	4,035	4,039	3,154	3,011	3,207	4,582	4,838	5,419	3,091	2,588	2,587	1,251	1,834	2,382	1,720	1,279	1,964	2,336
2,098	2,974	3,195	3,562	3,575	2,523	2,370	2,571	4,165	4,447	5,070	2,459	1,927	1,923	0,586	1,170	1,718	1,055	0,615	1,299	1,671
2,279	3,116	3,332	3,686	3,696	2,693	2,544	2,744	4,273	4,548	5,159	2,630	2,107	2,104	0,768	1,351	1,899	1,237	0,796	1,480	1,853
1,583	2,594	2,832	3,243	3,264	2,048	1,884	2,091	3,890	4,191	4,844	1,983	1,416	1,408	0,072	0,655	1,203	0,541	0,100	0,784	1,157
0,938	2,199	2,456	2,922	2,954	1,491	1,308	1,521	3,618	3,942	4,626	1,426	0,783	0,763	0,573	0,010	0,558	0,105	0,545	0,139	0,512
0,000	1,890	2,152	2,677	2,726	0,921	0,722	0,899	3,411	3,755	4,463	0,871	0,276	0,175	1,511	0,928	0,380	1,043	1,483	0,799	0,426
1,890	0,000	0,266	0,787	0,839	0,998	1,176	1,052	1,522	1,867	2,576	1,033	1,716	1,909	2,547	2,196	1,970	2,267	2,526	2,130	1,983
2,152	0,266	0,000	0,530	0,586	1,252	1,435	1,301	1,264	1,610	2,318	1,290	1,981	2,174	2,787	2,453	2,235	2,521	2,767	2,391	2,248
2,677	0,787	0,530	0,000	0,067	1,782	1,963	1,831	0,735	1,080	1,789	1,819	2,497	2,692	3,204	2,921	2,743	2,980	3,187	2,869	2,753
2,726	0,839	0,586	0,067	0,000	1,835	2,015	1,886	0,685	1,029	1,737	1,871	2,542	2,738	3,226	2,953	2,785	3,010	3,209	2,903	2,794
0,921	0,998	1,252	1,782	1,835	0,000	0,205	0,084	2,515	2,862	3,570	0,066	0,810	0,979	1,985	1,485	1,094	1,585	1,958	1,382	1,121
0,722	1,176	1,435	1,963	2,015	0,205	0,000	0,214	2,698	3,043	3,752	0,149	0,606	0,774	1,819	1,301	0,891	1,404	1,792	1,193	0,919
0,899	1,052	1,301	1,831	1,886	0,084	0,214	0,000	2,563	2,909	3,617	0,124	0,812	0,971	2,026	1,514	1,100	1,617	2,000	1,407	1,129
3,411	1,522	1,264	0,735	0,685	2,515	2,698	2,563	0,000	0,347	1,054	2,553	3,228	3,424	3,857	3,618	3,468	3,669	3,842	3,574	3,477
3,755	1,867	1,610	1,080	1,029	2,862	3,043	2,909	0,347	0,000	0,708	2,899	3,569	3,766	4,161	3,942	3,807	3,990	4,147	3,902	3,814
4,463	2,576	2,318	1,789	1,737	3,570	3,752	3,617	1,054	0,708	0,000	3,608	4,274	4,472	4,818	4,627	4,509	4,670	4,805	4,591	4,515
0,871	1,033	1,290	1,819	1,871	0,066	0,149	0,124	2,553	2,899	3,608	0,000	0,750	0,922	1,920	1,420	1,033	1,519	1,893	1,317	1,059
0,276	1,716	1,981	2,497	2,542	0,810	0,606	0,812	3,228	3,569	4,274	0,750	0,000	0,200	1,345	0,774	0,288	0,888	1,317	0,650	0,320
0,175	1,909	2,174	2,692	2,738	0,979	0,774	0,971	3,424	3,766	4,472	0,922	0,200	0,000	1,336	0,753	0,205	0,868	1,308	0,624	0,252
1,511	2,547	2,787	3,204	3,226	1,985	1,819	2,026	3,857	4,161	4,818	1,920	1,345	1,336	0,000	0,583	1,132	0,469	0,028	0,713	1,085
0,928	2,196	2,453	2,921	2,953	1,485	1,301	1,514	3,618	3,942	4,627	1,420	0,774	0,753	0,583	0,000	0,548	0,115	0,555	0,129	0,502
0,380	1,970	2,235	2,743	2,785	1,094	0,891	1,100	3,468	3,807	4,509	1,033	0,288	0,205	1,132	0,548	0,000	0,663	1,103	0,419	0,047
1,043	2,267	2,521	2,980	3,010	1,585	1,404	1,617	3,669	3,990	4,670	1,519	0,888	0,868	0,469	0,115	0,663	0,000	0,441	0,244	0,616
1,483	2,526	2,767	3,187	3,209	1,958	1,792	2,000	3,842	4,147	4,805	1,893	1,317	1,308	0,028	0,555	1,103	0,441	0,000	0,684	1,057
0,799	2,130	2,391	2,869	2,903	1,382	1,193	1,407	3,574	3,902	4,591	1,317	0,650	0,624	0,713	0,129	0,419	0,244	0,684	0,000	0,372
0,426	1,983	2,248	2,753	2,794	1,121	0,919	1,129	3,477	3,814	4,515	1,059	0,320	0,252	1,085	0,502	0,047	0,616	1,057	0,372	0,000
1,319	2,425	2,671	3,105	3,131	1,816	1,645	1,855	3,774	4,085	4,751	1,751	1,157	1,144	0,192	0,391	0,940	0,277	0,164	0,521	0,893
1,517	2,550	2,790	3,206	3,228	1,989	1,823	2,031	3,858	4,162	4,818	1,924	1,351	1,342	0,006	0,589	1,137	0,475	0,034	0,718	1,091
1,601	2,607	2,844	3,253	3,274	2,064	1,901	2,107	3,898	4,199	4,851	1,999	1,434	1,426	0,090	0,673	1,221	0,559	0,118	0,802	1,175
1,076	2,274	2,527	2,982	3,012	1,605	1,426	1,638	3,668	3,988	4,666	1,539	0,917	0,901	0,435	0,148	0,696	0,036	0,407	0,277	0,650
1,060	2,265	2,519	2,975	3,005	1,591	1,412	1,624	3,663	3,983	4,662	1,526	0,901	0,885	0,452	0,132	0,680	0,022	0,424	0,261	0,633
1,587	2,597	2,835	3,245	3,266	2,051	1,888	2,094	3,891	4,192	4,845	1,986	1,419	1,412	0,075	0,659	1,207	0,544	0,103	0,788	1,160
1,571	2,587	2,825	3,237	3,258	2,038	1,874	2,081	3,885	4,187	4,840	1,973	1,404	1,396	0,060	0,643	1,191	0,529	0,088	0,772	1,145
0,799	2,128	2,389	2,867	2,901	1,381	1,192	1,406	3,572	3,899	4,589	1,316	0,650	0,624	0,712	0,129	0,419	0,244	0,684	0,003	0,373
1,697	2,675	2,909	3,310	3,329	2,152	1,991	2,196	3,947	4,244	4,890	2,087	1,529	1,522	0,185	0,769	1,317	0,654	0,214	0,898	1,270
1,313	2,416	2,662	3,096	3,122	1,808	1,637	1,846	3,765	4,076	4,743	1,742	1,149	1,138	0,198	0,385	0,933	0,271	0,170	0,514	0,887

0,700	2,086	2,348	2,833	2,870	1,307	1,115	1,329	3,544	3,875	4,568	1,243	0,557	0,525	0,811	0,228	0,320	0,343	0,783	0,099	0,274
0,297	1,945	2,211	2,723	2,767	1,046	0,842	1,047	3,451	3,791	4,495	0,987	0,237	0,123	1,214	0,631	0,083	0,745	1,186	0,501	0,129
0,394	1,974	2,239	2,746	2,788	1,102	0,900	1,109	3,471	3,809	4,511	1,041	0,297	0,219	1,117	0,534	0,014	0,649	1,089	0,405	0,032
0,704	2,087	2,349	2,834	2,870	1,310	1,117	1,331	3,545	3,875	4,568	1,245	0,561	0,529	0,808	0,224	0,324	0,339	0,779	0,095	0,278
0,570	2,031	2,295	2,791	2,830	1,214	1,016	1,229	3,508	3,842	4,539	1,150	0,439	0,395	0,942	0,358	0,190	0,473	0,913	0,229	0,143
0,571	2,032	2,296	2,791	2,830	1,215	1,017	1,230	3,509	3,842	4,540	1,151	0,440	0,396	0,940	0,357	0,192	0,471	0,912	0,227	0,145
0,496	2,004	2,269	2,769	2,809	1,164	0,964	1,176	3,490	3,826	4,525	1,101	0,375	0,321	1,016	0,432	0,116	0,547	0,988	0,303	0,069
0,024	1,887	2,149	2,675	2,724	0,914	0,717	0,890	3,409	3,754	4,462	0,866	0,293	0,200	1,536	0,953	0,404	1,067	1,508	0,823	0,451
0,139	1,879	2,138	2,666	2,718	0,891	0,704	0,857	3,401	3,747	4,455	0,848	0,382	0,314	1,650	1,067	0,518	1,181	1,622	0,937	0,565
0,032	1,919	2,181	2,707	2,756	0,948	0,750	0,924	3,441	3,785	4,493	0,899	0,305	0,188	1,520	0,937	0,390	1,051	1,492	0,808	0,436
0,616	2,079	2,343	2,836	2,874	1,269	1,072	1,285	3,552	3,885	4,581	1,205	0,495	0,442	0,896	0,314	0,238	0,427	0,868	0,186	0,192
0,487	2,003	2,268	2,769	2,809	1,160	0,959	1,171	3,490	3,826	4,526	1,097	0,369	0,312	1,024	0,441	0,107	0,556	0,996	0,312	0,061
0,226	1,970	2,235	2,752	2,797	1,047	0,842	1,040	3,483	3,824	4,529	0,990	0,255	0,070	1,290	0,708	0,164	0,821	1,262	0,579	0,209

40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
1,660	1,857	1,941	1,416	1,400	1,927	1,911	1,140	2,037	1,653	1,041	0,639	0,736	1,045	0,911	0,912	0,837	0,321	0,210	0,343	0,959
1,075	1,273	1,357	0,832	0,815	1,342	1,327	0,555	1,453	1,069	0,456	0,054	0,150	0,460	0,326	0,327	0,252	0,269	0,383	0,254	0,372
0,775	0,972	1,056	0,532	0,515	1,042	1,027	0,255	1,152	0,768	0,155	0,247	0,151	0,159	0,025	0,027	0,049	0,569	0,683	0,554	0,078
0,743	0,941	1,025	0,500	0,483	1,010	0,995	0,223	1,120	0,737	0,124	0,279	0,183	0,128	0,007	0,006	0,081	0,601	0,715	0,586	0,054
0,878	1,075	1,159	0,634	0,618	1,145	1,129	0,357	1,255	0,871	0,258	0,145	0,049	0,262	0,128	0,130	0,054	0,466	0,580	0,452	0,178
0,360	0,557	0,641	0,116	0,100	0,627	0,611	0,161	0,737	0,353	0,260	0,663	0,566	0,256	0,390	0,389	0,464	0,985	1,099	0,969	0,346
1,106	0,909	0,825	1,350	1,366	0,839	0,855	1,627	0,729	1,113	1,726	2,128	2,032	1,722	1,856	1,854	1,930	2,450	2,564	2,435	1,811
1,161	0,963	0,879	1,404	1,421	0,894	0,909	1,681	0,784	1,167	1,780	2,183	2,086	1,776	1,910	1,909	1,985	2,505	2,619	2,489	1,865
2,557	2,359	2,275	2,800	2,817	2,290	2,305	3,077	2,179	2,563	3,176	3,579	3,482	3,172	3,306	3,305	3,380	3,901	4,015	3,885	3,261
1,491	1,294	1,210	1,735	1,751	1,224	1,240	2,011	1,114	1,498	2,111	2,513	2,417	2,107	2,241	2,239	2,315	2,835	2,949	2,820	2,195
1,209	1,012	0,928	1,453	1,469	0,942	0,958	1,730	0,832	1,216	1,829	2,231	2,135	1,825	1,959	1,957	2,033	2,553	2,667	2,538	1,913
1,401	1,203	1,119	1,644	1,660	1,133	1,149	1,921	1,023	1,407	2,020	2,423	2,326	2,016	2,150	2,149	2,224	2,744	2,858	2,729	2,105
1,201	1,004	0,920	1,444	1,461	0,934	0,949	1,721	0,824	1,208	1,821	2,223	2,127	1,817	1,951	1,949	2,025	2,545	2,659	2,529	1,905
1,443	1,245	1,161	1,686	1,703	1,176	1,191	1,963	1,065	1,449	2,062	2,465	2,368	2,058	2,192	2,191	2,267	2,787	2,901	2,771	2,147
0,778	0,581	0,497	1,022	1,038	0,511	0,527	1,299	0,401	0,785	1,398	1,800	1,704	1,394	1,528	1,526	1,602	2,122	2,236	2,107	1,483
0,960	0,762	0,678	1,203	1,220	0,693	0,708	1,480	0,582	0,966	1,579	1,982	1,885	1,575	1,709	1,708	1,783	2,304	2,418	2,288	1,664
0,264	0,066	0,018	0,507	0,523	0,004	0,012	0,784	0,114	0,270	0,883	1,286	1,189	0,879	1,013	1,012	1,087	1,607	1,721	1,592	0,968
0,381	0,579	0,663	0,138	0,121	0,649	0,633	0,139	0,759	0,375	0,238	0,641	0,544	0,234	0,368	0,367	0,442	0,963	1,077	0,947	0,324
1,319	1,517	1,601	1,076	1,060	1,587	1,571	0,799	1,697	1,313	0,700	0,297	0,394	0,704	0,570	0,571	0,496	0,024	0,139	0,032	0,616
2,425	2,550	2,607	2,274	2,265	2,597	2,587	2,128	2,675	2,416	2,086	1,945	1,974	2,087	2,031	2,032	2,004	1,887	1,879	1,919	2,079
2,671	2,790	2,844	2,527	2,519	2,835	2,825	2,389	2,909	2,662	2,348	2,211	2,239	2,349	2,295	2,296	2,269	2,149	2,138	2,181	2,343
3,105	3,206	3,253	2,982	2,975	3,245	3,237	2,867	3,310	3,096	2,833	2,723	2,746	2,834	2,791	2,791	2,769	2,675	2,666	2,707	2,836
3,131	3,228	3,274	3,012	3,005	3,266	3,258	2,901	3,329	3,122	2,870	2,767	2,788	2,870	2,830	2,830	2,809	2,724	2,718	2,756	2,874
1,816	1,989	2,064	1,605	1,591	2,051	2,038	1,381	2,152	1,808	1,307	1,046	1,102	1,310	1,214	1,215	1,164	0,914	0,891	0,948	1,269
1,645	1,823	1,901	1,426	1,412	1,888	1,874	1,192	1,991	1,637	1,115	0,842	0,900	1,117	1,016	1,017	0,964	0,717	0,704	0,750	1,072
1,855	2,031	2,107	1,638	1,624	2,094	2,081	1,406	2,196	1,846	1,329	1,047	1,109	1,331	1,229	1,230	1,176	0,890	0,857	0,924	1,285
3,774	3,858	3,898	3,668	3,663	3,891	3,885	3,572	3,947	3,765	3,544	3,451	3,471	3,545	3,508	3,509	3,490	3,409	3,401	3,441	3,552
4,085	4,162	4,199	3,988	3,983	4,192	4,187	3,899	4,244	4,076	3,875	3,791	3,809	3,875	3,842	3,842	3,826	3,754	3,747	3,785	3,885
4,751	4,818	4,851	4,666	4,662	4,845	4,840	4,589	4,890	4,743	4,568	4,495	4,511	4,568	4,539	4,540	4,525	4,462	4,455	4,493	4,581
1,751	1,924	1,999	1,539	1,526	1,986	1,973	1,316	2,087	1,742	1,243	0,987	1,041	1,245	1,150	1,151	1,101	0,866	0,848	0,899	1,205
1,157	1,351	1,434	0,917	0,901	1,419	1,404	0,650	1,529	1,149	0,557	0,237	0,297	0,561	0,439	0,440	0,375	0,293	0,382	0,305	0,495
1,144	1,342	1,426	0,901	0,885	1,412	1,396	0,624	1,522	1,138	0,525	0,123	0,219	0,529	0,395	0,396	0,321	0,200	0,314	0,188	0,442
0,192	0,006	0,090	0,435	0,452	0,075	0,060	0,712	0,185	0,198	0,811	1,214	1,117	0,808	0,942	0,940	1,016	1,536	1,650	1,520	0,896
0,391	0,589	0,673	0,148	0,132	0,659	0,643	0,129	0,769	0,385	0,228	0,631	0,534	0,224	0,358	0,357	0,432	0,953	1,067	0,937	0,314
0,940	1,137	1,221	0,696	0,680	1,207	1,191	0,419	1,317	0,933	0,320	0,083	0,014	0,324	0,190	0,192	0,116	0,404	0,518	0,390	0,238
0,277	0,475	0,559	0,036	0,022	0,544	0,529	0,244	0,654	0,271	0,343	0,745	0,649	0,339	0,473	0,471	0,547	1,067	1,181	1,051	0,427
0,164	0,034	0,118	0,407	0,424	0,103	0,088	0,684	0,214	0,170	0,783	1,186	1,089	0,779	0,913	0,912	0,988	1,508	1,622	1,492	0,868
0,521	0,718	0,802	0,277	0,261	0,788	0,772	0,003	0,898	0,514	0,099	0,501	0,405	0,095	0,229	0,227	0,303	0,823	0,937	0,808	0,186
0,893	1,091	1,175	0,650	0,633	1,160	1,145	0,373	1,270	0,887	0,274	0,129	0,032	0,278	0,143	0,145	0,069	0,451	0,565	0,436	0,192
0,000	0,198	0,282	0,243	0,260	0,267	0,252	0,520	0,377	0,009	0,619	1,022	0,925	0,616	0,750	0,748	0,824	1,344	1,458	1,328	0,704
0,198	0,000	0,084	0,441	0,458	0,070	0,054	0,718	0,180	0,204	0,817	1,220	1,123	0,813	0,947	0,946	1,021	1,542	1,656	1,526	0,902
0,282	0,084	0,000	0,525	0,542	0,014	0,030	0,802	0,096	0,288	0,901	1,304	1,207	0,897	1,031	1,030	1,105	1,626	1,740	1,610	0,986
0,243	0,441	0,525	0,000	0,017	0,510	0,495	0,277	0,621	0,237	0,376	0,779	0,682	0,372	0,506	0,505	0,580	1,101	1,215	1,085	0,462
0,260	0,458	0,542	0,017	0,000	0,527	0,512	0,260	0,637	0,253	0,359	0,762	0,666	0,356	0,490	0,488	0,564	1,084	1,198	1,069	0,445
0,267	0,070	0,014	0,510	0,527	0,000	0,015	0,787	0,110	0,274	0,887	1,289	1,193	0,883	1,017	1,015	1,091	1,611	1,725	1,596	0,972
0,252	0,054	0,030	0,495	0,512	0,015	0,000	0,772	0,126	0,258	0,871	1,274	1,177	0,867	1,001	1,000	1,076	1,596	1,710	1,580	0,956
0,520	0,718	0,802	0,277	0,260	0,787	0,772	0,000	0,898	0,514	0,099	0,502	0,405	0,095	0,229	0,228	0,304	0,824	0,938	0,809	0,187
0,377	0,180	0,096	0,621	0,637	0,110	0,126	0,898	0,000	0,384	0,997	1,399	1,303	0,993	1,127	1,125	1,201	1,721	1,835	1,706	1,082
0,009	0,204	0,288	0,237	0,253	0,274	0,258	0,514	0,384	0,000	0,613	1,016	0,919	0,609	0,743	0,742	0,817	1,337	1,452	1,322	0,698

0,619	0,817	0,901	0,376	0,359	0,887	0,871	0,099	0,997	0,613	0,000	0,403	0,306	0,004	0,130	0,129	0,204	0,725	0,839	0,709	0,090
1,022	1,220	1,304	0,779	0,762	1,289	1,274	0,502	1,399	1,016	0,403	0,000	0,097	0,407	0,273	0,274	0,198	0,322	0,436	0,308	0,320
0,925	1,123	1,207	0,682	0,666	1,193	1,177	0,405	1,303	0,919	0,306	0,097	0,000	0,310	0,176	0,177	0,102	0,418	0,532	0,404	0,224
0,616	0,813	0,897	0,372	0,356	0,883	0,867	0,095	0,993	0,609	0,004	0,407	0,310	0,000	0,134	0,133	0,208	0,728	0,842	0,713	0,094
0,750	0,947	1,031	0,506	0,490	1,017	1,001	0,229	1,127	0,743	0,130	0,273	0,176	0,134	0,000	0,002	0,074	0,594	0,708	0,579	0,056
0,748	0,946	1,030	0,505	0,488	1,015	1,000	0,228	1,125	0,742	0,129	0,274	0,177	0,133	0,002	0,000	0,076	0,596	0,710	0,581	0,055
0,824	1,021	1,105	0,580	0,564	1,091	1,076	0,304	1,201	0,817	0,204	0,198	0,102	0,208	0,074	0,076	0,000	0,520	0,634	0,505	0,124
1,344	1,542	1,626	1,101	1,084	1,611	1,596	0,824	1,721	1,337	0,725	0,322	0,418	0,728	0,594	0,596	0,520	0,000	0,114	0,035	0,641
1,458	1,656	1,740	1,215	1,198	1,725	1,710	0,938	1,835	1,452	0,839	0,436	0,532	0,842	0,708	0,710	0,634	0,114	0,000	0,133	0,755
1,328	1,526	1,610	1,085	1,069	1,596	1,580	0,809	1,706	1,322	0,709	0,308	0,404	0,713	0,579	0,581	0,505	0,035	0,133	0,000	0,624
0,704	0,902	0,986	0,462	0,445	0,972	0,956	0,187	1,082	0,698	0,090	0,320	0,224	0,094	0,056	0,055	0,124	0,641	0,755	0,624	0,000
0,832	1,030	1,114	0,589	0,572	1,100	1,084	0,312	1,210	0,826	0,213	0,190	0,093	0,217	0,083	0,084	0,009	0,512	0,626	0,497	0,132
1,098	1,296	1,380	0,856	0,839	1,366	1,350	0,579	1,476	1,092	0,480	0,088	0,177	0,484	0,351	0,353	0,278	0,250	0,363	0,231	0,394

61	62
0,828	0,571
0,243	0,040
0,058	0,326
0,090	0,358
0,046	0,226
0,473	0,740
1,939	2,205
1,993	2,259
3,389	3,655
2,324	2,589
2,042	2,307
2,233	2,499
2,034	2,299
2,275	2,541
1,611	1,876
1,792	2,058
1,096	1,362
0,451	0,718
0,487	0,226
2,003	1,970
2,268	2,235
2,769	2,752
2,809	2,797
1,160	1,047
0,959	0,842
1,171	1,040
3,490	3,483
3,826	3,824
4,526	4,529
1,097	0,990
0,369	0,255
0,312	0,070
1,024	1,290
0,441	0,708
0,107	0,164
0,556	0,821
0,996	1,262
0,312	0,579
0,061	0,209
0,832	1,098
1,030	1,296
1,114	1,380
0,589	0,856
0,572	0,839
1,100	1,366
1,084	1,350
0,312	0,579
1,210	1,476
0,826	1,092

0,213	0,480
0,190	0,088
0,093	0,177
0,217	0,484
0,083	0,351
0,084	0,353
0,009	0,278
0,512	0,250
0,626	0,363
0,497	0,231
0,132	0,394
0,000	0,269
0,269	0,000

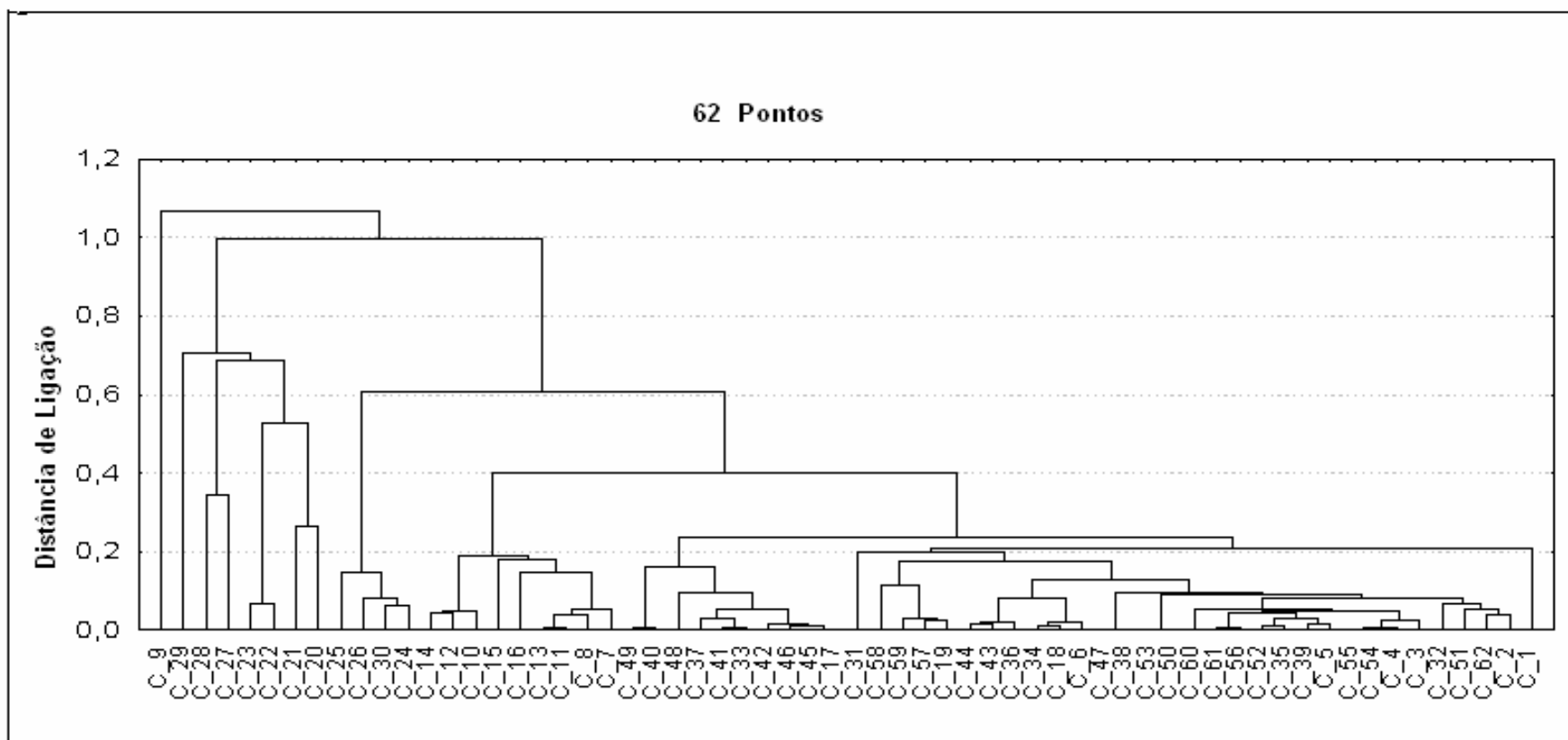


Figura 4.5 – Dendrograma de agrupamento, utilizando o método de ligação simples e Distância Euclidiana.

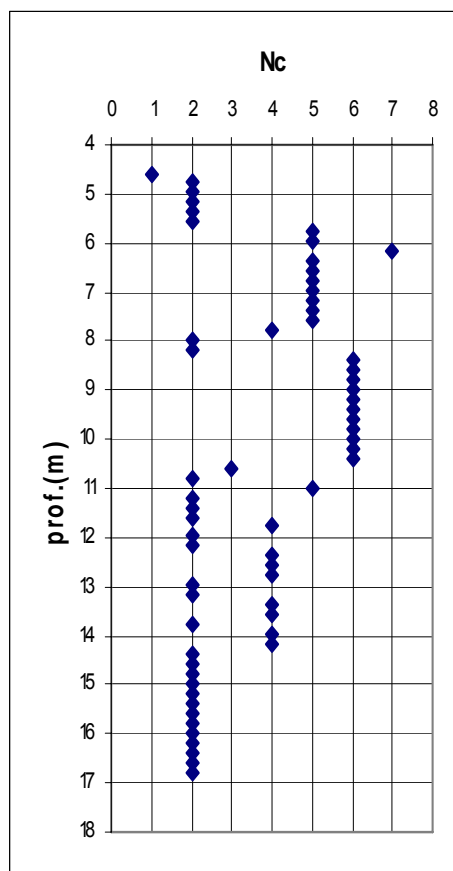
Distância de ligação = 0,25.

4.1.6 – RESULTADO FINAL

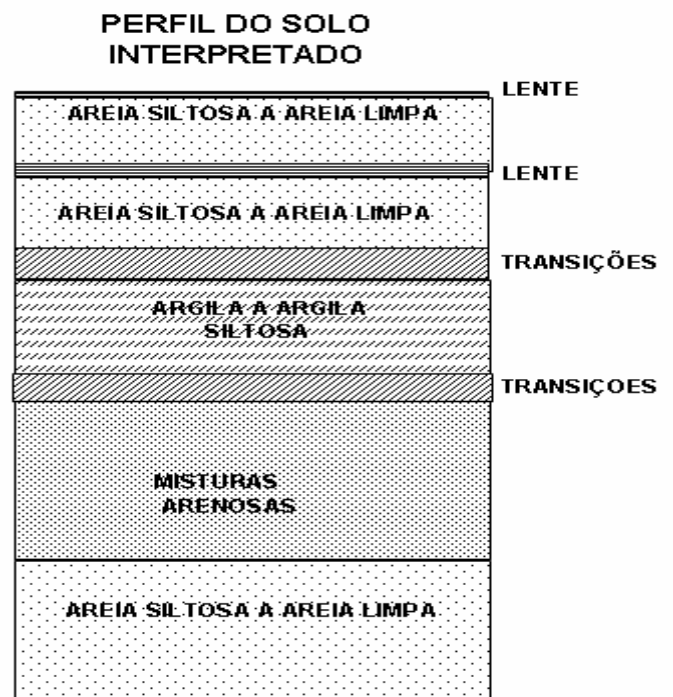
De acordo com a distância de ligação adotada (0,25) no dendrograma (Figura 4.5) os pontos são agrupados em 7 grupos ou *clusters*, resultando no gráfico da Figura 4.6(a).

O resultado final do trabalho (perfil do solo – Figura 4.6 (b)) é realizado do conjunto das seguintes informações:

- Gráfico Nc x prof. (Figura 4.6 (a));
- Gráfico de Robertson, 1990 (Figura 4.2 (a)) e;
- Critério proposto para avaliar a estratigrafia do solo para análise de *cluster* (Figura 3.2) (Hegazy e Mayne, 2002).



(a)



(b)

Figura 4.6 (a) e (b) – Exemplo dos resultados da análise.

As Tabelas com o resultado dos dados do piezocone, matriz simétrica da distância euclidiana e os resultados finais da análise está inserido a seguir (Tabela 4.3, 4.4 e 4.5).

Tabela 4.3 – Resultado dos dados do piezocone com intervalo de 20 cm.

Prof. (m)	Prof.(m)	Qc(MPa)	Fs(KPa)	Fs(MPa)	U(KPa)	U(MPa)	Rf	qt (MPa)	Uo(KPa)	Uo (MPa)	$\sigma'v$ (MPa)	σv (MPa)	Bq	Q	Zscore Bq	Zscore Q	PONTOS
4,58	0,00	0,37	2	0,002	3	0,003	0,005	0,375	0	0	0,082	0,082	0,010	3,548	-0,333	-1,208	1
4,78	0,20	2,17	4	0,004	-2	-0,002	0,002	2,172	2	0,002	0,084	0,086	-0,002	24,825	-0,406	-0,625	2
4,98	0,40	3,15	5	0,005	5	0,005	0,002	3,154	4	0,004	0,086	0,090	0,000	35,778	-0,392	-0,325	3
5,18	0,60	3,31	8	0,008	9	0,009	0,002	3,316	6	0,006	0,087	0,093	0,001	36,941	-0,389	-0,293	4
5,38	0,80	2,94	7	0,007	11	0,011	0,002	2,943	8	0,008	0,089	0,097	0,001	32,032	-0,388	-0,427	5
5,58	1,00	4,70	13	0,013	14	0,014	0,003	4,707	10	0,01	0,090	0,100	0,001	50,930	-0,389	0,091	6
5,78	1,20	9,71	12	0,012	16	0,016	0,001	9,712	12	0,012	0,092	0,104	0,000	104,391	-0,392	1,557	7
5,98	1,40	10,06	12	0,012	18	0,018	0,001	10,069	14	0,014	0,094	0,108	0,000	106,378	-0,392	1,611	8
6,18	1,60	15,09	18	0,018	19	0,019	0,001	15,091	16	0,016	0,095	0,111	0,000	157,286	-0,393	3,007	9
6,38	1,80	11,58	31	0,031	20	0,02	0,003	11,584	18	0,018	0,097	0,115	0,000	118,429	-0,393	1,942	10
6,58	2,00	10,76	22	0,022	23	0,023	0,002	10,764	20	0,02	0,098	0,118	0,000	108,148	-0,393	1,660	11
6,78	2,20	11,63	17	0,017	26	0,026	0,001	11,638	22	0,022	0,100	0,122	0,000	115,118	-0,392	1,851	12
6,98	2,40	11,08	19	0,019	28	0,028	0,002	11,087	24	0,024	0,102	0,126	0,000	107,846	-0,392	1,651	13
7,18	2,60	12,16	18	0,018	29	0,029	0,001	12,173	26	0,026	0,103	0,129	0,000	116,662	-0,393	1,893	14
7,38	2,80	9,81	29	0,029	30	0,03	0,003	9,823	28	0,028	0,105	0,133	0,000	92,426	-0,393	1,229	15
7,58	3,00	10,67	18	0,018	32	0,032	0,002	10,678	30	0,03	0,106	0,136	0,000	99,042	-0,393	1,410	16
7,78	3,20	8,09	16	0,016	34	0,034	0,002	8,097	32	0,032	0,108	0,140	0,000	73,649	-0,393	0,714	17
7,98	3,40	5,63	7	0,007	36	0,036	0,001	5,640	34	0,034	0,110	0,144	0,000	50,129	-0,392	0,069	18
8,18	3,60	1,91	11	0,011	36	0,036	0,006	1,918	36	0,036	0,111	0,147	0,000	15,916	-0,394	-0,869	19
8,38	3,80	0,98	10	0,01	332	0,332	0,010	1,088	38	0,038	0,113	0,151	0,314	8,307	1,484	-1,078	20
8,58	4,00	0,71	16	0,016	270	0,27	0,022	0,800	40	0,04	0,114	0,154	0,356	5,641	1,739	-1,151	21
8,78	4,20	0,75	10	0,01	356	0,356	0,013	0,864	42	0,042	0,116	0,158	0,445	6,084	2,269	-1,139	22
8,98	4,40	0,91	14	0,014	449	0,449	0,015	1,054	44	0,044	0,118	0,162	0,454	7,589	2,322	-1,097	23
9,18	4,60	0,86	97	0,097	155	0,155	0,113	0,906	46	0,046	0,119	0,165	0,147	6,208	0,487	-1,135	24
9,38	4,80	1,30	24	0,024	188	0,188	0,018	1,361	48	0,048	0,121	0,169	0,117	9,868	0,309	-1,035	25
9,58	5,00	0,59	45	0,045	113	0,113	0,077	0,625	50	0,05	0,122	0,172	0,139	3,695	0,440	-1,204	26
9,78	5,20	0,61	21	0,021	363	0,363	0,035	0,724	52	0,052	0,124	0,176	0,567	4,420	3,002	-1,184	27
9,98	5,40	0,64	23	0,023	430	0,43	0,036	0,781	54	0,054	0,126	0,180	0,625	4,788	3,349	-1,174	28
10,18	5,60	0,53	16	0,016	418	0,418	0,030	0,670	56	0,056	0,127	0,183	0,743	3,828	4,057	-1,201	29
10,38	5,80	1,18	14	0,014	207	0,207	0,012	1,242	58	0,058	0,129	0,187	0,141	8,193	0,451	-1,081	30

Continuação da Tabela 4.3.

10,58	6,00	3,08	17	0,017	162	0,162	0,006	3,134	60	0,06	0,130	0,190	0,035	22,565	-0,187	-0,687	31
10,78	6,20	3,12	41	0,041	66	0,066	0,013	3,139	62	0,062	0,132	0,194	0,001	22,300	-0,386	-0,694	32
10,98	6,40	9,67	27	0,027	63	0,063	0,003	9,692	64	0,064	0,134	0,198	0,000	71,041	-0,395	0,642	33
11,18	6,60	6,91	17	0,017	65	0,065	0,002	6,931	66	0,066	0,135	0,201	0,000	49,763	-0,395	0,059	34
11,38	6,80	4,26	42	0,042	67	0,067	0,010	4,279	68	0,068	0,137	0,205	0,000	29,772	-0,396	-0,489	35
11,58	7,00	7,66	11	0,011	55	0,055	0,001	7,676	70	0,07	0,138	0,208	-0,002	53,940	-0,406	0,173	36
11,78	7,20	9,99	18	0,018	75	0,075	0,002	10,016	72	0,072	0,140	0,212	0,000	70,011	-0,393	0,614	37
11,98	7,40	6,57	16	0,016	75	0,075	0,002	6,596	74	0,074	0,142	0,216	0,000	45,049	-0,393	-0,070	38
12,18	7,60	4,70	10	0,01	76	0,076	0,002	4,727	76	0,076	0,143	0,219	0,000	31,468	-0,394	-0,443	39
12,38	7,80	9,48	18	0,018	71	0,071	0,002	9,498	78	0,078	0,145	0,223	-0,001	64,038	-0,399	0,450	40
12,58	8,00	10,63	20	0,02	82	0,082	0,002	10,660	80	0,08	0,146	0,226	0,000	71,246	-0,393	0,648	41
12,78	8,20	11,20	20	0,02	85	0,085	0,002	11,231	82	0,082	0,148	0,230	0,000	74,309	-0,393	0,732	42
12,98	8,40	8,46	21	0,021	87	0,087	0,002	8,488	84	0,084	0,150	0,234	0,000	55,164	-0,392	0,207	43
13,18	8,60	8,46	19	0,019	88	0,088	0,002	8,489	86	0,086	0,151	0,237	0,000	54,559	-0,393	0,190	44
13,38	8,80	11,49	16	0,016	91	0,091	0,001	11,518	88	0,088	0,153	0,241	0,000	73,782	-0,393	0,717	45
13,58	9,00	11,52	31	0,031	91	0,091	0,003	11,553	90	0,09	0,154	0,244	0,000	73,221	-0,394	0,702	46
13,78	9,20	7,25	24	0,024	96	0,096	0,003	7,280	92	0,092	0,156	0,248	0,001	45,067	-0,391	-0,070	47
13,98	9,40	12,49	28	0,028	96	0,096	0,002	12,516	94	0,094	0,158	0,252	0,000	77,802	-0,393	0,828	48
14,18	9,60	10,38	24	0,024	99	0,099	0,002	10,415	96	0,096	0,159	0,255	0,000	63,803	-0,393	0,444	49
14,38	9,80	6,89	16	0,016	99	0,099	0,002	6,925	98	0,098	0,161	0,259	0,000	41,448	-0,393	-0,169	50
14,58	10,00	4,58	12	0,012	100	0,1	0,003	4,610	100	0,1	0,162	0,262	0,000	26,762	-0,394	-0,572	51
14,78	10,20	5,20	12	0,012	101	0,101	0,002	5,234	102	0,102	0,164	0,266	0,000	30,285	-0,396	-0,475	52
14,98	10,40	7,12	15	0,015	106	0,106	0,002	7,159	104	0,104	0,166	0,270	0,000	41,590	-0,393	-0,165	53
15,18	10,60	6,38	15	0,015	108	0,108	0,002	6,411	106	0,106	0,167	0,273	0,000	36,702	-0,392	-0,299	54
15,38	10,80	6,45	14	0,014	110	0,11	0,002	6,483	108	0,108	0,169	0,277	0,000	36,757	-0,392	-0,298	55
15,58	11,00	6,04	16	0,016	112	0,112	0,003	6,075	110	0,11	0,170	0,280	0,000	33,995	-0,392	-0,373	56
15,78	11,20	2,83	11	0,011	112	0,112	0,004	2,869	112	0,112	0,172	0,284	0,000	15,023	-0,394	-0,894	57
15,98	11,40	2,14	9	0,009	114	0,114	0,004	2,174	114	0,114	0,174	0,288	0,000	10,865	-0,394	-1,008	58
16,18	11,60	2,99	26	0,026	102	0,102	0,009	3,025	116	0,116	0,175	0,291	-0,005	15,602	-0,425	-0,878	59
16,38	11,80	7,05	31	0,031	83	0,083	0,004	7,080	118	0,118	0,177	0,295	-0,005	38,369	-0,425	-0,253	60

Continuação da tabela 4.3.

16,58	12,00	6,27	34	0,034	120	0,12	0,005	6,308	120	0,12	0,178	0,298	0,000	33,679	-0,394	-0,382	61
16,78	12,20	4,60	27	0,027	90	0,09	0,006	4,624	122	0,122	0,180	0,302	-0,007	24,007	-0,439	-0,647	62

Tabela 4.5 – Resultado final das análises.

PONTOS	Prof.(m)	N° de Cluster							NC	COMPORTAMENTO DO SOLO
		1	2	3	4	5	6	7		
1	4,58	x							1	LENTE
2	4,78		x						2	AREIA SILTOSA A AREIA LIMPA
3	4,98		x						2	
4	5,18		x						2	
5	5,38		x						2	
6	5,58		x						2	
7	5,78					x			5	
8	5,98					x			5	
9	6,18							x	7	
10	6,38					x			5	AREIA SILTOSA A AREIA LIMPA
11	6,58					x			5	
12	6,78					x			5	
13	6,98					x			5	
14	7,18					x			5	
15	7,38					x			5	
16	7,58					x			5	
17	7,78				x				4	
18	7,98		x						2	TRANSIÇÕES
19	8,18		x						2	
20	8,38						x		6	ARGILA A ARGILA SILTOSA
21	8,58						x		6	
22	8,78						x		6	
23	8,98						x		6	
24	9,18						x		6	
25	9,38						x		6	
26	9,58						x		6	
27	9,78						x		6	
28	9,98						x		6	
29	10,18						x		6	
30	10,38						x		6	TRANSIÇÕES
31	10,58			x					3	
32	10,78		x						2	TRANSIÇÕES
33	10,98					x			5	
34	11,18		x						2	MISTURAS ARENOSAS
35	11,38		x						2	
36	11,58		x						2	
37	11,78				x				4	
38	11,98		x						2	
39	12,18		x						2	
40	12,38				x				4	
41	12,58				x				4	
42	12,78				x				4	
43	12,98		x						2	
44	13,18		x						2	
45	13,38				x				4	
46	13,58				x				4	

47	13,78	x						2	
48	13,98			x				4	
49	14,18			x				4	
50	14,38	x						2	AREIA SILTOSA A AREIA LIMPA
51	14,58	x						2	
52	14,78	x						2	
53	14,98	x						2	
54	15,18	x						2	
55	15,38	x						2	
56	15,58	x						2	
57	15,78	x						2	
58	15,98	x						2	
59	16,18	x						2	
60	16,38	x						2	
61	16,58	x						2	
62	16,78	x						2	

4.1.7 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com relação aos resultados dos ensaios convencionais do CPTU e do SPT, pode-se observar que são parecidos. Neste trabalho a diferença é que com a aplicação do agrupamento hierárquico têm-se resultados mais detalhados dos perfis geotécnicos analisados.

Quando os pontos são agrupados para formar *clusters*, às vezes acontece um ponto ser distante dos outros (mesmo comportamento geotécnico), ou seja, pertence ao *cluster*, mas não faz parte da camada, então é caracterizado como lente. Elas têm comportamento geotécnico diferente das camadas adjacentes.

Observa-se com os resultados do perfil da Figura 4.6 – b e Tab. 4.5, quatro *clusters* bem definidos que indicam distintas propriedades geotécnicas.

Foi denominada de misturas arenosas a camada de 11 a 14 metros, porque não apresenta estabilidade na composição do *cluster*, indicando uma composição errática de lentes com diferentes propriedades.

4.2 – OUTROS RESULTADOS

Foram executados ensaios SPT e CPTU para efeito de comparação em dois locais na região de Campos dos Goytacazes, R.J., como segue abaixo.

Local: UENF. Ensaio n° 2, 3, 4, 5 e 6 do apêndice 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente.

Local: Avenida Adão Pereira Nunes – Lapa – Campos, R.J. Ensaio n° 1 e 2 do apêndice 6 e 7.

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 – CONCLUSÕES

O método estatístico agrupamento hierárquico é proposto devido a grande quantidade de dados obtidos no piezocone, para que possam resultar numa identificação detalhada do perfil do solo.

O piezocone pode ser utilizado para perfilagem de alta resolução, na identificação de algumas características sedimentológicas e dos tipos de contagem, o que confirma a grande utilidade dos resultados dos ensaios paleoestratigráficos das seqüências quaternárias costeiras.

O resultado deste trabalho quando em comparação com o ensaio do piezocone convencional e o SPT possibilitam identificar os limites entre as camadas, lentes e transições.

A análise de similaridade constitui uma ferramenta útil para se reconhecer o perfil do solo com apurado detalhe devido a sua capacidade de mudanças detectoras que não pode ser descobertas por métodos visuais ou classificação em gráficos. Isto é particularmente importante ao lidar com o perfil do solo fortemente estratificado, onde a presença de lentes é decisiva para a análise quando envolve consolidação, percolação, etc.

Outra característica importante deste método reside na interação com o interpretador, este escolhendo um adequado número de cluster e/ou nível de similaridade ótimo para ser usado naquela análise em particular.

A técnica *single-link* de agrupamento é de extrema importância neste trabalho, porque agrupa parâmetros geotécnicos iguais e próximos entre si para formar uma camada ou cluster definido. Esta proximidade mencionada é

relacionado à profundidade de penetração e aos dados normalizados, o que não é possível por meio de métodos convencionais (gráficos).

5.2 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Um estudo comparativo de técnicas para auxiliar na escolha da “distância euclidiana” a ser analisada e na definição de camadas e lentes como: redes neurais, *fractais*, *fuzzy clusters*, *data mining*, e etc.

CAPÍTULO 6

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT MB – 3406 (1991) Solo Ensaio de Penetração de cone In Situ CPT, Método de ensaio, CB – 02, 10 p.

ANDEBERG, M.R. Cluster Analysis for applications. New York: Academic Press, 1973.

BALIGH, M.M.; Vivatrat, V.; Ladd, C.C., 1980. "Cone Penetration in Soil Profiling, Asce. Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol. 106, N°GT4, April, pp. 447-461.

BARENTSEN, P. 1936, "Short Description of a Field Testing Method With a Cone Shaped Apparatus, First International Conference on Soil Mechanics, Cambridge, Mass.", vol.1.

Begemann, H.K.S., 1963. The use of the static penetrometer in Holland. New Zealand Engineering, vol. 18, N° 2, p.41.

BEGEMANN, H. K., 1965."The Friction Jacket Cone as an Aid in Determining the Soil Profile, Proc. 6 th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. I, pp. 17- 20.

BRUZZI, D.; Battaglio, M., 1988., "Pore Pressure Measurements During Cone Penetration Test, Research Report, ISMES.

CAMPANELLA, R.G.; Gillespie, D; Robertson, P.K., 1992," Pore Pressure During Cone Penetration Testing, Proc. of Second European Symposium of Penetration Testing, ESOPT II, Amesterdam, May, pp. 507 – 512.

CAMPANELLA, R.G.; Robertson, P.K.; Gillespie, D. 1983, "Cone Penetration Testing in Delleaic Soils", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 20, N° 1, February, pp. 23 – 25.

DANZINGER, F.A.B., (1990) "Desenvolvimento de Equipamento para Ensaio de Piezocone: Aplicação em argilas Moles". Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.

DOUGLAS, B.J.; Olsen, R.S., 1981. Soil Classification using electric cone penetrometer. American Society of Civil Engineers, ASCE, Proceedings of Conferene on Cone Penetration Testing and Experience, St. Louis, October 26 – 30, pp. 209 – 227.

ESLAMI, A; Fellenius, B.H., 1996. Pile shaft capacity determined by piezocone (CPTu) data. Proceedings of 49 th Canadian Geotechnical Conference, September 21 – 25, st. John's, Newfoundland, Vol. 2, pp. 859-867. Everitt, B (1974). Cluster analysis, Halsted – Wiley, New York.

FELLENIUS, B. H., and Eslami, 2000. "Soil Profile Interpreted from CPTU data "Geotechnical Engineering Conference, Asian Institute of Technology.

GOMES C. A. – Prof. Associado c/ Agregação do IST e Correia, Jorge - O Ensaio CPTU na caracterização de Solos Moles the CPTU test in – www.global.estgp.Pt/engenharia/Alunos/eSeb em 02/03/06.

HEGAZY, Y.A.; Mayne, P.W.; Rouhani, S. 1997." Three dimensional geostatistical evaluation of seismic piezocone data." Proc., XIV TH Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Hamburg, Vol. 1, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 683 – 686.

HEGAZY, Y.A. (1998).” Delineating geostratigraphy by cluster analysis of piezocone data.” Phd thesis, School of Civil and Environmental Engineering Dept., Georgia Inst. Of Technology, Atlanta

HEGAZY, Y. A., and Mayne, P. W. 2002. “Objective Site Characterization Using Clustering of Piezocone Data” Journal of Geoenvironmental Engineering, Vol. 128. N° 12, 986-996.

SANTOS A. Jaime (IST) – 5 Ensaios de Campo. Ppt – www.civil.ist.pt/~jaime/
5 ME. Pdf em 14/06/06.

LUNNE, T., et al. 1986. “Laboratory and field evaluation of cone penetrometers. Use of in situ tests in geotechnical engineering, Blacks – burg.” (Proc., In Situ 86) Geotechnical Spec. Publ. N° 6, American Society of Civil Engineering, New York, 714 – 729.

LUNNE,T., Robertson, P. K. e Powell, J. J. M. (1997), 312 p., Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. Blackie Academic e Professional London.

MARAVALLE, M.: Simeone, B.: Naldini, R. Clustering on trees. Computational Statistics & Data Analysis, V. 24. n., P 217-234, 1997.

MEIGH, A.C.(1987) Cone Penetration Testing: methods and interpretation. London,CIRIA ground engineering report: in – situ testing, Butterworths, 141 p.

MILLIGAN.G.W. 1996. Clustering validation: Results and implications for applied analyses. Clusters and Classification, P. Arabie, L. J. Hubert, and G. De Soete, eds., World Scientific, N. J., 341 – 375.

NORUSIS, M. J. (1988). The SPSS guide to data analysis for SPSS. SPSS Inc., Chicago, 402

Programa StatisticaTM .

ROBERTSON, P.K. and Campanella, R.G., 1983. Interpretation of cone penetrometer test, Part I sand. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 20, N° 4, pp. 718 – 733.

ROBERTSON, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D.; Grieg, J. 1986. Use of piezometer Cone Data, proceedings of In Situ 86, ASCE Specialty Conference, Blacksburg, Virgínia.

ROBERTSON P.K. 1989 “Soil Classification using the CPT.” Lecture Notes, University of Alberta, Edmonton, Canada, p.1-26.

ROBERTSON, P.K., 1990. Soil Classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 27, N° 1, pp. 151 – 158.

ROCHA FILHO, P. 1979.” Behaviour in Cone Penetration Tests in Saturated Sands”, Tese de Doutorado, Imperial College, Universidade de Londres, Maio.

ROMESBURG, H.C. 1984. Cluster analysis for rearchers, Wadsworth – Lifetime Learning, Belmont, Calif.

SANGLERAT, G., Nhim, T.V., Sejourne, M.; Andina, R., 1974. Direct soil classification by static penetrometer with special friction sleeve. Proceedings of the First European Symposium on Penetration Testing, ESOPT -1, June 5 -7, Stockholm, Vol. 2.2, pp. 337 – 344.

SCHMERTMANN, J. H., 1978. Guidelines for cone test, performance and design. Federal Highway Administration, Report FHWA – TS - 78209, Washington, 145 p.

SCHNAID, F. 2002 livro “Ensaio de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações “, primeira edição, Editora de Textos, 43 – 90.

SENNESET, K., Janbu, N., Svano G. (1982), "Strength and deformation Parameters from Cone Penetration Tests", Proc. of the II European Symposium on Penetration Testing Amsterdam, Vol. II, pp. 863 -870.

SENNESET, K., Sandven, R.; Janbu, N., 1989. Evaluation of Soil Properties for Transportation Research Record, N°. 1235, Washington, D. C., pp. 24 – 37.

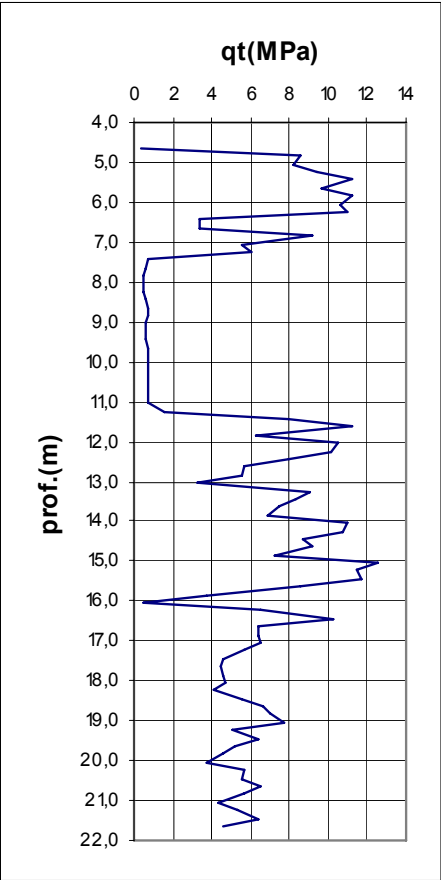
SIBSON, R. 1972." Order invariant methods for data analysis. "J. R. Stat. Soc., Ser. B. Methodol., 34, 311 – 349.

SMITS, F. P., (1982), "Penetration Pore Pressure Measured with Piezometer Cones". Proc. of the Second European Symposium on Penetration Testing, ESOPT II, Amsterdam. Vol.2, pp. 871 – 876.

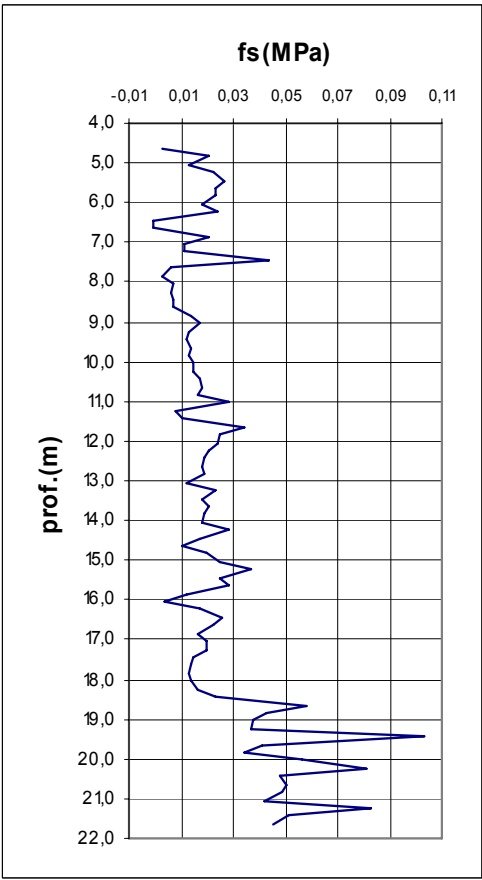
WROTH, C. P. (1984). "The interpretation of in situ soil test." 24 th Rankine Lecture, Geotechnique,

APÊNDICE 01

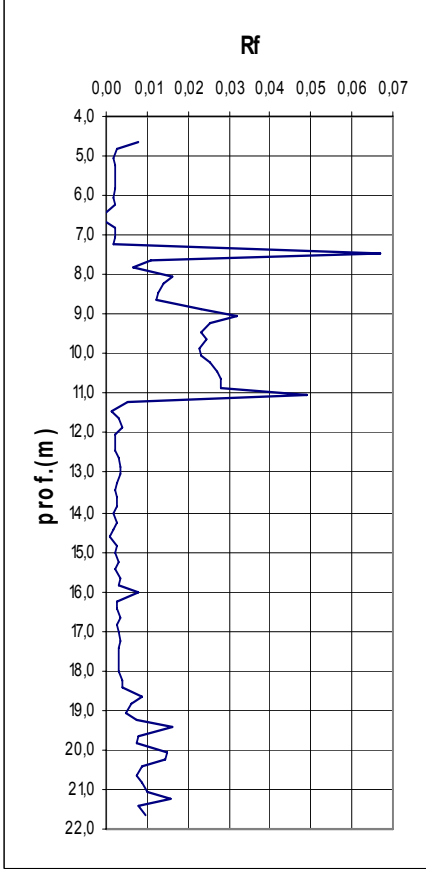
Ensaio 02 – CAMPUS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE



(a)



(b)



(c)

Figura A.1.1- (a), (b) e (c) - Resultados típicos do ensaio CPTU.

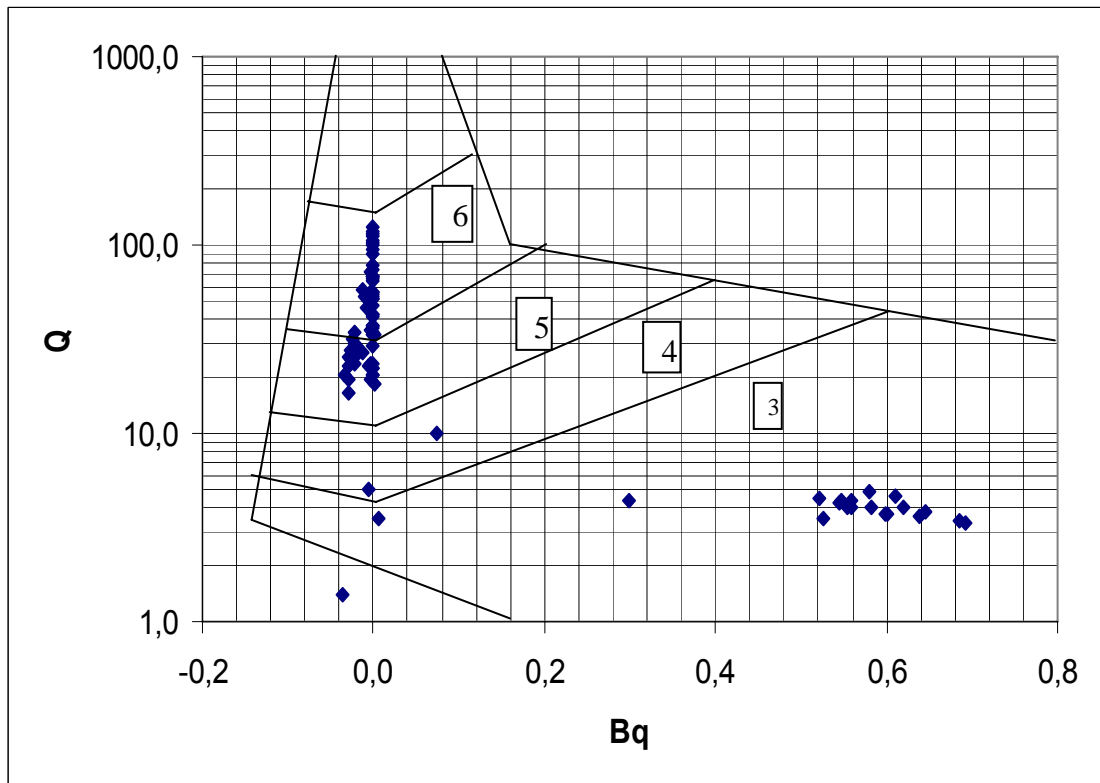


Figura A.1.2 - Gráfico contendo os resultados da razão de poro pressão (B_q) e da resistência normalizada do cone (Q), de acordo com a tabela A.1, adaptado de Robertson, 1990.

Os números referidos na Figura A.2 delimitam zonas de solo com comportamento diferenciado de acordo com a descrição que se apresenta na Tabela A.1.1.

Tabela A.1.1 -Resultado do diagrama – zona e tipo de comportamento do solo (Robertson, 1990).

Zona	Comportamento do solo	Parâmetros utilizados
3	Argilas a argilas siltosas	$Bq = \frac{(U - U_0)}{(qt - \sigma)}$
4	Misturas siltosas	$Q = \frac{(qt - \sigma)}{\sigma'v}$
5	Misturas arenosas	
6	Areia siltosa a areia limpa	

O perfil das camadas do solo (Figura A.1.3- b), foi resultante da análise do gráfico U_0 e U (Figura A.1.3 - a) correlacionado com o diagrama de Robertson, 1990 (Figura A.1.2).

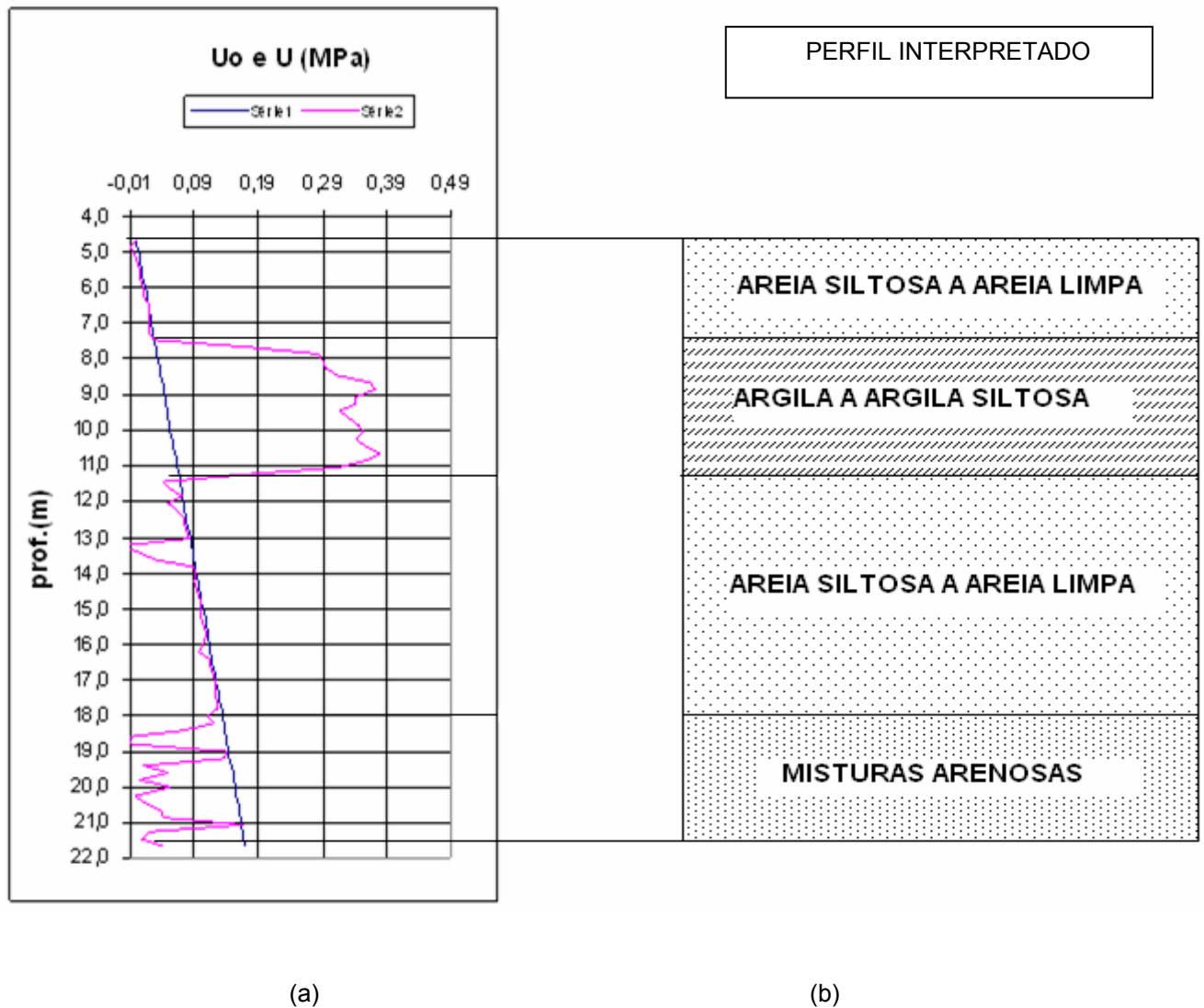


Figura A.1.3 (a) e (b) - Resultado do ensaio de piezocone e perfil estratigráfico.

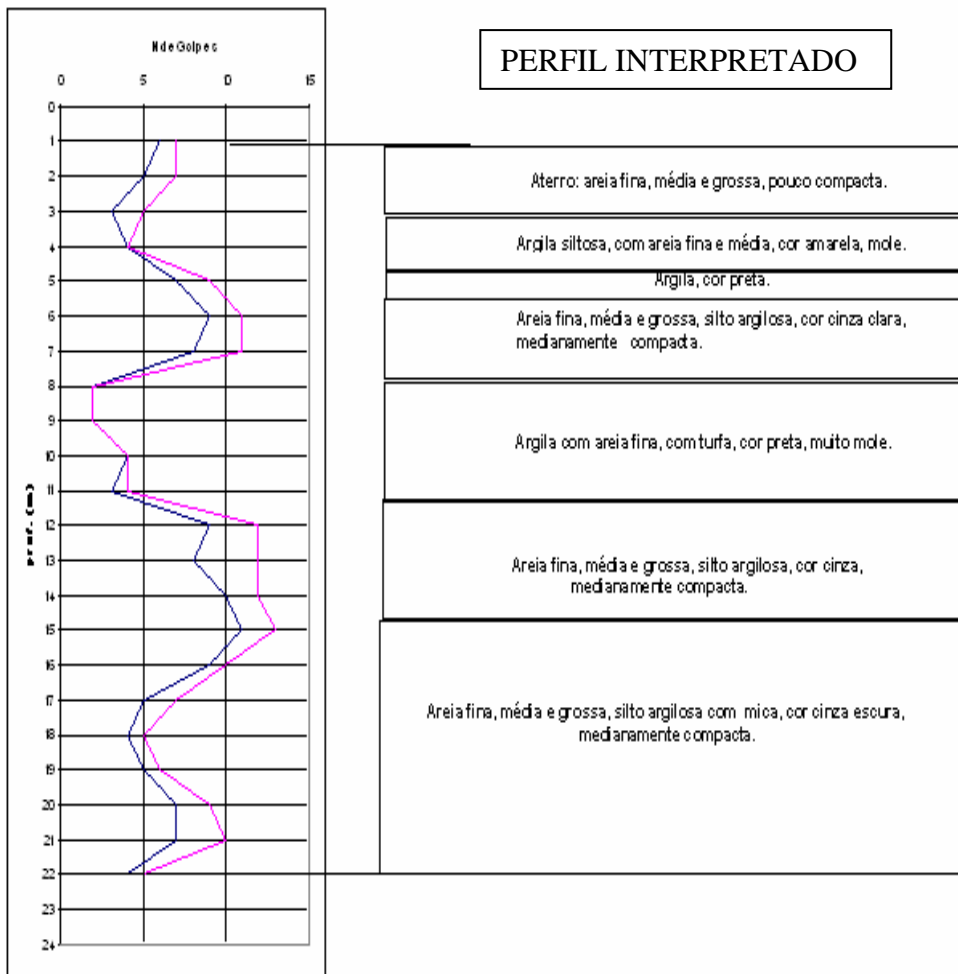
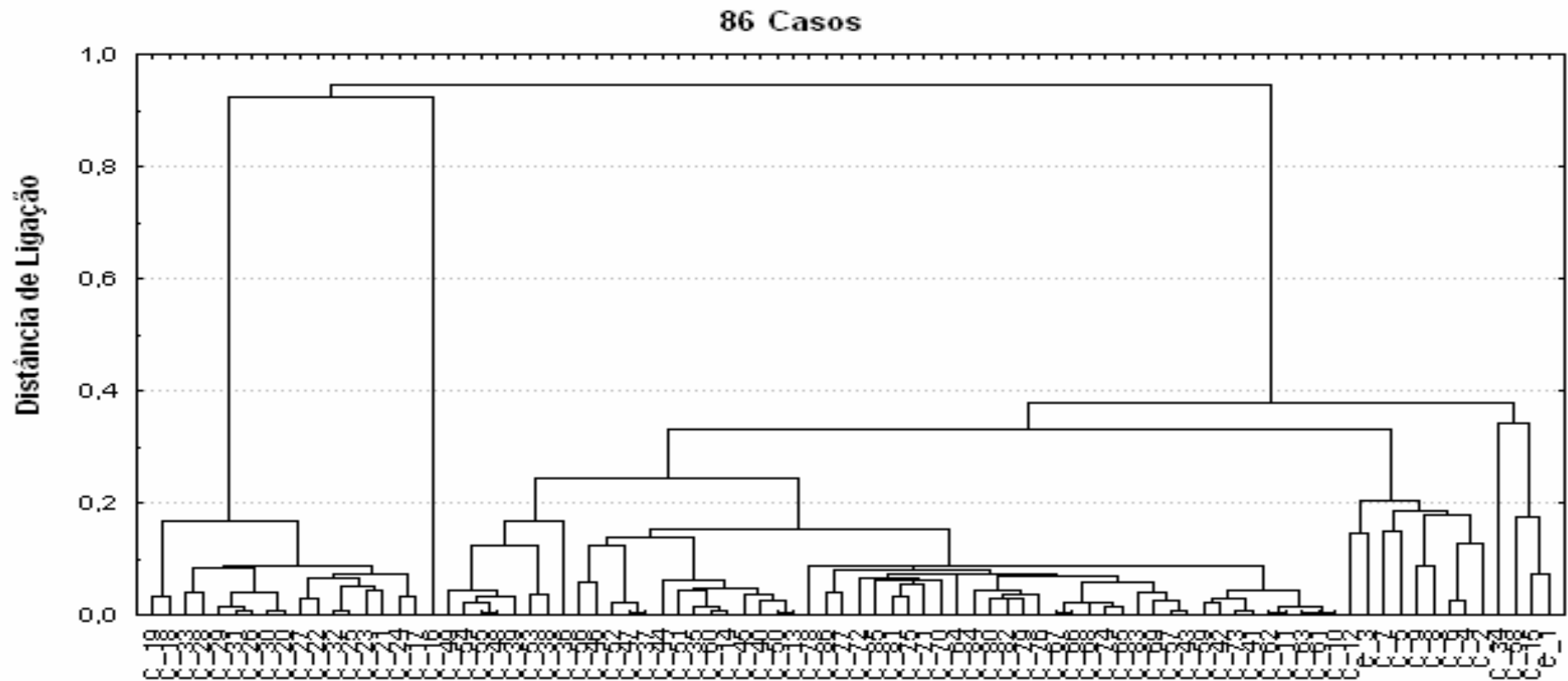
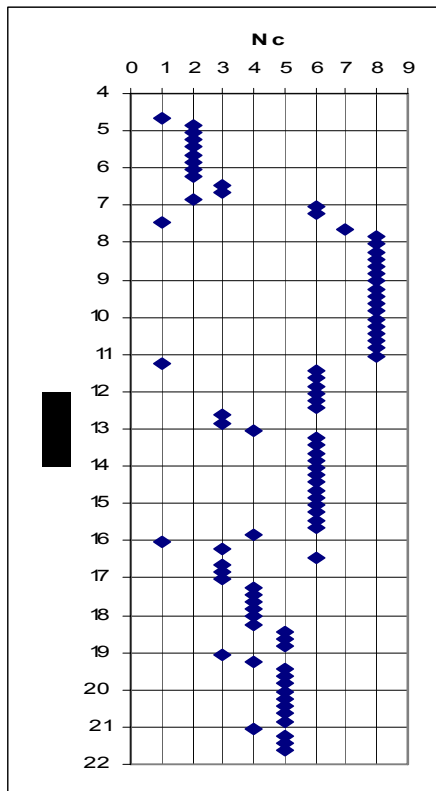


Figura A.1.4- (a) e (b) - Resultado do ensaio SPT e Perfil Interpretado.



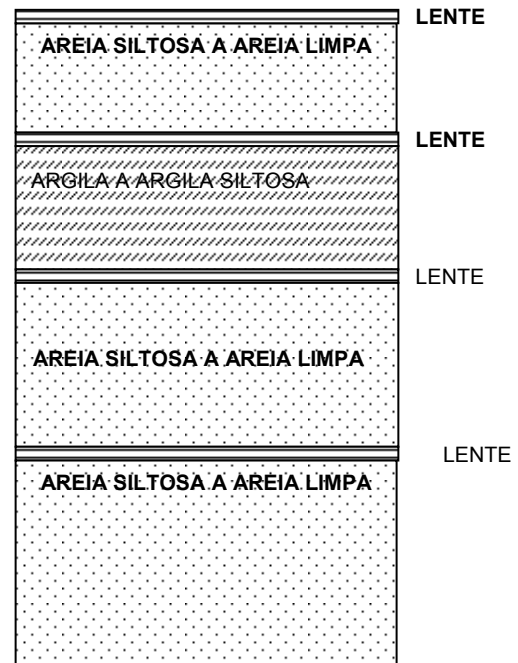
Distância de Ligação = 0,20.

Figura A.1.5 – Dendrograma de agrupamento, utilizando o método de ligação simples e Distância Euclidiana.



(a)

PERFIL DO SOLO



(b)

Figura A.1.6 - (a) e (b) – Exemplo dos resultados da análise.

Tabela A.1.2 – Resultado dos dados do piezocone com intervalo de 20 cm.

Prof. (m)	Prof.(m)	Qc(Mpa)	Fs(KPa)	Fs(Mpa)	U(Kpa)	U(Mpa)	qt(Mpa)	Rf	Uo(Kpa)	Uo(Mpa)	$\sigma'v$ (Mpa)	σv (Mpa)	Bq	Q	Znorm Bq	Znorm Q	Pontos
4,64	0,00	0,374	3	0,003	2	0,002	0,375	0,008	0	0	0,084	0,084	0,007	3,486	-0,452	-1,074	1
4,84	0,20	8,620	21	0,021	-9	-0,009	8,617	0,002	2	0,002	0,085	0,087	-0,001	100,211	-0,486	1,988	2
5,04	0,40	8,228	13	0,013	-4	-0,004	8,227	0,002	4	0,004	0,087	0,091	-0,001	93,819	-0,485	1,786	3
5,24	0,60	9,368	22	0,022	1	0,001	9,368	0,002	6	0,006	0,088	0,094	-0,001	105,005	-0,483	2,140	4
5,44	0,80	11,238	27	0,027	6	0,006	11,240	0,002	8	0,008	0,090	0,098	0,000	123,911	-0,481	2,739	5
5,64	1,00	9,635	23	0,023	4	0,004	9,636	0,002	10	0,01	0,092	0,102	-0,001	104,183	-0,483	2,114	6
5,84	1,20	11,203	23	0,023	9	0,009	11,206	0,002	12	0,012	0,093	0,105	0,000	119,210	-0,482	2,590	7
6,04	1,40	10,579	18	0,018	11	0,011	10,583	0,002	14	0,014	0,095	0,109	0,000	110,577	-0,482	2,317	8
6,24	1,60	11,025	24	0,024	12	0,012	11,029	0,002	16	0,016	0,096	0,112	0,000	113,337	-0,482	2,404	9
6,44	1,80	3,420	-1	-0,001	19	0,019	3,426	0,000	18	0,018	0,098	0,116	0,000	33,806	-0,479	-0,114	10
6,64	2,00	3,420	-1	-0,001	19	0,019	3,426	0,000	20	0,02	0,100	0,120	0,000	33,226	-0,482	-0,132	11
6,84	2,20	9,137	21	0,021	18	0,018	9,143	0,002	22	0,022	0,101	0,123	0,000	89,198	-0,482	1,640	12
7,04	2,40	5,503	11	0,011	18	0,018	5,509	0,002	24	0,024	0,103	0,127	-0,001	52,396	-0,485	0,474	13
7,24	2,60	6,002	11	0,011	21	0,021	6,009	0,002	26	0,026	0,104	0,130	-0,001	56,351	-0,484	0,600	14
7,44	2,80	0,659	44	0,044	25	0,025	0,667	0,067	28	0,028	0,106	0,134	-0,006	5,034	-0,504	-1,025	15
7,64	3,00	0,552	6	0,006	170	0,170	0,607	0,011	30	0,03	0,108	0,138	0,298	4,370	0,754	-1,046	16
7,84	3,20	0,445	3	0,003	285	0,285	0,538	0,007	32	0,032	0,109	0,141	0,638	3,636	2,162	-1,069	17
8,04	3,40	0,427	7	0,007	293	0,293	0,523	0,016	34	0,034	0,111	0,145	0,686	3,412	2,360	-1,076	18
8,24	3,60	0,427	6	0,006	296	0,296	0,523	0,014	36	0,036	0,112	0,148	0,693	3,340	2,391	-1,079	19
8,44	3,80	0,552	7	0,007	312	0,312	0,654	0,013	38	0,038	0,114	0,152	0,546	4,405	1,782	-1,045	20
8,64	4,00	0,570	7	0,007	366	0,366	0,689	0,012	40	0,04	0,116	0,156	0,611	4,621	2,050	-1,038	21
8,84	4,20	0,606	14	0,014	371	0,371	0,727	0,023	42	0,042	0,117	0,159	0,579	4,848	1,920	-1,031	22
9,04	4,40	0,534	17	0,017	344	0,344	0,646	0,032	44	0,044	0,119	0,163	0,621	4,072	2,091	-1,056	23
9,24	4,60	0,516	13	0,013	344	0,344	0,628	0,025	46	0,046	0,120	0,166	0,645	3,838	2,193	-1,063	24
9,44	4,80	0,516	12	0,012	318	0,318	0,620	0,023	48	0,048	0,122	0,170	0,600	3,689	2,007	-1,068	25
9,64	5,00	0,570	14	0,014	332	0,332	0,678	0,025	50	0,05	0,124	0,174	0,559	4,086	1,835	-1,055	26
9,84	5,20	0,570	13	0,013	347	0,347	0,683	0,023	52	0,052	0,125	0,177	0,583	4,044	1,935	-1,056	27

10,04	5,40	0,641	15	0,015	354	0,354	0,756	0,023	54	0,054	0,127	0,181	0,521	4,543	1,679	-1,041	28
10,24	5,60	0,588	15	0,015	342	0,342	0,699	0,026	56	0,056	0,128	0,184	0,555	4,015	1,820	-1,057	29
10,44	5,80	0,623	17	0,017	359	0,359	0,740	0,027	58	0,058	0,130	0,188	0,545	4,250	1,779	-1,050	30
10,64	6,00	0,641	18	0,018	380	0,380	0,765	0,028	60	0,06	0,132	0,192	0,558	4,359	1,832	-1,046	31
10,84	6,20	0,570	16	0,016	356	0,356	0,686	0,028	62	0,062	0,133	0,195	0,599	3,688	2,001	-1,068	32
11,04	6,40	0,570	28	0,028	313	0,313	0,672	0,049	64	0,064	0,135	0,199	0,526	3,513	1,699	-1,073	33
11,24	6,60	1,496	8	0,008	165	0,165	1,550	0,005	66	0,066	0,136	0,202	0,073	9,885	-0,176	-0,872	34
11,44	6,80	7,908	10	0,01	42	0,042	7,922	0,001	68	0,068	0,138	0,206	-0,003	55,944	-0,495	0,587	35
11,64	7,00	11,185	34	0,034	54	0,054	11,203	0,003	70	0,07	0,140	0,210	-0,001	78,792	-0,487	1,310	36
11,84	7,20	6,216	25	0,025	70	0,070	6,239	0,004	72	0,072	0,141	0,213	0,000	42,699	-0,482	0,167	37
12,04	7,40	10,526	24	0,024	48	0,048	10,542	0,002	74	0,074	0,143	0,217	-0,003	72,344	-0,491	1,106	38
12,24	7,60	10,081	21	0,021	63	0,063	10,102	0,002	76	0,076	0,144	0,220	-0,001	68,467	-0,486	0,983	39
12,44	7,80	7,961	19	0,019	73	0,073	7,985	0,002	78	0,078	0,146	0,224	-0,001	53,186	-0,483	0,499	40
12,64	8,00	5,681	18	0,018	75	0,075	5,705	0,003	80	0,08	0,148	0,228	-0,001	37,133	-0,484	-0,009	41
12,84	8,20	5,575	19	0,019	80	0,080	5,601	0,003	82	0,082	0,149	0,231	0,000	36,011	-0,482	-0,044	42
13,04	8,40	3,277	12	0,012	81	0,081	3,303	0,004	84	0,084	0,151	0,235	-0,001	20,360	-0,485	-0,540	43
13,24	8,60	9,030	23	0,023	-20	-0,020	9,023	0,003	86	0,086	0,152	0,238	-0,012	57,676	-0,531	0,642	44
13,44	8,80	8,335	18	0,018	6	0,006	8,337	0,002	88	0,088	0,154	0,242	-0,010	52,592	-0,523	0,481	45
13,64	9,00	7,462	21	0,021	29	0,029	7,471	0,003	90	0,09	0,156	0,246	-0,008	46,463	-0,516	0,287	46
13,84	9,20	6,910	19	0,019	90	0,090	6,939	0,003	92	0,092	0,157	0,249	0,000	42,580	-0,482	0,164	47
14,04	9,40	10,935	18	0,018	92	0,092	10,965	0,002	94	0,094	0,159	0,253	0,000	67,492	-0,481	0,952	48
14,24	9,60	10,686	28	0,028	91	0,091	10,716	0,003	96	0,096	0,160	0,256	0,000	65,240	-0,483	0,881	49
14,44	9,80	8,709	17	0,017	94	0,094	8,740	0,002	98	0,098	0,162	0,260	0,000	52,370	-0,483	0,474	50
14,64	10,00	9,172	10	0,01	97	0,097	9,204	0,001	100	0,1	0,164	0,264	0,000	54,673	-0,482	0,547	51
14,84	10,20	7,160	20	0,02	101	0,101	7,193	0,003	102	0,102	0,165	0,267	0,000	41,944	-0,481	0,144	52
15,04	10,40	12,485	25	0,025	101	0,101	12,518	0,002	104	0,104	0,167	0,271	0,000	73,460	-0,482	1,141	53
15,24	10,60	11,452	37	0,037	99	0,099	11,484	0,003	106	0,106	0,168	0,274	-0,001	66,599	-0,483	0,924	54
15,44	10,80	11,684	25	0,025	104	0,104	11,718	0,002	108	0,108	0,170	0,278	0,000	67,326	-0,482	0,947	55
15,64	11,00	8,478	28	0,028	107	0,107	8,513	0,003	110	0,11	0,172	0,282	0,000	47,991	-0,482	0,335	56
15,84	11,20	3,740	12	0,012	108	0,108	3,775	0,003	112	0,112	0,173	0,285	-0,001	20,160	-0,485	-0,546	57
16,04	11,40	0,499	4	0,004	105	0,105	0,533	0,008	114	0,114	0,175	0,289	-0,037	1,399	-0,633	-1,140	58
16,24	11,60	6,501	17	0,017	98	0,098	6,533	0,003	116	0,116	0,176	0,292	-0,003	35,394	-0,493	-0,064	59

16,44	11,80	10,241	26	0,026	115	0,115	10,278	0,003	118	0,118	0,178	0,296	0,000	56,107	-0,482	0,592	60
16,64	12,00	6,376	22	0,022	115	0,115	6,413	0,003	120	0,12	0,180	0,300	-0,001	34,057	-0,484	-0,106	61
16,84	12,20	6,305	16	0,016	119	0,119	6,344	0,003	122	0,122	0,181	0,303	0,000	33,352	-0,483	-0,129	62
17,04	12,40	6,465	20	0,02	121	0,121	6,504	0,003	124	0,124	0,183	0,307	0,000	33,919	-0,483	-0,111	63
17,24	12,60	5,575	20	0,02	123	0,123	5,615	0,004	126	0,126	0,184	0,310	-0,001	28,780	-0,483	-0,273	64
17,44	12,80	4,595	15	0,015	124	0,124	4,635	0,003	128	0,128	0,186	0,314	-0,001	23,244	-0,484	-0,449	65
17,64	13,00	4,435	14	0,014	126	0,126	4,476	0,003	130	0,13	0,188	0,318	-0,001	22,177	-0,485	-0,482	66
17,84	13,20	4,488	13	0,013	127	0,127	4,529	0,003	132	0,132	0,189	0,321	-0,001	22,252	-0,486	-0,480	67
18,04	13,40	4,631	14	0,014	111	0,111	4,667	0,003	134	0,134	0,191	0,325	-0,005	22,769	-0,503	-0,464	68
18,24	13,60	4,025	16	0,016	123	0,123	4,065	0,004	136	0,136	0,192	0,328	-0,003	19,430	-0,495	-0,569	69
18,44	13,80	5,557	23	0,023	75	0,075	5,581	0,004	138	0,138	0,194	0,332	-0,012	27,071	-0,530	-0,327	70
18,64	14,00	6,590	58	0,058	-13	-0,013	6,586	0,009	140	0,14	0,196	0,336	-0,024	31,967	-0,582	-0,172	71
18,84	14,20	7,035	43	0,043	-5	-0,005	7,033	0,006	142	0,142	0,197	0,339	-0,022	33,960	-0,572	-0,109	72
19,04	14,40	7,641	38	0,038	140	0,140	7,687	0,005	144	0,144	0,199	0,343	-0,001	36,956	-0,483	-0,014	73
19,24	14,60	5,040	37	0,037	136	0,136	5,084	0,007	146	0,146	0,200	0,346	-0,002	23,652	-0,489	-0,436	74
19,44	14,80	6,447	103	0,103	11	0,011	6,451	0,016	148	0,148	0,202	0,350	-0,022	30,213	-0,574	-0,228	75
19,64	15,00	5,129	41	0,041	49	0,049	5,145	0,008	150	0,15	0,204	0,354	-0,021	23,543	-0,568	-0,439	76
19,84	15,20	4,542	34	0,034	6	0,006	4,544	0,007	152	0,152	0,205	0,357	-0,035	20,412	-0,625	-0,538	77
20,04	15,40	3,776	56	0,056	52	0,052	3,793	0,015	154	0,154	0,207	0,361	-0,030	16,603	-0,604	-0,659	78
20,24	15,60	5,646	81	0,081	-1	-0,001	5,646	0,014	156	0,156	0,208	0,364	-0,030	25,352	-0,604	-0,382	79
20,44	15,80	5,486	48	0,048	17	0,017	5,492	0,009	158	0,158	0,210	0,368	-0,028	24,407	-0,595	-0,412	80
20,64	16,00	6,554	50	0,05	37	0,037	6,566	0,008	160	0,16	0,212	0,372	-0,020	29,286	-0,563	-0,257	81
20,84	16,20	5,717	49	0,049	40	0,040	5,730	0,009	162	0,162	0,213	0,375	-0,023	25,126	-0,575	-0,389	82
21,04	16,40	4,239	42	0,042	165	0,165	4,293	0,010	164	0,164	0,215	0,379	0,000	18,229	-0,480	-0,607	83
21,24	16,60	5,307	83	0,083	19	0,019	5,313	0,016	166	0,166	0,216	0,382	-0,030	22,794	-0,604	-0,463	84
21,44	16,80	6,394	51	0,051	9	0,009	6,397	0,008	168	0,168	0,218	0,386	-0,026	27,584	-0,590	-0,311	85
21,64	17,00	4,631	45	0,045	43	0,043	4,645	0,010	170	0,17	0,220	0,390	-0,030	19,385	-0,604	-0,571	86

Tabela A.1.3 – Resultado final da análise.

PONTOS	Prof.(m)	N° de Cluster						Comportamento do Solo	Nc
		1	2	3	4	5	6		
1	4,64	x						LENTE	1
2	4,84		x					AREIA SILTOSA A AREIA LIMPA	2
3	5,04		x						2
4	5,24		x						2
5	5,44		x						2
6	5,64		x						2
7	5,84		x						2
8	6,04		x						2
9	6,24		x						2
10	6,44			x					3
11	6,64			x					3
12	6,84		x						2
13	7,04			x					3
14	7,24			x					3
15	7,44	x							LENTE
16	7,64					x		ARGILA A ARGILA SILTOSA	5
17	7,84						x		6
18	8,04						x		6
19	8,24						x		6
20	8,44						x		6
21	8,64						x		6
22	8,84						x		6
23	9,04						x		6
24	9,24						x		6
25	9,44						x		6
26	9,64						x		6
27	9,84						x		6
28	10,04						x		6
29	10,24						x		6
30	10,44						x	6	
31	10,64						x	6	
32	10,84						x	6	
33	11,04						x	6	
34	11,24	x						LENTE	1
35	11,44			x				AREIA SILTOSA A AREIA LIMPA	3
36	11,64			x					3
37	11,84			x					3
38	12,04				x				4
39	12,24				x				4
40	12,44			x					3
41	12,64			x					3
42	12,84			x					3
43	13,04			x					4
44	13,24			x					3
45	13,44			x					3
46	13,64			x					3
47	13,84			x					3
48	14,04				x				4

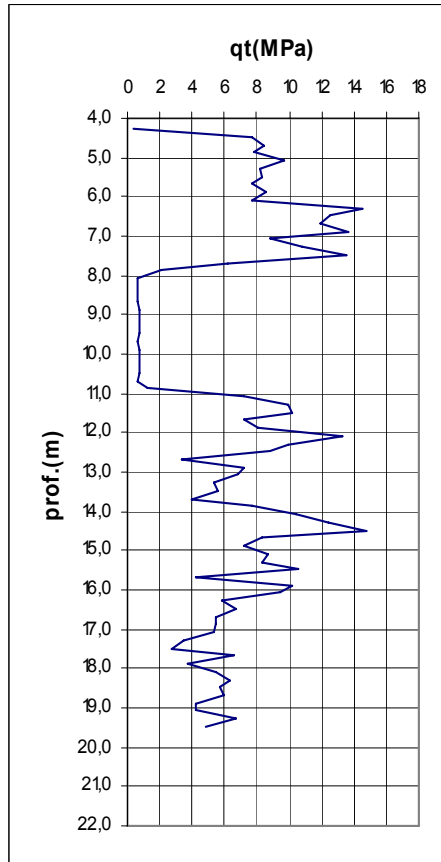
49	14,24			x							4
50	14,44			x							3
51	14,64			x							3
52	14,84			x							3
53	15,04				x						4
54	15,24				x						4
55	15,44				x						4
56	15,64				x						4
57	15,84			x							3
58	16,04	x									1
59	16,24			x							3
60	16,44				x						4
61	16,64			x							3
62	16,84			x							3
63	17,04			x							3
64	17,24			X							3
65	17,44			X							3
66	17,64			X							3
67	17,84			X							3
68	18,04			X							3
69	18,24			X							3
70	18,44			X							3
71	18,64			X							3
72	18,84			X							3
73	19,04			X							3
74	19,24			X							3
75	19,44			X							3
76	19,64			X							3
77	19,84			X							3
78	20,04			X							3
79	20,24			X							3
80	20,44			X							3
81	20,64			X							3
82	20,84			X							3
83	21,04			X							3
84	21,24			X							3
85	21,44			X							3
86	21,64			X							3

LENTE

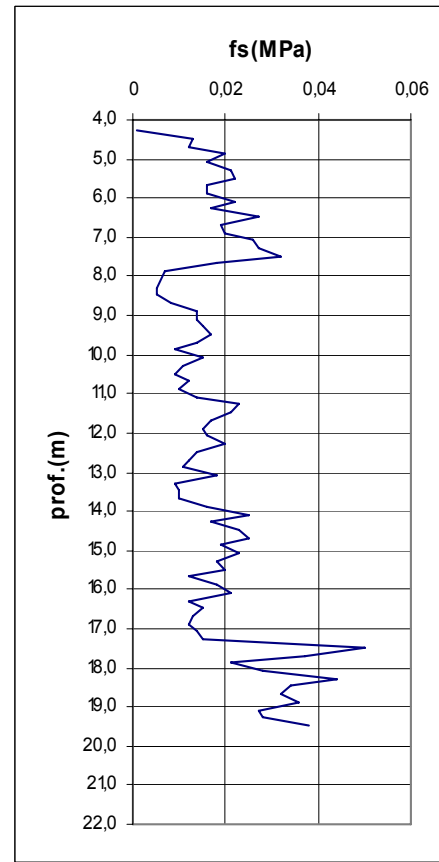
AREIA SILTOSA
A AREIA LIMPA

APÊNDICE 02

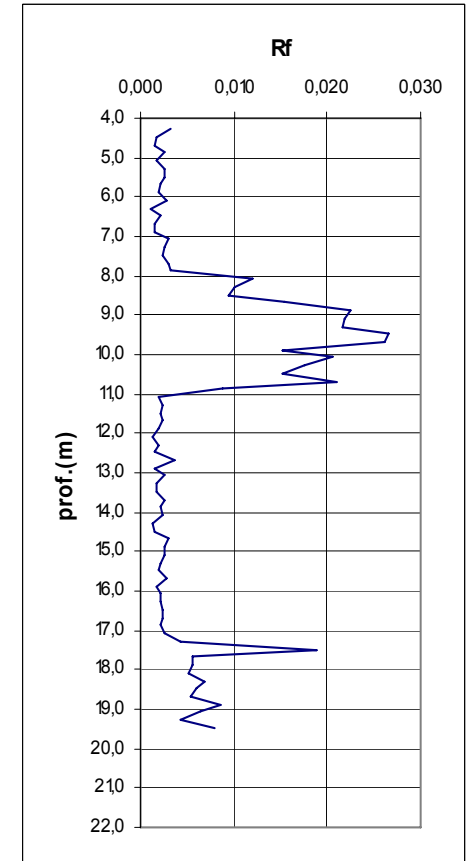
Ensaio 03 – CAMPUS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE.



(a)



(b)



(c)

Figura A.2.1 - (a), (b) e (c): Resultados típicos do ensaio CPTU.

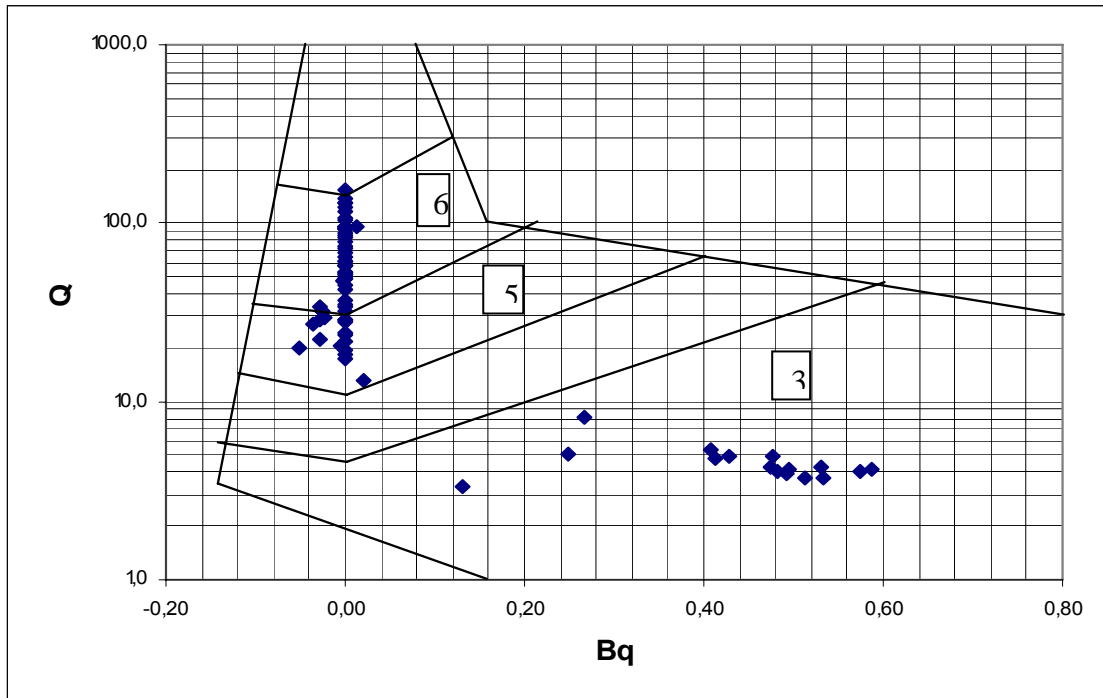


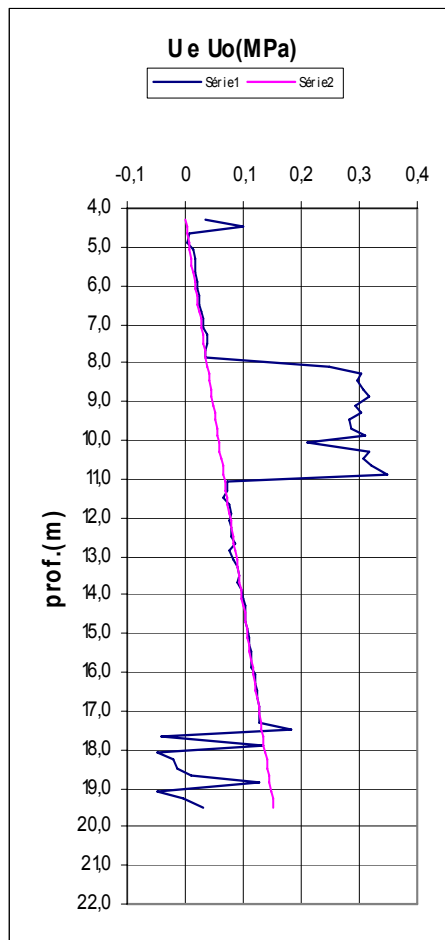
Figura A.2.2 - Gráfico contendo os resultados da razão de poro pressão (B_q) e da resistência normalizada do cone (Q), de acordo com a tabela A.1, adaptado de Robertson, 1990.

Os números referidos na Figura A.2.2 delimitam zonas de solo com comportamento diferenciado de acordo com a descrição que se apresenta na Tabela A.2.1.

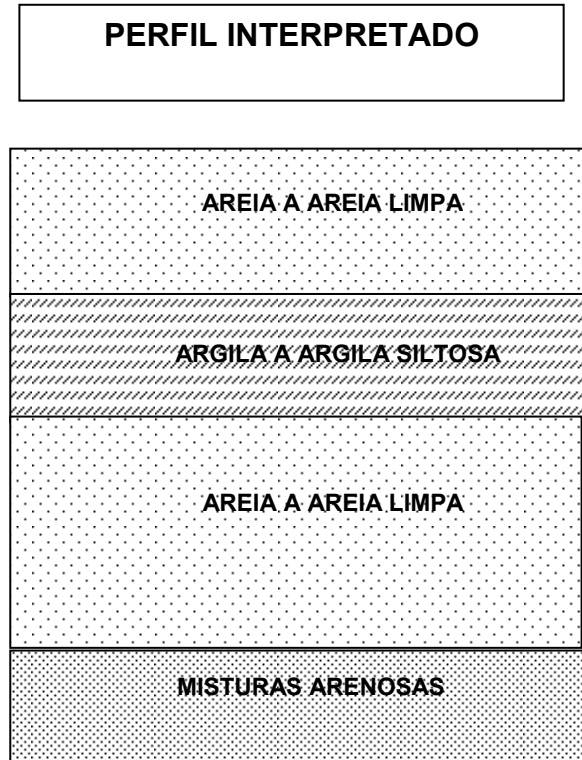
Tabela A.2.1 -Resultado do diagrama – zona e tipo de comportamento do solo (Robertson, 1990).

Zona	Comportamento do solo	Parâmetros utilizados
3	Argilas a argilas siltosas	$B_q = \frac{(U - U_o)}{(qt - \sigma)}$
5	Misturas arenosas	$Q = \frac{(qt - \sigma)}{\sigma'v}$
6	Areia siltosa a areia limpa	

O perfil das camadas do solo (Figura A.2.3- b) foi resultante da análise do gráfico U_o e U (Figura A.2.3 - a) correlacionado com o diagrama de Robertson, 1990 (Figura A.2.2).

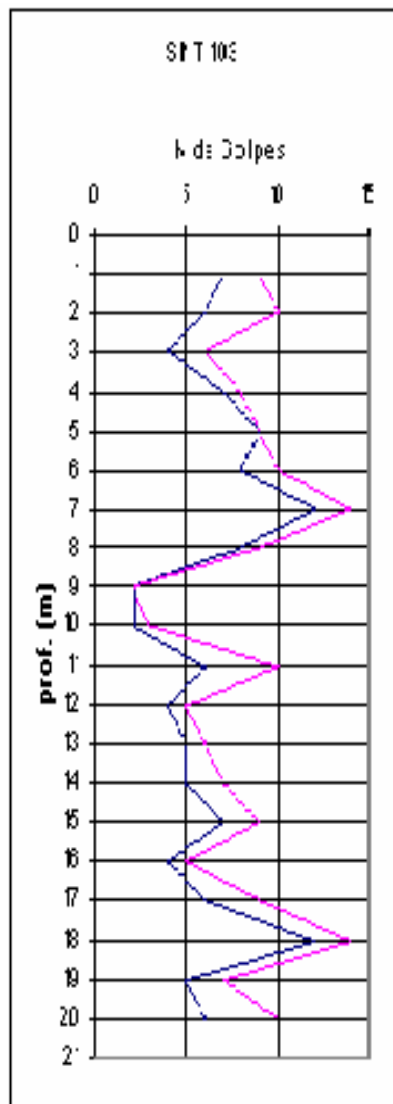


(a)



(b)

Figura A.2.3 (a) e (b) - Resultado do ensaio de piezocone e perfil estratigráfico.



(a)

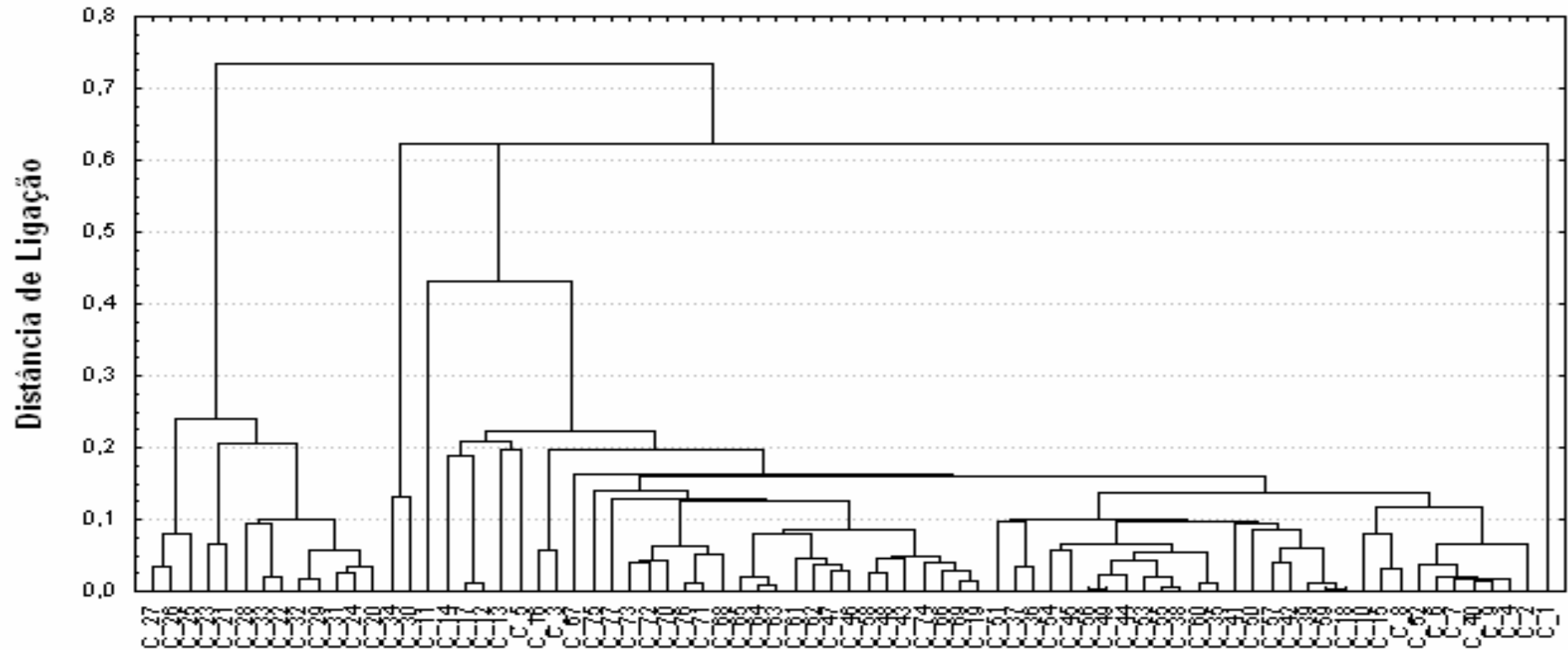
PERFIL INTERPRETADO

Aterro: areia fina, média e grossa, cor amarela medianamente compacta.
Argila siltosa, com areia fina, média e grossa, cor amarela, média.
Areia fina, média e grossa, silto argilosa cor cinza pouco compacta.
Argila com turfa, cor preta muito mole.
Areia fina, média e grossa, silto argilosa, cor cinza escura, medianamente compacta.
Areia fina e média, silto argilosa, cor cinza escura, medianamente compacta

(b)

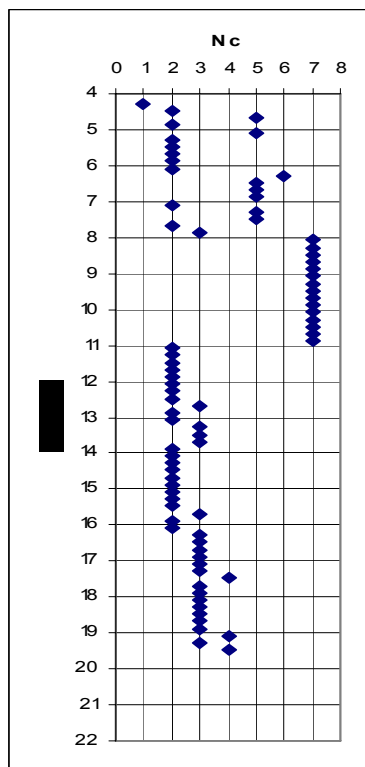
Figura A.2.4- (a) e (b) - Resultado do ensaio SPT e classificação.

77 Casos

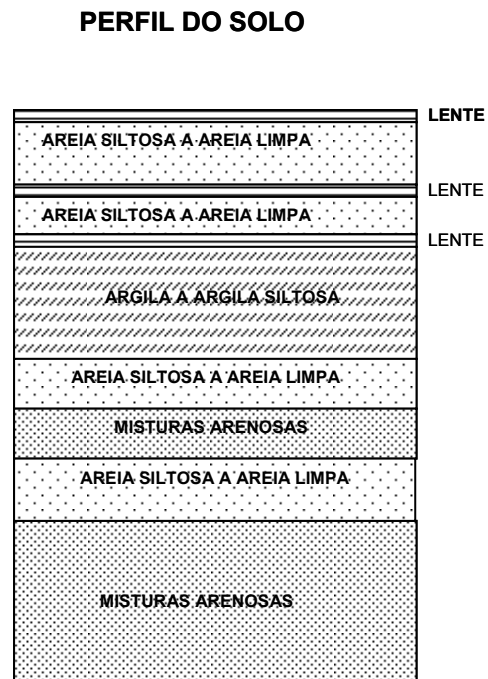


Distância de Ligação = 0,25.

Figura A.2.5 – Dendrograma de agrupamento, utilizando o método de ligação simples e Distância Euclidiana.



(a)



(b)

Figura A.2.6 - (a) e (b) – Exemplo dos resultados da análise.

Tabela A.2.2 – Resultado dos dados do piezocone com intervalo de 20 cm.

Prof. (m)	Prof. (m)	Qc(Mpa)	Fs(Kpa)	Fs(Mpa)	Rf	U(kPa)	U(Mpa)	qt(Mpa)	Uo(Kpa)	Uo(Mpa)	$\sigma'v$ (Mpa)	σv (Mpa)	Bq	Q	Zscore Bq	Zscore Q	Pontos
4,28	0,00	0,321	1	0,001	0,003	33	0,033	0,332	0	0	0,077	0,077	0,130	3,306	0,214	-1,168	1
4,48	0,20	7,641	13	0,013	0,002	100	0,1	7,674	2	0,002	0,079	0,081	0,013	96,553	-0,400	1,235	2
4,68	0,40	8,406	12	0,012	0,001	6	0,006	8,408	4	0,004	0,080	0,084	0,000	103,735	-0,466	1,421	3
4,88	0,60	7,819	20	0,02	0,003	4	0,004	7,820	6	0,006	0,082	0,088	0,000	94,483	-0,469	1,182	4
5,08	0,80	9,653	16	0,016	0,002	13	0,013	9,657	8	0,008	0,083	0,091	0,001	114,643	-0,465	1,702	5
5,28	1,00	8,246	21	0,021	0,003	17	0,017	8,252	10	0,01	0,085	0,095	0,001	95,914	-0,463	1,219	6
5,48	1,20	8,335	22	0,022	0,003	18	0,018	8,341	12	0,012	0,087	0,099	0,001	95,132	-0,464	1,199	7
5,68	1,40	7,694	16	0,016	0,002	18	0,018	7,700	14	0,014	0,088	0,102	0,001	86,102	-0,465	0,966	8
5,88	1,60	8,531	16	0,016	0,002	20	0,02	8,538	16	0,016	0,090	0,106	0,000	93,852	-0,465	1,166	9
6,08	1,80	7,694	22	0,022	0,003	21	0,021	7,701	18	0,018	0,091	0,109	0,000	83,021	-0,465	0,887	10
6,28	2,00	14,515	17	0,017	0,001	25	0,025	14,523	20	0,02	0,093	0,113	0,000	154,881	-0,466	2,739	11
6,48	2,20	12,485	27	0,027	0,002	25	0,025	12,493	22	0,022	0,095	0,117	0,000	130,775	-0,466	2,117	12
6,68	2,40	11,879	19	0,019	0,002	29	0,029	11,888	24	0,024	0,096	0,120	0,000	122,280	-0,465	1,899	13
6,88	2,60	13,625	20	0,02	0,001	30	0,03	13,635	26	0,026	0,098	0,124	0,000	138,092	-0,466	2,306	14
7,08	2,80	8,798	26	0,026	0,003	32	0,032	8,808	28	0,028	0,099	0,127	0,000	87,299	-0,465	0,997	15
7,28	3,00	10,829	27	0,027	0,002	37	0,037	10,841	30	0,03	0,101	0,131	0,001	105,998	-0,464	1,479	16
7,48	3,20	13,500	32	0,032	0,002	39	0,039	13,513	32	0,032	0,103	0,135	0,001	130,340	-0,465	2,106	17
7,68	3,40	6,162	18	0,018	0,003	35	0,035	6,173	34	0,034	0,104	0,138	0,000	57,897	-0,467	0,239	18
7,88	3,60	2,155	7	0,007	0,003	36	0,036	2,167	36	0,036	0,106	0,142	0,000	19,132	-0,468	-0,760	19
8,08	3,80	0,499	6	0,006	0,012	247	0,247	0,580	38	0,038	0,107	0,145	0,481	4,040	2,066	-1,149	20
8,28	4,00	0,499	5	0,005	0,010	303	0,303	0,598	40	0,04	0,109	0,149	0,586	4,115	2,617	-1,147	21
8,48	4,20	0,534	5	0,005	0,009	296	0,296	0,630	42	0,042	0,111	0,153	0,532	4,319	2,330	-1,142	22
8,68	4,40	0,516	8	0,008	0,016	308	0,308	0,616	44	0,044	0,112	0,156	0,574	4,100	2,552	-1,147	23
8,88	4,60	0,623	14	0,014	0,022	316	0,316	0,726	46	0,046	0,114	0,160	0,477	4,973	2,042	-1,125	24
9,08	4,80	0,641	14	0,014	0,022	293	0,293	0,737	48	0,048	0,115	0,163	0,428	4,964	1,782	-1,125	25
9,28	5,00	0,695	15	0,015	0,022	305	0,305	0,794	50	0,05	0,117	0,167	0,406	5,360	1,671	-1,115	26

9,48	5,20	0,641	17	0,017	0,027	284	0,284	0,734	52	0,052	0,119	0,171	0,412	4,745	1,701	-1,131	27
9,68	5,40	0,534	14	0,014	0,026	287	0,287	0,628	54	0,054	0,120	0,174	0,514	3,770	2,237	-1,156	28
9,88	5,60	0,588	9	0,009	0,015	309	0,309	0,689	56	0,056	0,122	0,178	0,495	4,193	2,139	-1,145	29
10,08	5,80	0,730	15	0,015	0,021	211	0,211	0,799	58	0,058	0,123	0,181	0,248	5,001	0,837	-1,124	30
10,28	6,00	0,623	11	0,011	0,018	316	0,316	0,726	60	0,06	0,125	0,185	0,473	4,326	2,023	-1,141	31
10,48	6,20	0,588	9	0,009	0,015	308	0,308	0,688	62	0,062	0,127	0,189	0,492	3,946	2,123	-1,151	32
10,68	6,40	0,570	12	0,012	0,021	322	0,322	0,675	64	0,064	0,128	0,192	0,534	3,764	2,345	-1,156	33
10,88	6,60	1,140	10	0,01	0,009	349	0,349	1,254	66	0,066	0,130	0,196	0,268	8,148	0,940	-1,043	34
11,08	6,80	7,231	14	0,014	0,002	72	0,072	7,254	68	0,068	0,131	0,199	0,001	53,675	-0,465	0,130	35
11,28	7,00	9,849	23	0,023	0,002	73	0,073	9,873	70	0,07	0,133	0,203	0,000	72,683	-0,466	0,620	36
11,48	7,20	10,152	21	0,021	0,002	65	0,065	10,173	72	0,072	0,135	0,207	-0,001	74,024	-0,471	0,655	37
11,68	7,40	7,124	17	0,017	0,002	77	0,077	7,149	74	0,074	0,136	0,210	0,000	50,931	-0,465	0,060	38
11,88	7,60	8,104	15	0,015	0,002	79	0,079	8,130	76	0,076	0,138	0,214	0,000	57,428	-0,466	0,227	39
12,08	7,80	13,197	16	0,016	0,001	76	0,076	13,222	78	0,078	0,139	0,217	0,000	93,261	-0,468	1,151	40
12,28	8,00	9,902	20	0,02	0,002	81	0,081	9,928	80	0,08	0,141	0,221	0,000	68,827	-0,467	0,521	41
12,48	8,20	8,798	14	0,014	0,002	81	0,081	8,824	82	0,082	0,143	0,225	0,000	60,290	-0,468	0,301	42
12,68	8,40	3,331	12	0,012	0,004	87	0,087	3,359	84	0,084	0,144	0,228	0,001	21,708	-0,463	-0,693	43
12,88	8,60	7,142	11	0,011	0,002	77	0,077	7,167	86	0,086	0,146	0,232	-0,001	47,554	-0,474	-0,027	44
13,08	8,80	6,839	18	0,018	0,003	84	0,084	6,866	88	0,088	0,147	0,235	-0,001	44,974	-0,471	-0,094	45
13,28	9,00	5,272	9	0,009	0,002	91	0,091	5,302	90	0,09	0,149	0,239	0,000	33,968	-0,467	-0,377	46
13,48	9,20	5,503	10	0,01	0,002	94	0,094	5,534	92	0,092	0,151	0,243	0,000	35,123	-0,466	-0,348	47
13,68	9,40	3,954	10	0,01	0,003	91	0,091	3,984	94	0,094	0,152	0,246	-0,001	24,550	-0,472	-0,620	48
13,88	9,60	7,658	16	0,016	0,002	97	0,097	7,690	96	0,096	0,154	0,250	0,000	48,361	-0,467	-0,007	49
14,08	9,80	10,348	25	0,025	0,002	100	0,1	10,381	98	0,098	0,155	0,253	0,000	65,152	-0,467	0,426	50
14,28	10,00	12,432	17	0,017	0,001	102	0,102	12,465	100	0,1	0,157	0,257	0,000	77,740	-0,467	0,751	51
14,48	10,20	14,800	23	0,023	0,002	102	0,102	14,833	102	0,102	0,159	0,261	0,000	91,860	-0,468	1,115	52
14,68	10,40	8,264	25	0,025	0,003	104	0,104	8,298	104	0,104	0,160	0,264	0,000	50,135	-0,468	0,039	53
14,88	10,60	7,160	19	0,019	0,003	108	0,108	7,195	106	0,106	0,162	0,268	0,000	42,804	-0,466	-0,150	54
15,08	10,80	8,602	23	0,023	0,003	110	0,11	8,638	108	0,108	0,163	0,271	0,000	51,190	-0,466	0,066	55
15,28	11,00	8,246	18	0,018	0,002	112	0,112	8,283	110	0,11	0,165	0,275	0,000	48,518	-0,466	-0,002	56

15,48	11,20	10,544	20	0,02	0,002	113	0,113	10,581	112	0,112	0,167	0,279	0,000	61,823	-0,467	0,340	57
15,68	11,40	4,203	12	0,012	0,003	115	0,115	4,240	114	0,114	0,168	0,282	0,000	23,527	-0,466	-0,647	58
15,88	11,60	10,098	18	0,018	0,002	115	0,115	10,135	116	0,116	0,170	0,286	0,000	57,994	-0,468	0,242	59
16,08	11,80	9,386	21	0,021	0,002	119	0,119	9,425	118	0,118	0,171	0,289	0,000	53,286	-0,467	0,120	60
16,28	12,00	5,824	12	0,012	0,002	121	0,121	5,863	120	0,12	0,173	0,293	0,000	32,191	-0,467	-0,423	61
16,48	12,20	6,643	15	0,015	0,002	123	0,123	6,683	122	0,122	0,175	0,297	0,000	36,569	-0,467	-0,310	62
16,68	12,40	5,379	13	0,013	0,002	125	0,125	5,420	124	0,124	0,176	0,300	0,000	29,049	-0,467	-0,504	63
16,88	12,60	5,361	12	0,012	0,002	126	0,126	5,402	126	0,126	0,178	0,304	0,000	28,668	-0,468	-0,514	64
17,08	12,80	5,272	14	0,014	0,003	127	0,127	5,313	128	0,128	0,179	0,307	0,000	27,898	-0,469	-0,534	65
17,28	13,00	3,420	15	0,015	0,004	127	0,127	3,461	130	0,13	0,181	0,311	-0,001	17,401	-0,473	-0,804	66
17,48	13,20	2,654	50	0,05	0,019	184	0,184	2,714	132	0,132	0,183	0,315	0,022	13,137	-0,354	-0,914	67
17,68	13,40	6,572	37	0,037	0,006	-42	-0,042	6,558	134	0,134	0,184	0,318	-0,028	33,869	-0,616	-0,380	68
17,88	13,60	3,722	21	0,021	0,006	136	0,136	3,766	136	0,136	0,186	0,322	0,000	18,535	-0,468	-0,775	69
18,08	13,80	5,486	28	0,028	0,005	-47	-0,047	5,471	138	0,138	0,187	0,325	-0,036	27,450	-0,657	-0,545	70
18,28	14,00	6,358	44	0,044	0,007	-20	-0,02	6,351	140	0,14	0,189	0,329	-0,027	31,858	-0,607	-0,432	71
18,48	14,20	5,735	34	0,034	0,006	-13	-0,013	5,731	142	0,142	0,191	0,333	-0,029	28,316	-0,619	-0,523	72
18,68	14,40	6,002	32	0,032	0,005	11	0,011	6,006	144	0,144	0,192	0,336	-0,023	29,491	-0,591	-0,493	73
18,88	14,60	4,221	36	0,036	0,009	126	0,126	4,262	146	0,146	0,194	0,340	-0,005	20,234	-0,494	-0,731	74
19,08	14,80	4,221	27	0,027	0,006	-48	-0,048	4,205	148	0,148	0,195	0,343	-0,051	19,760	-0,735	-0,744	75
19,28	15,00	6,643	28	0,028	0,004	-4	-0,004	6,642	150	0,15	0,197	0,347	-0,024	31,946	-0,596	-0,430	76
19,48	15,20	4,773	38	0,038	0,008	32	0,032	4,783	152	0,152	0,199	0,351	-0,027	22,316	-0,610	-0,678	77

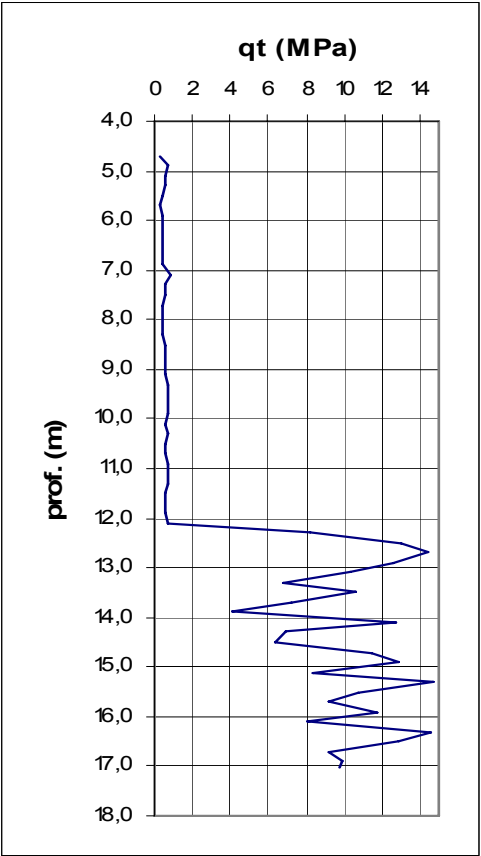
Tabela A.2.3 – Resultado final da análise.

PONTOS	Prof.(m)	Nº de Cluster						Comportamento do solo	Nc
		1	2	3	4	5	6		
1	4,28	x						LENTE	1
2	4,48		x					AREIA SILTOSA A AREIA LIMPA	2
3	4,68				x				4
4	4,88		x						2
5	5,08				x				4
6	5,28		x						2
7	5,48		x						2
8	5,68		x						2
9	5,88		x						2
10	6,08		x						2
11	6,28					x			LENTE
12	6,48				x			AREIA SILTOSA A AREIA LIMPA	4
13	6,68				x				4
14	6,88				x				4
15	7,08		x						2
16	7,28				x				4
17	7,48				x				4
18	7,68		x						2
19	7,88			x					LENTE
20	8,08						x	ARGILA A ARGILA SILTOSA	6
21	8,28						x		6
22	8,48						x		6
23	8,68						x		6
24	8,88						x		6
25	9,08						x		6
26	9,28						x		6
27	9,48						x		6
28	9,68						x		6
29	9,88						x		6
30	10,08						x		6
31	10,28						x		6
32	10,48						x		6
33	10,68						x		6
34	10,88						x	6	
35	11,08		x					AREIA SILTOSA A AREIA LIMPA	2
36	11,28		x						2
37	11,48		x						2
38	11,68		x						2
39	11,88		x						2
40	12,08		x						2
41	12,28		x						2
42	12,48		x						2
43	12,68			x				MISTURAS ARENOSAS	3
44	12,88		x						2
45	13,08		x						2
46	13,28			x					3

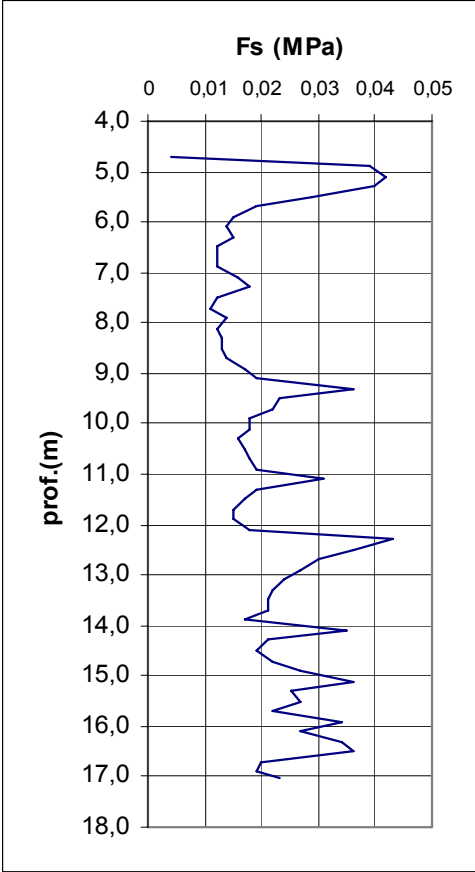
APÊNDICE 03

Campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense – Ensaio 04.

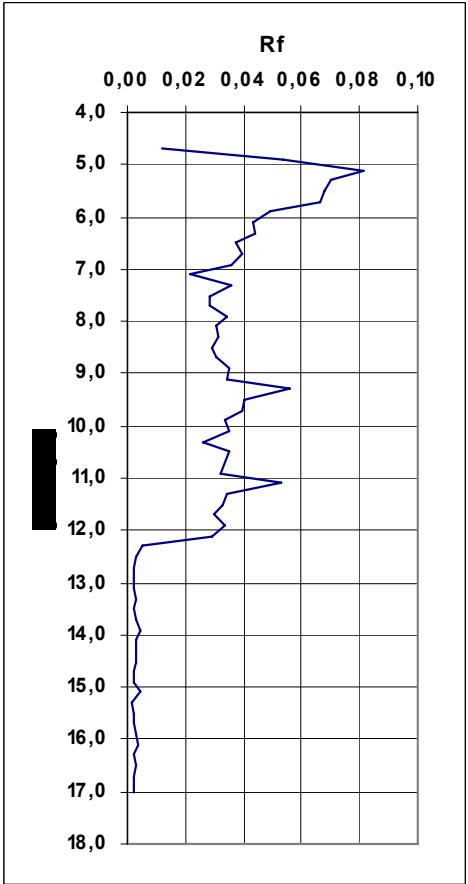
Ensaio 04 – CAMPUS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE



(a)



(b)



(c)

Figura A.3.1 - (a), (b) e (c): Resultados típicos do ensaio CPTU.

Os números referidos na Figura A.3.2 delimitam zonas de solo com comportamento diferenciado de acordo com a descrição que se apresenta na Tabela A.3.1.

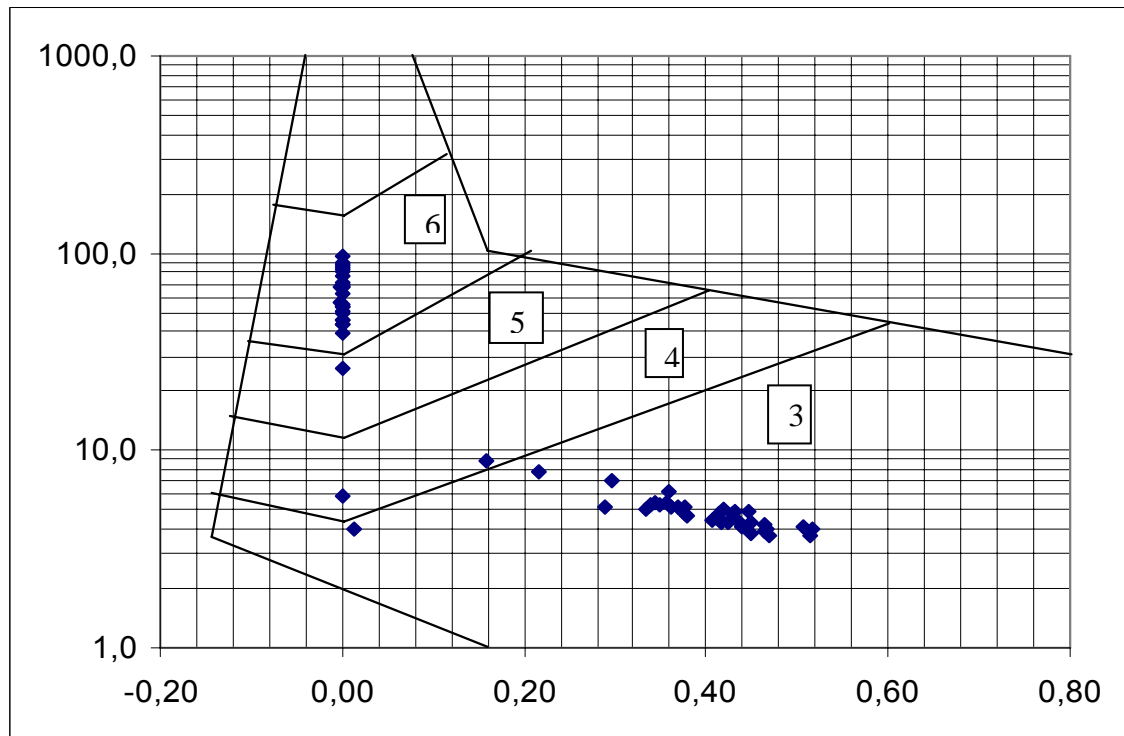
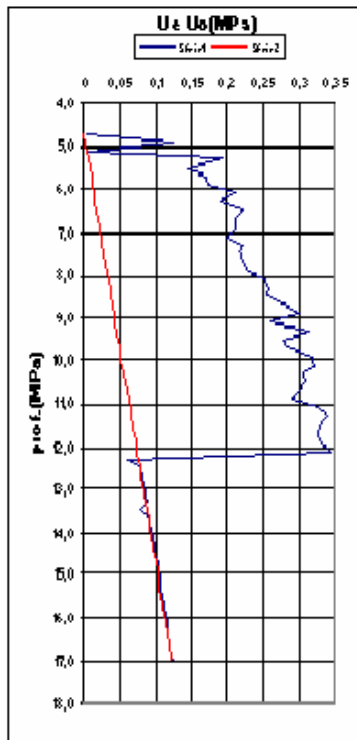


Figura A.3.2 - Gráfico contendo os resultados da razão de poro pressão (Bq) e da resistência normalizada do cone (Q).

Tabela A.3.1 -Resultado do diagrama – zona e comportamento do solo (Robertson, 1990).

Zona	Comportamento do solo	Parâmetros utilizados
3	Argilas a argilas siltosas	$Bq = \frac{(U - U_0)}{(qt - \sigma)}$
4	Misturas siltosas	$Q = \frac{(qt - \sigma)}{\sigma'v}$
5	Misturas arenosas	
6	Areia siltosa a areia limpa	

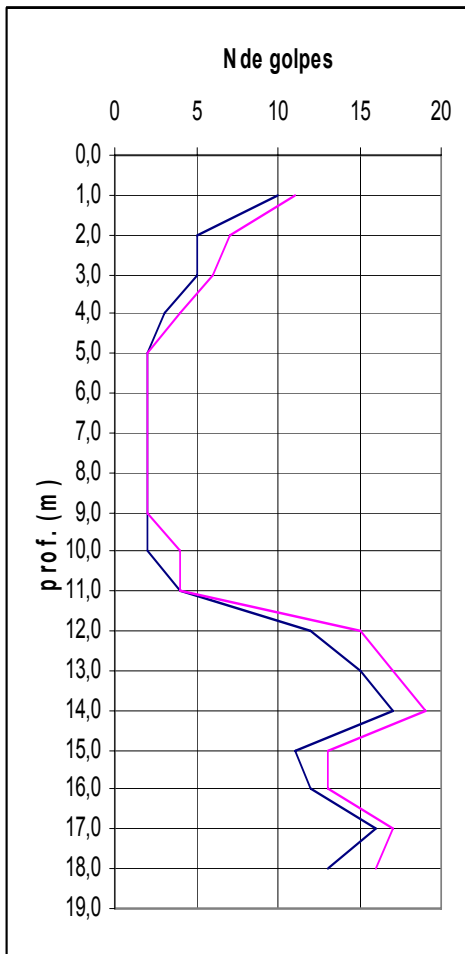


(a)



(b)

Figura. A.3.3 - Resultado do ensaio de piezocone e perfil estratigráfico



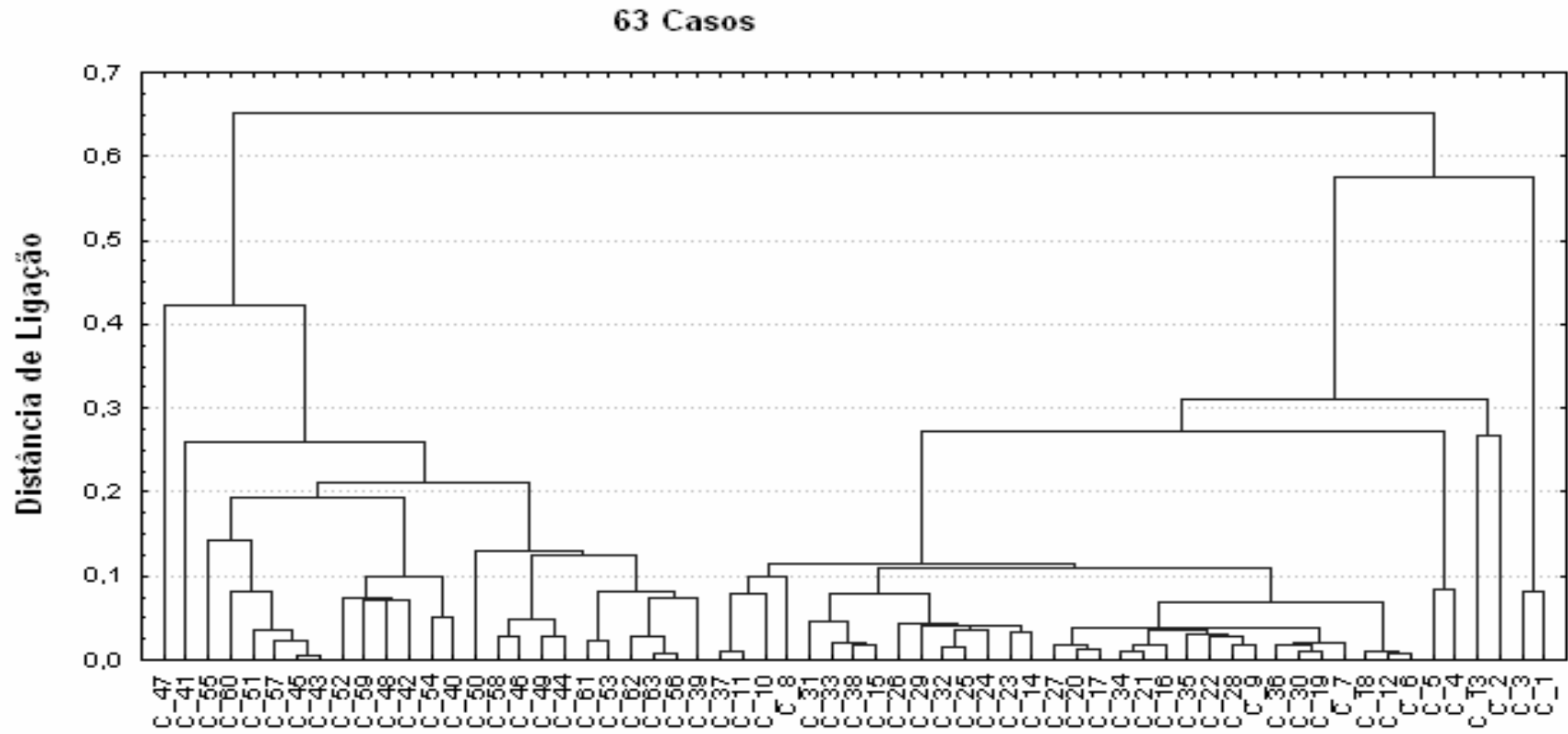
(a)

PERFIL INTERPRETADO

Aterro: areia fina, média e grossa, cor amarela.
Argila siltosa, com areia fina e média cor variegada, média.
Areia fina, média e grossa, cor cinza, pouco compacta.
Argila siltosa, com areia fina e média, cor amarela, mole.
Argila siltosa com areia fina, cor cinza muito mole.
Areia fina média e grossa, silto argilosa, cor cinza escura, fofa.
Argila com areia fina e média, com turfa, cor preta, mole.
Areia fina, média e grossa, silto argilosa, com mica, cor cinza escura, medianamente compacta.

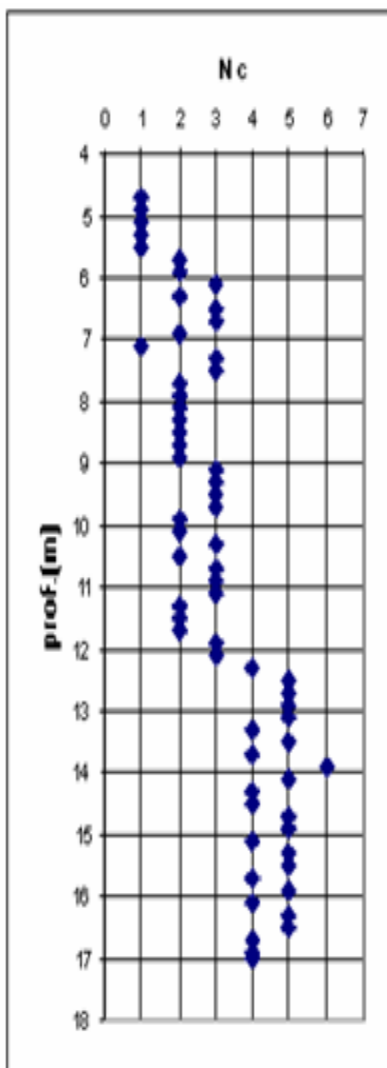
(b)

Figura A.3.4 – Resultado do ensaio SPT e perfil interpretado.



Distância de Ligação = 0,18.

Figura A.3.5 – Dendrograma de agrupamento, utilizando o método de ligação simples e Distância Euclidiana.



(a)

PERFIL DO SOLO



(b)

Figuras A.3.6 - (a) e (b) – Resultado final da análise.

Tabela A.3.2 – Resultado dos dados do piezocone com intervalo de 20 cm.

Prof (m)	Prof.(m)	Qc(Mpa)	Fs (Mpa)	Fs(Kpa)	Rf	U (kPa)	U (Mpa)	qt(Mpa)	Uo(Mpa)	Uo(Kpa)	$\sigma'v$ (Mpa)	σv (Mpa)	Bq	Q	Znorm Bq	Znorm Q	Pontos
4,7	0	0,338	0,004	4	0,012	4	0,004	0,339	0,000	0	0,085	0,025	0,013	3,716	-1,029	-0,768	1
4,9	0,2	0,73	0,039	39	0,053	124	0,124	0,770	0,002	2	0,086	0,026	0,164	8,636	-0,475	-0,607	2
5,1	0,4	0,516	0,042	42	0,081	4	0,004	0,517	0,004	4	0,088	0,027	0,000	5,584	-1,082	-0,708	3
5,3	0,6	0,57	0,04	40	0,070	193	0,193	0,633	0,006	6	0,089	0,028	0,309	6,765	0,098	-0,670	4
5,5	0,8	0,427	0,029	29	0,068	145	0,145	0,474	0,008	8	0,091	0,029	0,308	4,891	0,156	-0,732	5
5,7	1	0,285	0,019	19	0,067	170	0,17	0,340	0,010	10	0,093	0,030	0,516	3,350	1,200	-0,783	6
5,9	1,2	0,303	0,015	15	0,050	173	0,173	0,359	0,012	12	0,094	0,031	0,491	3,483	1,075	-0,779	7
6,1	1,4	0,321	0,014	14	0,044	212	0,212	0,390	0,014	14	0,096	0,032	0,553	3,735	1,314	-0,771	8
6,3	1,6	0,338	0,015	15	0,044	192	0,192	0,401	0,016	16	0,097	0,033	0,479	3,770	0,997	-0,770	9
6,5	1,8	0,321	0,012	12	0,037	221	0,221	0,393	0,018	18	0,099	0,034	0,566	3,622	1,412	-0,776	10
6,7	2	0,303	0,012	12	0,040	211	0,211	0,372	0,020	20	0,101	0,036	0,568	3,343	1,497	-0,785	11
6,9	2,2	0,338	0,012	12	0,036	212	0,212	0,407	0,022	22	0,102	0,037	0,513	3,626	1,196	-0,776	12
7,1	2,4	0,748	0,016	16	0,021	200	0,2	0,813	0,024	24	0,104	0,038	0,227	7,472	-0,211	-0,650	13
7,3	2,6	0,499	0,018	18	0,036	222	0,222	0,571	0,026	26	0,105	0,039	0,368	5,054	0,429	-0,730	14
7,5	2,8	0,427	0,012	12	0,028	216	0,216	0,497	0,028	28	0,107	0,040	0,411	4,277	0,678	-0,756	15
7,7	3	0,392	0,011	11	0,028	223	0,223	0,465	0,030	30	0,109	0,041	0,455	3,903	0,926	-0,769	16
7,9	3,2	0,41	0,014	14	0,034	229	0,229	0,485	0,032	32	0,110	0,042	0,445	4,018	0,869	-0,765	17
8,1	3,4	0,392	0,012	12	0,031	254	0,254	0,475	0,034	34	0,112	0,043	0,509	3,863	1,186	-0,771	18
8,3	3,6	0,41	0,013	13	0,032	258	0,258	0,494	0,036	36	0,113	0,044	0,493	3,969	1,103	-0,767	19
8,5	3,8	0,445	0,013	13	0,029	255	0,255	0,528	0,038	38	0,115	0,045	0,449	4,201	0,880	-0,760	20
8,7	4	0,463	0,014	14	0,030	278	0,278	0,554	0,040	40	0,117	0,046	0,469	4,353	0,951	-0,755	21
8,9	4,2	0,481	0,017	17	0,035	301	0,301	0,579	0,042	42	0,118	0,047	0,487	4,500	1,015	-0,751	22
9,1	4,4	0,552	0,019	19	0,034	259	0,259	0,636	0,044	44	0,120	0,048	0,366	4,910	0,461	-0,738	23
9,3	4,6	0,641	0,036	36	0,056	313	0,313	0,743	0,046	46	0,121	0,049	0,385	5,715	0,491	-0,712	24
9,5	4,8	0,57	0,023	23	0,040	279	0,279	0,661	0,048	48	0,123	0,050	0,378	4,964	0,517	-0,736	25
9,7	5	0,552	0,022	22	0,040	283	0,283	0,644	0,050	50	0,125	0,051	0,393	4,758	0,601	-0,743	26
9,9	5,2	0,534	0,018	18	0,034	320	0,32	0,638	0,052	52	0,126	0,052	0,457	4,642	0,894	-0,747	27
10,1	5,4	0,516	0,018	18	0,035	322	0,322	0,621	0,054	54	0,128	0,054	0,472	4,440	0,988	-0,754	28
10,3	5,6	0,606	0,016	16	0,026	308	0,308	0,706	0,056	56	0,129	0,055	0,387	5,037	0,559	-0,735	29

10,5	5,8	0,481	0,017	17	0,035	310	0,31	0,582	0,058	58	0,131	0,056	0,479	4,018	1,093	-0,769	30
10,7	6	0,534	0,018	18	0,034	298	0,298	0,631	0,060	60	0,133	0,057	0,414	4,332	0,759	-0,759	31
10,9	6,2	0,588	0,019	19	0,032	290	0,29	0,683	0,062	62	0,134	0,058	0,365	4,656	0,508	-0,748	32
11,1	6,4	0,588	0,031	31	0,053	326	0,326	0,694	0,064	64	0,136	0,059	0,412	4,679	0,715	-0,748	33
11,3	6,6	0,552	0,019	19	0,034	340	0,34	0,663	0,066	66	0,137	0,060	0,454	4,388	0,941	-0,757	34
11,5	6,8	0,516	0,017	17	0,033	328	0,328	0,623	0,068	68	0,139	0,061	0,463	4,043	1,038	-0,769	35
11,7	7	0,499	0,015	15	0,030	326	0,326	0,605	0,070	70	0,141	0,062	0,471	3,864	1,118	-0,775	36
11,9	7,2	0,445	0,015	15	0,034	328	0,328	0,552	0,072	72	0,142	0,063	0,524	3,438	1,489	-0,789	37
12,1	7,4	0,623	0,018	18	0,029	345	0,345	0,735	0,074	74	0,144	0,064	0,404	4,669	0,694	-0,749	38
12,3	7,6	8,193	0,043	43	0,005	60	0,06	8,213	0,076	76	0,145	0,065	-0,002	56,034	-1,089	0,937	39
12,5	7,8	13,019	0,036	36	0,003	79	0,079	13,045	0,078	78	0,147	0,066	0,000	88,289	-1,082	1,996	40
12,7	8	14,337	0,03	30	0,002	82	0,082	14,364	0,080	80	0,149	0,067	0,000	96,207	-1,082	2,255	41
12,9	8,2	12,61	0,027	27	0,002	83	0,083	12,637	0,082	82	0,150	0,068	0,000	83,680	-1,082	1,844	42
13,1	8,4	10,294	0,024	24	0,002	85	0,085	10,322	0,084	84	0,152	0,069	0,000	67,538	-1,082	1,314	43
13,3	8,6	6,714	0,022	22	0,003	87	0,087	6,742	0,086	86	0,153	0,070	0,000	43,493	-1,082	0,524	44
13,5	8,8	10,526	0,021	21	0,002	79	0,079	10,552	0,088	88	0,155	0,072	-0,001	67,614	-1,085	1,316	45
13,7	9	7,213	0,021	21	0,003	91	0,091	7,243	0,090	90	0,157	0,073	0,000	45,786	-1,082	0,599	46
13,9	9,2	4,132	0,017	17	0,004	94	0,094	4,163	0,092	92	0,158	0,074	0,000	25,847	-1,080	-0,055	47
14,1	9,4	12,716	0,035	35	0,003	96	0,096	12,747	0,094	94	0,160	0,075	0,000	79,303	-1,082	1,699	48
14,3	9,6	6,928	0,021	21	0,003	98	0,098	6,960	0,096	96	0,161	0,076	0,000	42,653	-1,081	0,496	49
14,5	9,8	6,358	0,019	19	0,003	99	0,099	6,390	0,098	98	0,163	0,077	0,000	38,733	-1,082	0,367	50
14,7	10	11,363	0,022	22	0,002	102	0,102	11,396	0,100	100	0,165	0,078	0,000	68,763	-1,082	1,353	51
14,9	10,2	12,859	0,027	27	0,002	103	0,103	12,893	0,102	102	0,166	0,079	0,000	77,098	-1,082	1,626	52
15,1	10,4	8,371	0,036	36	0,004	107	0,107	8,406	0,104	104	0,168	0,080	0,000	49,618	-1,081	0,724	53
15,3	10,6	14,747	0,025	25	0,002	108	0,108	14,782	0,106	106	0,169	0,081	0,000	86,783	-1,082	1,944	54
15,5	10,8	10,74	0,027	27	0,003	109	0,109	10,776	0,108	108	0,171	0,082	0,000	62,534	-1,082	1,148	55
15,7	11	9,154	0,022	22	0,002	111	0,111	9,190	0,110	110	0,173	0,083	0,000	52,763	-1,082	0,827	56
15,9	11,2	11,701	0,034	34	0,003	113	0,113	11,738	0,112	112	0,174	0,084	0,000	66,898	-1,082	1,291	57
16,1	11,4	7,961	0,027	27	0,003	115	0,115	7,998	0,114	114	0,176	0,085	0,000	45,012	-1,082	0,572	58
16,3	11,6	14,515	0,034	34	0,002	116	0,116	14,553	0,116	116	0,177	0,086	0,000	81,547	-1,082	1,772	59
16,5	11,8	12,806	0,036	36	0,003	118	0,118	12,844	0,118	118	0,179	0,087	0,000	71,268	-1,082	1,434	60
16,7	12	9,137	0,02	20	0,002	120	0,12	9,176	0,120	120	0,181	0,089	0,000	50,319	-1,082	0,746	61

16,9	12,2	9,867	0,019	19	0,002	123	0,123	9,907	0,122	122	0,182	0,090	0,000	53,883	-1,082	0,863	62
17,02	12,32	9,76	0,023	23	0,002	124	0,124	9,800	0,123	123,2	0,183	0,090	0,000	53,015	-1,082	0,834	63

Tabela A.3.3 – Resultado final da análise.

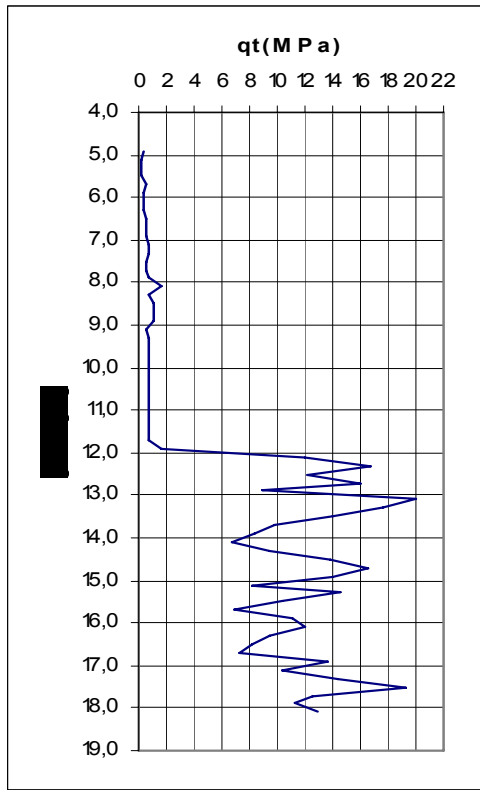
PONTOS	Prof (m)	N° de Cluster						Comportamento do Solo	Nc
		1	2	3	4	5	6		
1	4,7	x						ARGILA A ARGILA SILTOSA	1
2	4,9	x							1
3	5,1	x							1
4	5,3	x							1
5	5,5	x							1
6	5,7		x					MISTURAS SILTOSAS	2
7	5,9		x						2
8	6,1			x					3
9	6,3		x						2
10	6,5			x					3
11	6,7			x					3
12	6,9		x						2
13	7,1	x							1
14	7,3			x					3
15	7,5			x					3
16	7,7		x					ARGILA A ARGILA SILTOSAS	2
17	7,9		x						2
18	8,1		x						2
19	8,3		x						2
20	8,5		x						2
21	8,7		x						2
22	8,9		x						2
23	9,1			x				MISTURAS SILTOSAS	3
24	9,3			x					3
25	9,5			x					3
26	9,7			x					3
27	9,9		x						2
28	10,1		x						2
29	10,3			x					3
30	10,5		x					MISTURAS SILTOSAS	2
31	10,7			x					3
32	10,9			x					3
33	11,1			x					3
34	11,3		x						2
35	11,5		x						2
36	11,7		x						2
37	11,9			x					3
38	12,1			x					3
39	12,3				x				AREIA SILTOSA A AREIA LIMPA
40	12,5					x		5	
41	12,7					x		5	
42	12,9					x		5	
43	13,1					x		5	
44	13,3				x			MISTURAS ARENOSAS	4
45	13,5					x			5

46	13,7				x					4
47	13,9							x		6
48	14,1					x				5
49	14,3				x					4
50	14,5				x					4
51	14,7					x				5
52	14,9					x				5
53	15,1				x					4
54	15,3						x			5
55	15,5						x			5
56	15,7				x					4
57	15,9						x			5
58	16,1				x					4
59	16,3							x		5
60	16,5							x		5
61	16,7				x					4
62	16,9				x					4
63	17,02				x					4

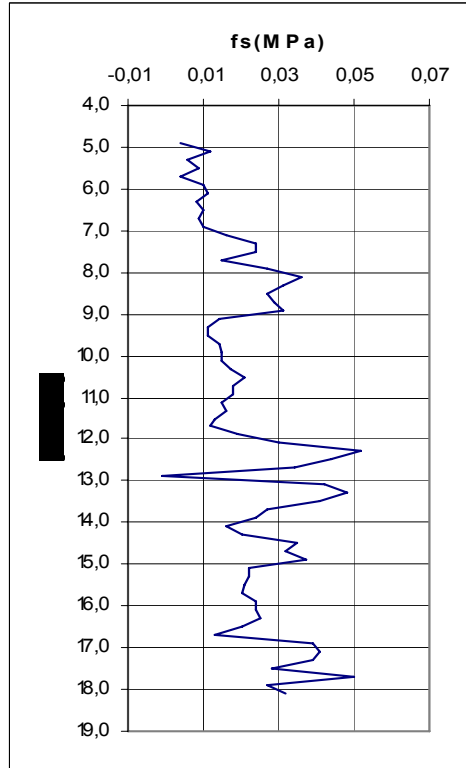
APÊNDICE 04

Campus da Universidade Estadual do Norte Fluminense – Ensaio 05.

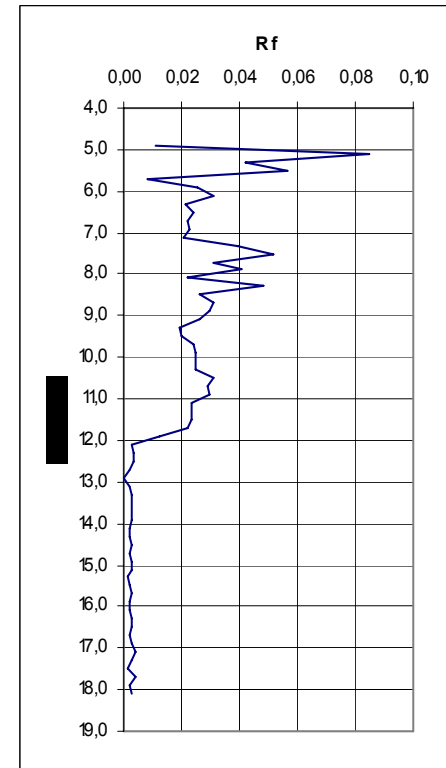
Ensaio 05 – CAMPUS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE



(a)



(b)



(c)

Figura A.4.1 - (a), (b) e (c): Resultados típicos do ensaio CPTU.

Os números referidos na Figura A.4.2 delimitam zonas de solo com comportamento diferenciado de acordo com a descrição que se apresenta na Tabela A.4.1.

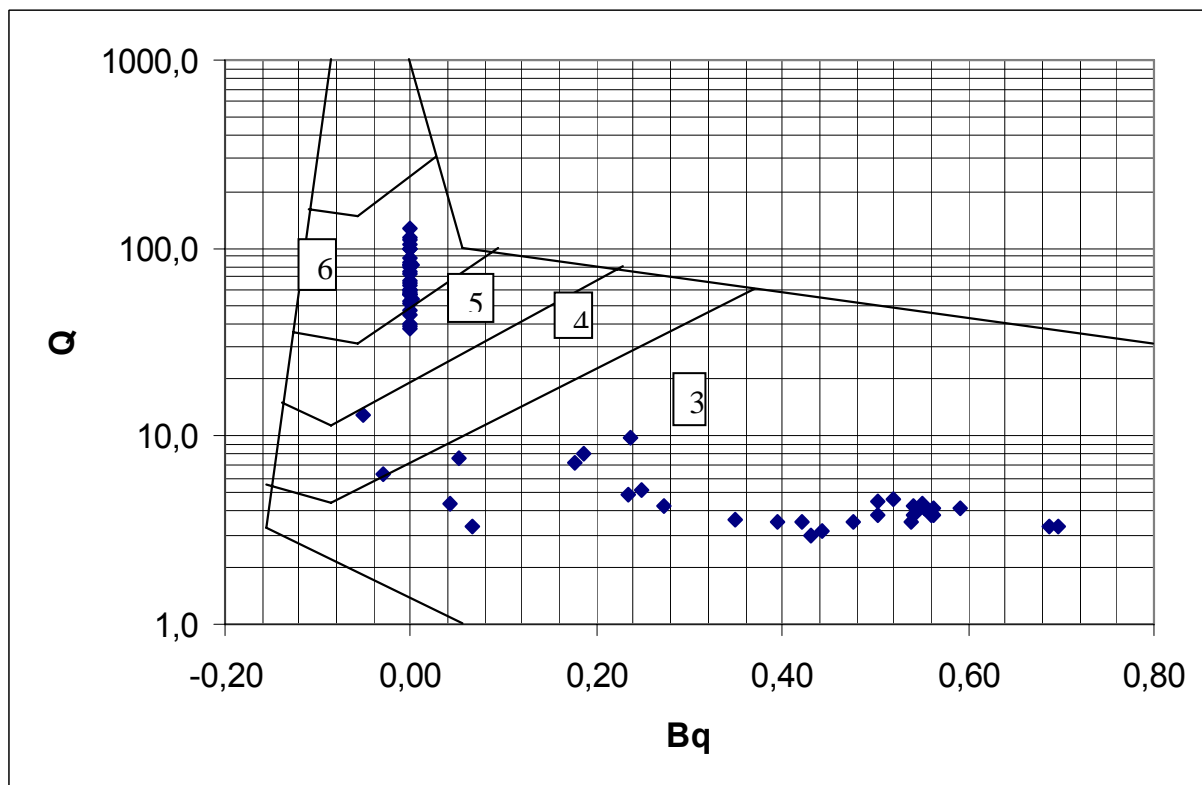
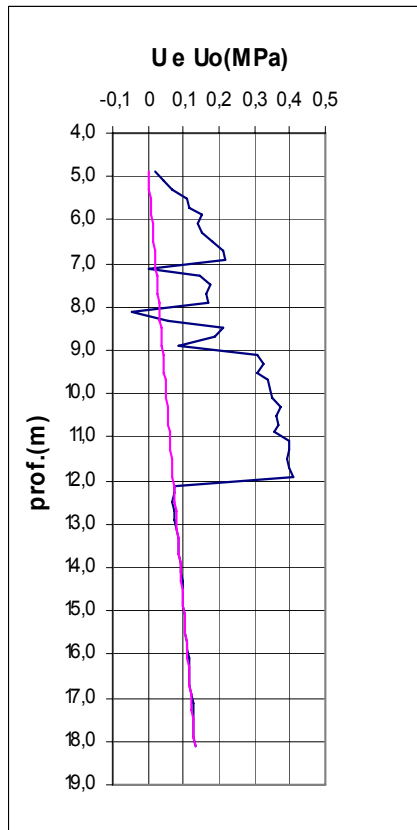


Figura A.4.2 - Gráfico contendo os resultados da razão de poro pressão (B_q) e da resistência normalizada do cone (Q), de acordo com a tabela A.1, adaptado de Robertson, 1990.

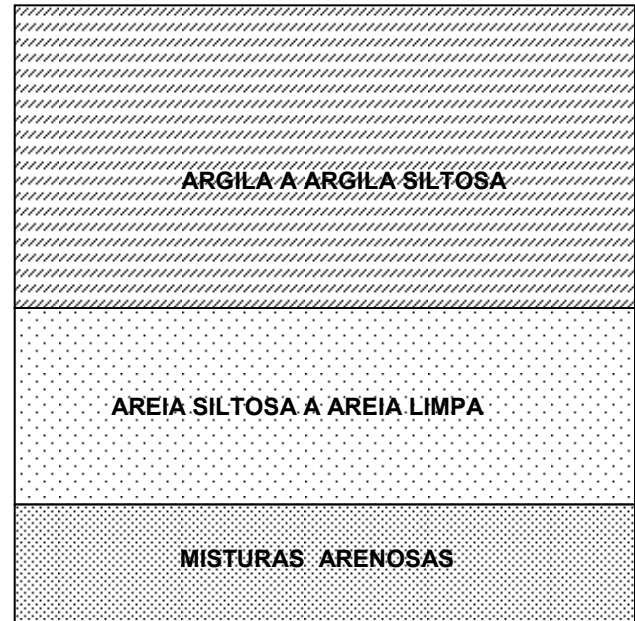
Tabela A.4.1 -Resultado do diagrama – zona e tipo de comportamento do solo (Robertson, 1990).

Zona	Comportamento do solo	Parâmetros utilizados
3	Argilas a argilas siltosas	$B_q = \frac{(U - U_o)}{(qt - \sigma)}$
4	Misturas siltosas	$Q = \frac{(qt - \sigma)}{\sigma'v}$
5	Misturas arenosas	
6	Areia siltosa a areia limpa	



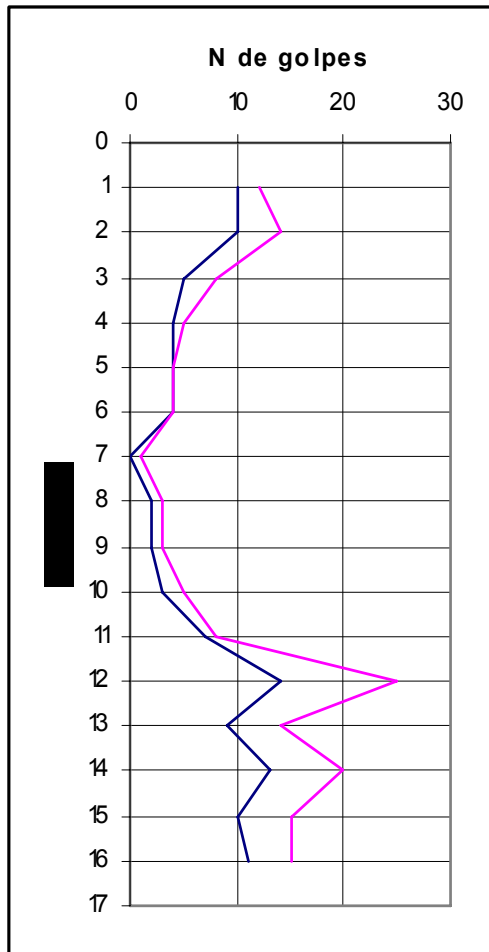
(a)

PERFIL INTERPRETADO



(b)

Figuras: A.4.3 - Resultado do ensaio de piezocone e perfil estratigráfico.



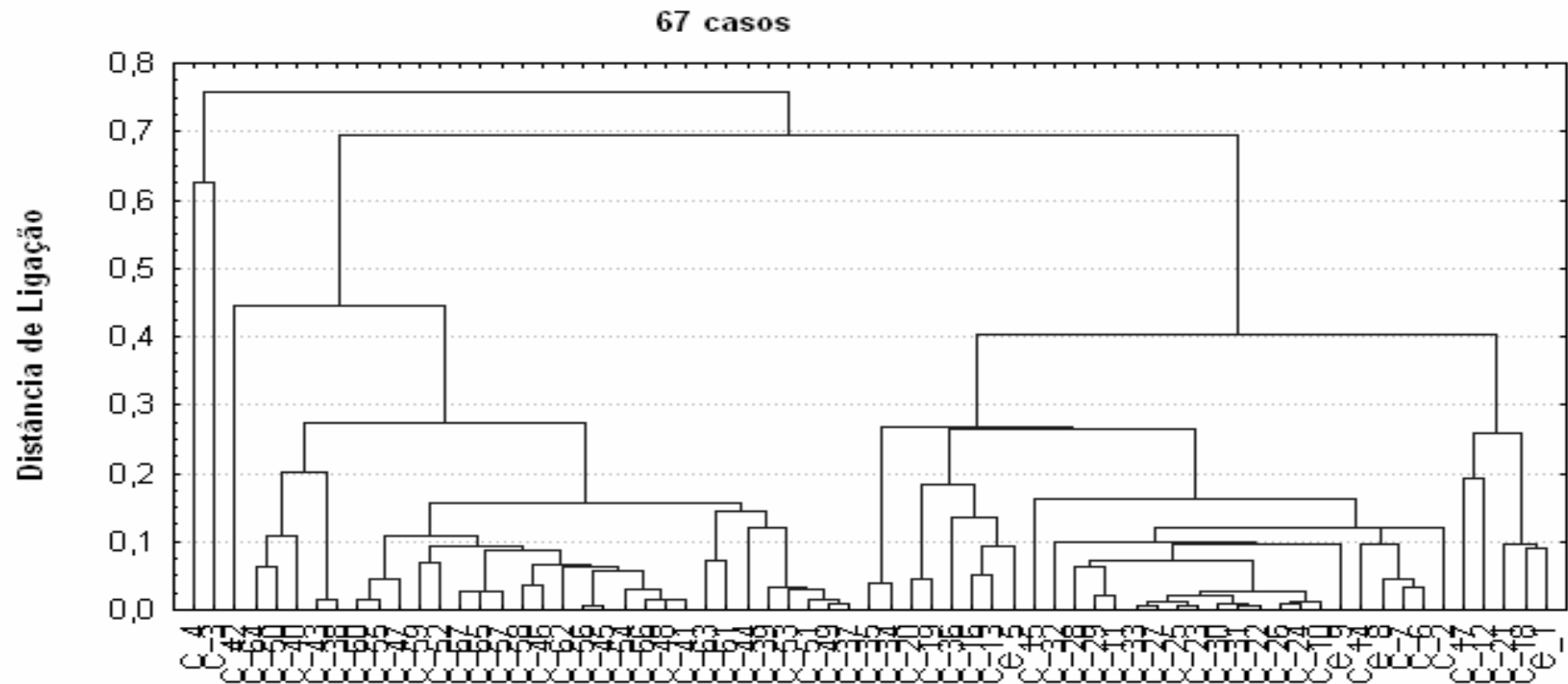
(a)

PERFIL INTERPRETADO

Aterro: areia fina, média e grossa, cor amarela, medianamente compacta.
Argila siltosa, com areia fina e média, cor preta mole.
Argila siltosa, com areia fina e média, cor amarela, muito mole.
Argila siltosa, com areia fina, com mica, cor mica, muita mole.
Argila, com turfa, cor preta, muito mole.
Areia fina, média e grossa, silto argilosa, cor cinza, medianamente compacta.

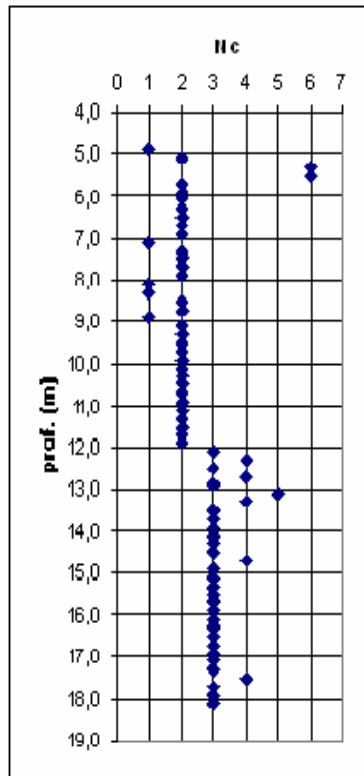
(b)

Figuras A.4.4 (a) e (b) – Resultado do ensaio SPT e perfil interpretado.



Distância de Ligação = 0,25.

Figura A. 4.5 - Dendrograma de agrupamento, utilizando o método de ligação simples e Distância Euclidiana.



(a)



(b)

Figuras A.4.6 - (a) e (b) – Resultado final da análise.

Tabela A.4.2 – Resultado dos dados do piezocone com intervalo de 20 cm.

Prof.(m)	Prof.(m)	Qc(Mpa)	Fs(Kpa)	Fs(Mpa)	U(kPa)	U (MPa)	qt (MPa)	Rf	Uo (KPa)	Uo(Mpa)	$\sigma'v$ (MPa)	σv (MPa)	Bq	Q	Zscore Bq	Zscore Q	Pontos
4,9	0,0	0,374	4	0,004	19	0,019	0,380	0,011	0	0	0,088	0,088	0,065	3,311	-0,591	-0,861	1
5,1	0,2	0,142	12	0,012	41	0,041	0,155	0,085	2	0,002	0,090	0,092	0,614	0,708	1,348	-0,931	2
5,3	0,4	0,142	6	0,006	66	0,066	0,164	0,042	4	0,004	0,091	0,095	0,910	0,745	2,398	-0,930	3
5,5	0,6	0,160	9	0,009	112	0,112	0,197	0,056	6	0,006	0,093	0,099	1,087	1,049	3,023	-0,922	4
5,7	0,8	0,467	4	0,004	118	0,118	0,505	0,009	8	0,008	0,095	0,103	0,273	4,259	0,144	-0,836	5
5,9	1,0	0,392	10	0,01	151	0,151	0,441	0,026	10	0,01	0,096	0,106	0,421	3,483	0,667	-0,856	6
6,1	1,2	0,356	11	0,011	137	0,137	0,401	0,031	12	0,012	0,098	0,110	0,430	2,974	0,698	-0,870	7
6,3	1,4	0,374	8	0,008	151	0,151	0,423	0,021	14	0,014	0,099	0,113	0,442	3,117	0,742	-0,866	8
6,5	1,6	0,410	10	0,01	184	0,184	0,470	0,024	16	0,016	0,101	0,117	0,476	3,495	0,862	-0,856	9
6,7	1,8	0,410	9	0,009	211	0,211	0,479	0,022	18	0,018	0,103	0,121	0,539	3,491	1,084	-0,856	10
6,9	2,0	0,445	10	0,01	217	0,217	0,516	0,022	20	0,02	0,104	0,124	0,503	3,758	0,958	-0,849	11
7,1	2,2	0,784	16	0,016	2	0,002	0,785	0,020	22	0,022	0,106	0,128	-0,030	6,208	-0,929	-0,783	12
7,3	2,4	0,606	24	0,024	146	0,146	0,654	0,040	24	0,024	0,107	0,131	0,234	4,862	0,005	-0,819	13
7,5	2,6	0,463	24	0,024	178	0,178	0,521	0,052	26	0,026	0,109	0,135	0,394	3,542	0,571	-0,855	14
7,7	2,8	0,481	15	0,015	166	0,166	0,535	0,031	28	0,028	0,111	0,139	0,348	3,585	0,409	-0,854	15
7,9	3,0	0,659	27	0,027	172	0,172	0,715	0,041	30	0,03	0,112	0,142	0,248	5,106	0,055	-0,813	16
8,1	3,2	1,621	36	0,036	-44	-0,044	1,607	0,022	32	0,032	0,114	0,146	-0,052	12,837	-1,005	-0,605	17
8,3	3,4	0,641	31	0,031	55	0,055	0,659	0,048	34	0,034	0,115	0,149	0,041	4,415	-0,676	-0,831	18
8,5	3,6	1,033	27	0,027	213	0,213	1,102	0,026	36	0,036	0,117	0,153	0,186	8,115	-0,162	-0,732	19
8,7	3,8	0,944	29	0,029	187	0,187	1,005	0,031	38	0,038	0,119	0,157	0,176	7,153	-0,200	-0,758	20
8,9	4,0	1,051	31	0,031	88	0,088	1,080	0,029	40	0,04	0,120	0,160	0,052	7,650	-0,637	-0,744	21
9,1	4,2	0,534	14	0,014	306	0,306	0,634	0,026	42	0,042	0,122	0,164	0,562	3,858	1,165	-0,846	22
9,3	4,4	0,570	11	0,011	325	0,325	0,676	0,019	44	0,044	0,123	0,167	0,553	4,121	1,133	-0,839	23
9,5	4,6	0,552	11	0,011	306	0,306	0,652	0,020	46	0,046	0,125	0,171	0,541	3,846	1,091	-0,847	24
9,7	4,8	0,588	14	0,014	338	0,338	0,698	0,024	48	0,048	0,127	0,175	0,554	4,136	1,137	-0,839	25
9,9	5,0	0,606	15	0,015	342	0,342	0,717	0,025	50	0,05	0,128	0,178	0,541	4,207	1,093	-0,837	26
10,1	5,2	0,606	15	0,015	347	0,347	0,719	0,025	52	0,052	0,130	0,182	0,549	4,140	1,120	-0,839	27

10,3	5,4	0,677	17	0,017	373	0,373	0,799	0,025	54	0,054	0,131	0,185	0,520	4,667	1,018	-0,825	28
10,5	5,6	0,677	21	0,021	360	0,36	0,794	0,031	56	0,056	0,133	0,189	0,502	4,552	0,955	-0,828	29
10,7	5,8	0,623	18	0,018	368	0,368	0,743	0,029	58	0,058	0,135	0,193	0,563	4,089	1,171	-0,840	30
10,9	6,0	0,606	18	0,018	354	0,354	0,721	0,030	60	0,06	0,136	0,196	0,560	3,856	1,158	-0,846	31
11,1	6,2	0,641	15	0,015	400	0,4	0,771	0,023	62	0,062	0,138	0,200	0,591	4,148	1,270	-0,839	32
11,3	6,4	0,677	16	0,016	395	0,395	0,806	0,024	64	0,064	0,139	0,203	0,549	4,321	1,122	-0,834	33
11,5	6,6	0,552	13	0,013	390	0,39	0,679	0,024	66	0,066	0,141	0,207	0,686	3,349	1,606	-0,860	34
11,7	6,8	0,552	12	0,012	396	0,396	0,681	0,022	68	0,068	0,143	0,211	0,697	3,299	1,644	-0,861	35
11,9	7,0	1,514	19	0,019	409	0,409	1,647	0,013	70	0,07	0,144	0,214	0,237	9,939	0,015	-0,683	36
12,1	7,2	12,040	30	0,03	75	0,075	12,064	0,002	72	0,072	0,146	0,218	0,000	81,253	-0,820	1,235	37
12,3	7,4	16,670	52	0,052	73	0,073	16,694	0,003	74	0,074	0,147	0,221	0,000	111,753	-0,822	2,055	38
12,5	7,6	12,129	44	0,044	66	0,066	12,151	0,004	76	0,076	0,149	0,225	-0,001	80,037	-0,824	1,202	39
12,7	7,8	15,905	34	0,034	75	0,075	15,929	0,002	78	0,078	0,151	0,229	0,000	104,255	-0,822	1,854	40
12,9	8,0	8,852	-1	-0,001	76	0,076	8,877	0,000	80	0,08	0,152	0,232	0,000	56,797	-0,823	0,577	41
13,1	8,2	20,036	42	0,042	82	0,082	20,063	0,002	82	0,082	0,154	0,236	0,000	128,914	-0,821	2,517	42
13,3	8,4	17,668	48	0,048	84	0,084	17,695	0,003	84	0,084	0,155	0,239	0,000	112,329	-0,821	2,071	43
13,5	8,6	13,999	41	0,041	84	0,084	14,026	0,003	86	0,086	0,157	0,243	0,000	87,792	-0,822	1,411	44
13,7	8,8	9,831	27	0,027	88	0,088	9,860	0,003	88	0,088	0,159	0,247	0,000	60,612	-0,821	0,680	45
13,9	9,0	8,246	24	0,024	91	0,091	8,276	0,003	90	0,09	0,160	0,250	0,000	50,097	-0,821	0,397	46
14,1	9,2	6,697	16	0,016	93	0,093	6,727	0,002	92	0,092	0,162	0,254	0,000	40,009	-0,821	0,126	47
14,3	9,4	9,422	20	0,02	95	0,095	9,453	0,002	94	0,094	0,163	0,257	0,000	56,276	-0,821	0,563	48
14,5	9,6	13,696	35	0,035	96	0,096	13,727	0,003	96	0,096	0,165	0,261	0,000	81,614	-0,821	1,245	49
14,7	9,8	16,546	32	0,032	99	0,099	16,578	0,002	98	0,098	0,167	0,265	0,000	97,921	-0,821	1,683	50
14,9	10,0	14,052	37	0,037	99	0,099	14,084	0,003	100	0,1	0,168	0,268	0,000	82,141	-0,822	1,259	51
15,1	10,2	8,157	22	0,022	103	0,103	8,191	0,003	102	0,102	0,170	0,272	0,000	46,636	-0,821	0,304	52
15,3	10,4	14,515	22	0,022	102	0,102	14,548	0,002	104	0,104	0,171	0,275	0,000	83,272	-0,822	1,289	53
15,5	10,6	10,366	21	0,021	106	0,106	10,401	0,002	106	0,106	0,173	0,279	0,000	58,506	-0,821	0,623	54
15,7	10,8	6,946	20	0,02	107	0,107	6,981	0,003	108	0,108	0,175	0,283	0,000	38,364	-0,822	0,082	55
15,9	11,0	10,971	24	0,024	110	0,11	11,007	0,002	110	0,11	0,176	0,286	0,000	60,844	-0,821	0,686	56
16,1	11,2	12,022	24	0,024	114	0,114	12,059	0,002	112	0,112	0,178	0,290	0,000	66,194	-0,821	0,830	57
16,3	11,4	9,493	25	0,025	115	0,115	9,530	0,003	114	0,114	0,179	0,293	0,000	51,489	-0,821	0,435	58
16,5	11,6	8,228	20	0,02	116	0,116	8,266	0,002	116	0,116	0,181	0,297	0,000	44,027	-0,821	0,234	59

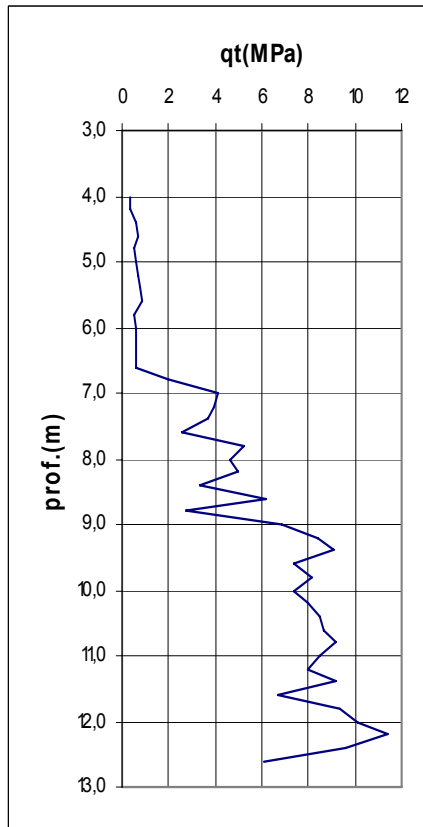
Tabela A.4.3 – Resultado final da análise.

		N° de Cluster						Comportamento do Solo	Nc
PONTOS	Prof.(m)	1	2	3	4	5	6		
1	4,9	x						TRANSIÇÕES	1
2	5,1		x						2
3	5,3						x		6
4	5,5						x		6
5	5,7		x					ARGILA A ARGILAS SILTOSAS	2
6	5,9		x						2
7	6,1		x						2
8	6,3		x						2
9	6,5		x						2
10	6,7		x						2
11	6,9		x					2	
12	7,1	x						LENTE	1
13	7,3		x					ARGILA A ARGILAS SILTOSAS	2
14	7,5		x						2
15	7,7		x						2
16	7,9		x						2
17	8,1	x						TRANSIÇÕES	1
18	8,3	x							1
19	8,5		x						2
20	8,7		x						2
21	8,9	x							1
22	9,1		x					ARGILA A ARGILAS SILTOSAS	2
23	9,3		x						2
24	9,5		x						2
25	9,7		x						2
26	9,9		x						2
27	10,1		x						2
28	10,3		x						2
29	10,5		x						2
30	10,7		x						2
31	10,9		x						2
32	11,1		x						2
33	11,3		x						2
34	11,5		x						2
35	11,7		x						2
36	11,9		x					2	
37	12,1			x				AREIA SILTOSA A AREIA LIMPA	3
38	12,3				x				4
39	12,5			x					3
40	12,7				x				4
41	12,9			x				3	
42	13,1					x		LENTE	5
43	13,3				x				4
44	13,5			x					3
45	13,7			x					3
46	13,9			x					3

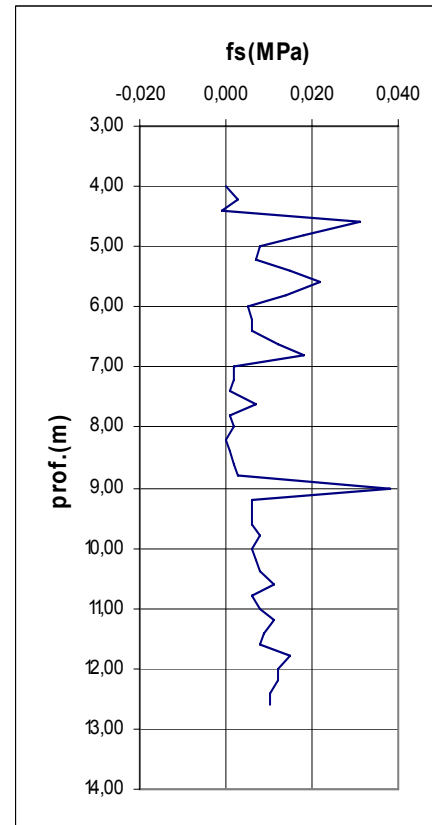
47	14,1			x				AREIA SILTOSA A AREIA LIMPA	3
48	14,3			x					3
49	14,5			x					3
50	14,7				x				4
51	14,9			x					3
52	15,1			x					3
53	15,3			x					3
54	15,5			x					3
55	15,7			x					3
56	15,9			x					3
57	16,1			x					3
58	16,3			x					3
59	16,5			x					3
60	16,7			x					3
61	16,9			x					3
62	17,1			x					3
63	17,3			X					3
64	17,5				X				4
65	17,7			X					3
66	17,9			X					3
67	18,1			X					3

APENDICE 05

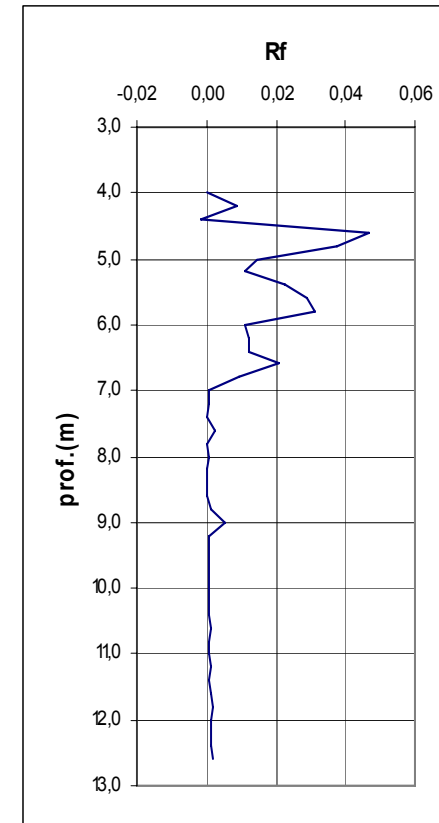
Ensaio 06 – CAMPUS DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE.



(a)



(b)



(c)

Figuras A.5.1 - (a), (b) e (c): Resultados típicos do ensaio CPTU.

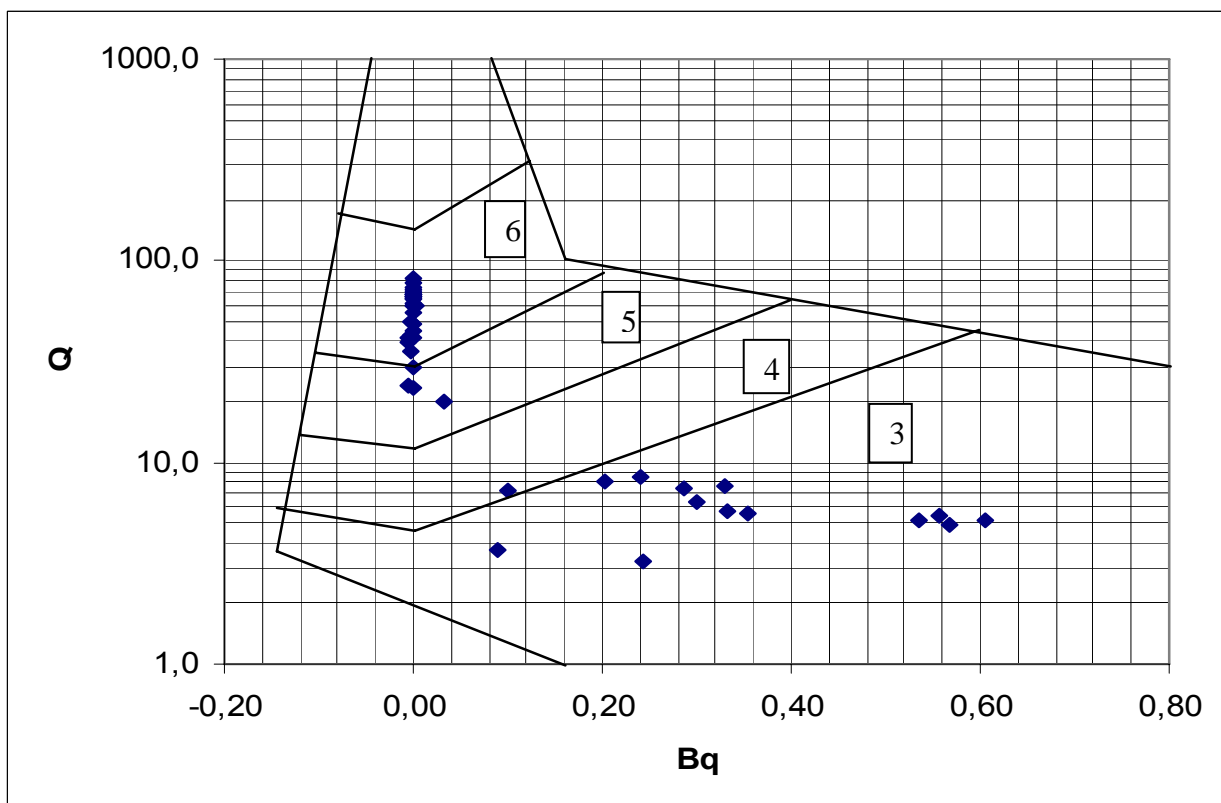
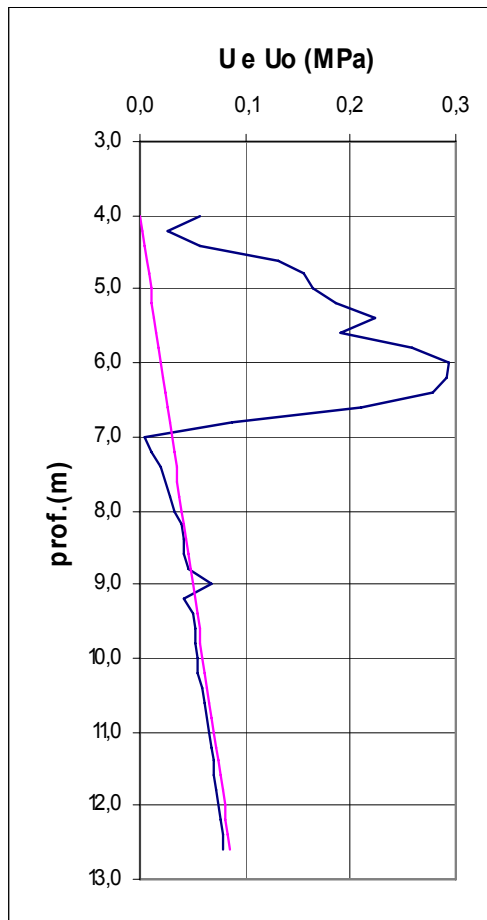


Figura A.5.2 - Gráfico contendo os resultados da razão de poro pressão (B_q) e da resistência normalizada do cone (Q), de acordo com a tabela A.1, adaptado de Robertson, 1990.

Os números referidos na Figura A.2.2 delimitam zonas de solo com comportamento diferenciado de acordo com a descrição que se apresenta na Tabela A.5.1

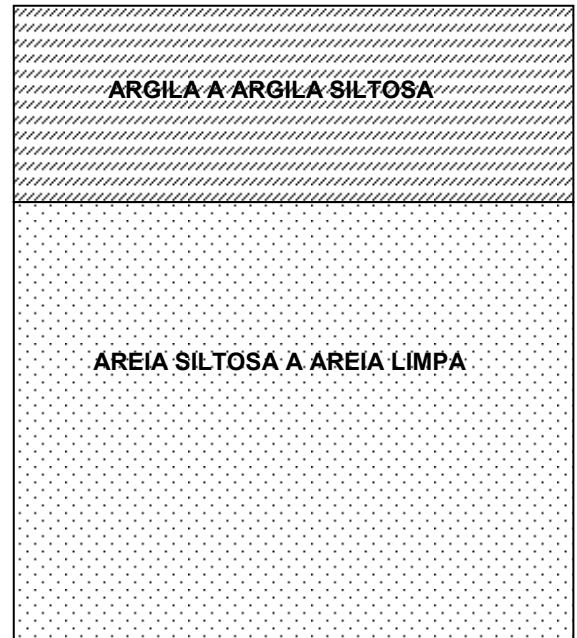
Tabela A.5.1 -Resultado do diagrama , zona e tipo de comportamento do solo (Robertson, 1990).

Zona	Comportamento do solo	Parâmetros utilizados
3	Argilas a argilas siltosas	$Bq = \frac{(U - U_0)}{(qt - \sigma_v)}$
4	Misturas siltosas	$Q = \frac{(qt - \sigma_v)}{\sigma'_v}$
5	Misturas arenosas	
6	Areia siltosa a areia limpa	



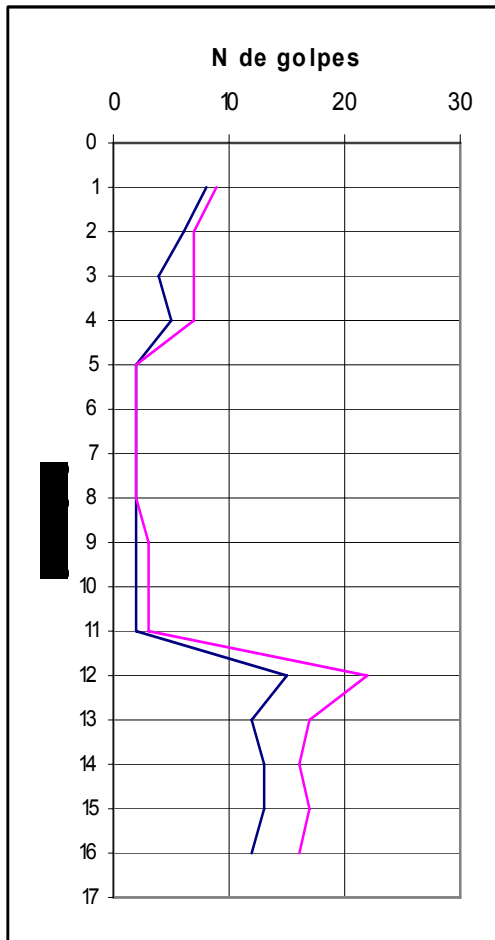
(a)

PERFIL INTERPRETADO



(b)

Figuras A.5.3 (a) e (b) - Resultado do ensaio de piezocone e perfil estratigráfico.



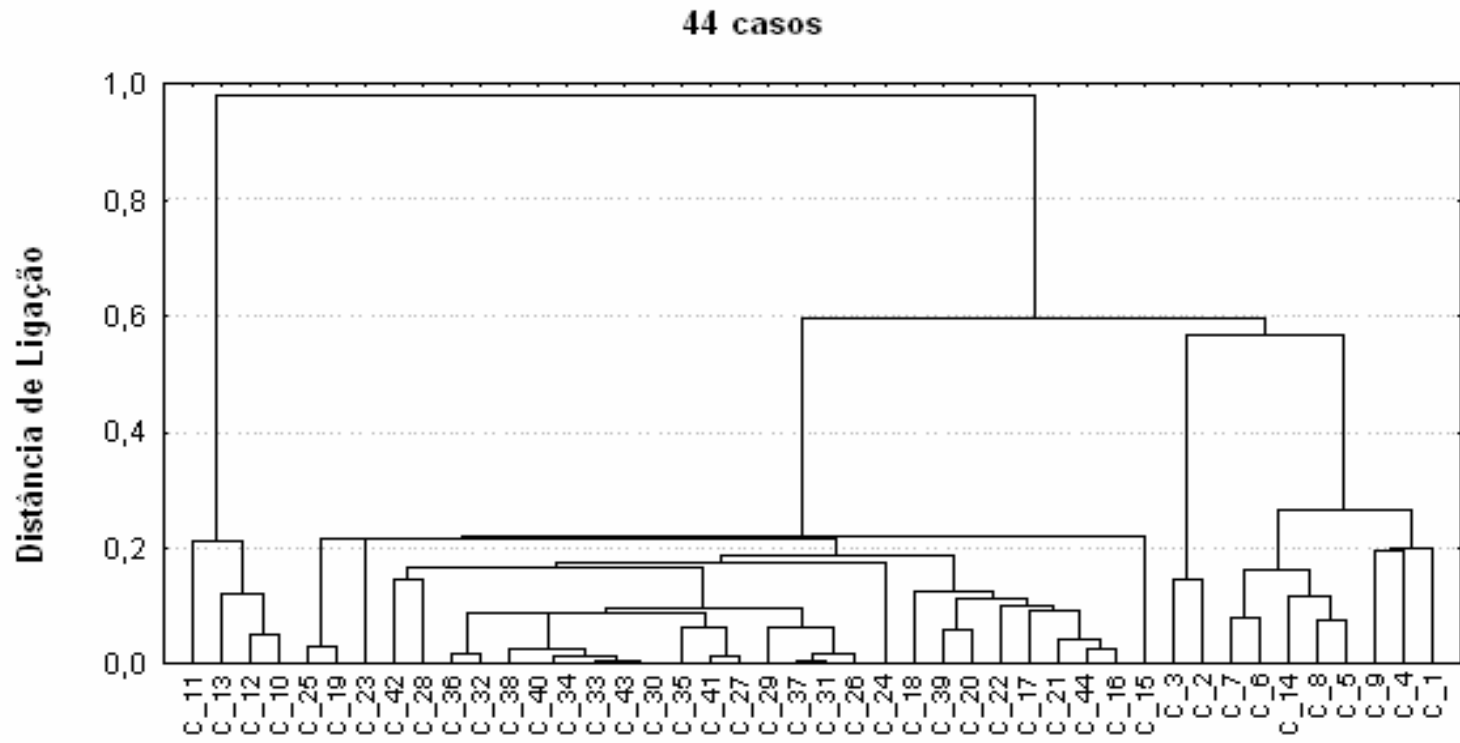
(a)

PERFIL INTERPRETADO

Aterro: areia fina, média e grossa, cor amarela medianamente compacta.
Aterro: silte argiloso, com areia fina e média, cor variegada.
Argila siltosa, com areia fina e média cor amarela.
Argila, com areia fina, cor cinza, muito mole.
Argila siltosa, com areia fina, cor cinza escura, muito mole.
Argila, com turfa, com areia fina, cor preta, mole.
Areia fina, média e grossa, silte argilosa, cor cinza, compacta.

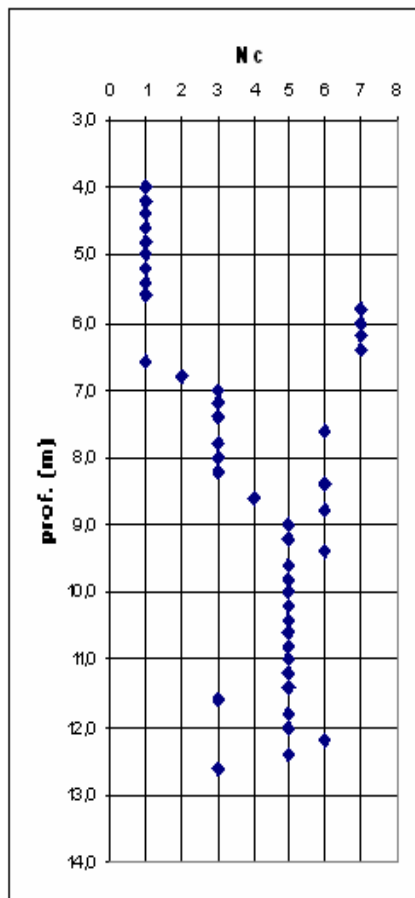
(b)

Figura A.5.4 (a) e (b) – Resultado do ensaio SPT e perfil interpretado.

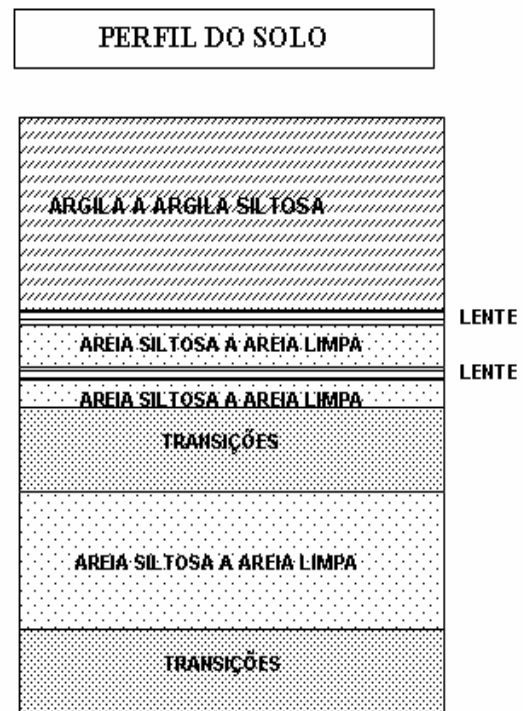


Distância de Ligação = 0,20.

Figura A.5.5 – Dendrograma de agrupamento, utilizando o método de ligação simples e Distância Euclidiana.



(a)



(b)

Figura A.5.6 - (a) e (b) – Resultado final da análise.

Tabela A.5.2 – Resultado dos dados do piezocone com intervalo de 20 cm.

Prof. (m)	Prof.(m)	Qc(Mpa)	Fs(Kpa)	Fs(Mpa)	U (kPa)	U (MPa)	qt (MPa)	Rf	Uo (KPa)	Uo(Mpa)	σ'_v (MPa)	σ_v (MPa)	Bq	Q	Zscore Bq	Zscore Q	Pontos
4,00	0,00	0,29	0	0,000	56,00	0,056	0,303	0,000	0	0,000	0,072	0,072	0,242	3,212	0,727	-1,341	1
4,20	0,20	0,34	3	0,003	26,00	0,026	0,346	0,009	2	0,002	0,074	0,076	0,089	3,680	-0,103	-1,323	2
4,40	0,40	0,61	-1	-0,001	58,00	0,058	0,625	-0,002	4	0,004	0,075	0,079	0,099	7,257	-0,047	-1,191	3
4,60	0,60	0,66	31	0,031	132,00	0,132	0,702	0,047	6	0,006	0,077	0,083	0,203	8,063	0,518	-1,161	4
4,80	0,80	0,48	18	0,018	156,00	0,156	0,532	0,037	8	0,008	0,078	0,086	0,332	5,682	1,215	-1,249	5
5,00	1,00	0,55	8	0,008	165,00	0,165	0,606	0,014	10	0,010	0,080	0,090	0,301	6,447	1,043	-1,221	6
5,20	1,20	0,64	7	0,007	187,00	0,187	0,702	0,011	12	0,012	0,082	0,094	0,288	7,455	0,974	-1,183	7
5,40	1,40	0,66	15	0,015	223,00	0,223	0,732	0,023	14	0,014	0,083	0,097	0,329	7,626	1,199	-1,177	8
5,60	1,60	0,77	22	0,022	190,00	0,190	0,828	0,029	16	0,016	0,085	0,101	0,239	8,575	0,712	-1,142	9
5,80	1,80	0,45	14	0,014	259,00	0,259	0,529	0,031	18	0,018	0,086	0,104	0,567	4,919	2,485	-1,277	10
6,00	2,00	0,46	5	0,005	293,00	0,293	0,559	0,011	20	0,020	0,088	0,108	0,606	5,120	2,695	-1,270	11
6,20	2,20	0,50	6	0,006	291,00	0,291	0,594	0,012	22	0,022	0,090	0,112	0,558	5,382	2,435	-1,260	12
6,40	2,40	0,50	6	0,006	278,00	0,278	0,590	0,012	24	0,024	0,091	0,115	0,535	5,202	2,313	-1,267	13
6,60	2,60	0,57	12	0,012	210,00	0,210	0,638	0,021	26	0,026	0,093	0,119	0,354	5,600	1,333	-1,252	14
6,80	2,80	1,98	18	0,018	88,00	0,088	2,006	0,009	28	0,028	0,094	0,122	0,032	19,950	-0,410	-0,720	15
7,00	3,00	4,11	2	0,002	5,00	0,005	4,116	0,000	30	0,030	0,096	0,126	-0,006	41,559	-0,616	0,082	16
7,20	3,20	3,94	2	0,002	10,00	0,010	3,939	0,001	32	0,032	0,098	0,130	-0,006	39,033	-0,614	-0,012	17
7,40	3,40	3,67	1	0,001	20,00	0,020	3,676	0,000	34	0,034	0,099	0,133	-0,004	35,709	-0,604	-0,135	18
7,60	3,60	2,57	7	0,007	24,00	0,024	2,573	0,003	36	0,036	0,101	0,137	-0,005	24,167	-0,609	-0,563	19
7,80	3,80	5,25	1	0,001	28,00	0,028	5,263	0,000	38	0,038	0,102	0,140	-0,002	50,027	-0,593	0,396	20
8,00	4,00	4,58	2	0,002	32,00	0,032	4,587	0,000	40	0,040	0,104	0,144	-0,002	42,725	-0,592	0,125	21
8,20	4,20	4,93	0	0,000	39,00	0,039	4,946	0,000	42	0,042	0,106	0,148	-0,001	45,437	-0,586	0,226	22
8,40	4,40	3,35	1	0,001	41,00	0,041	3,361	0,000	44	0,044	0,107	0,151	-0,001	29,946	-0,587	-0,349	23
8,60	4,60	6,13	2	0,002	42,00	0,042	6,141	0,000	46	0,046	0,109	0,155	-0,001	55,017	-0,586	0,581	24
8,80	4,80	2,74	3	0,003	46,00	0,046	2,758	0,001	48	0,048	0,110	0,158	-0,001	23,547	-0,587	-0,586	25
9,00	5,00	6,82	38	0,038	68,00	0,068	6,843	0,006	50	0,050	0,112	0,162	0,003	59,653	-0,568	0,753	26
9,20	5,20	8,39	6	0,006	42,00	0,042	8,403	0,001	52	0,052	0,114	0,166	-0,001	72,510	-0,589	1,230	27

9,40	5,40	9,07	6	0,006	51,00	0,051	9,082	0,001	54	0,054	0,115	0,169	0,000	77,365	-0,584	1,410	28
9,60	5,60	7,36	6	0,006	52,00	0,052	7,373	0,001	56	0,056	0,117	0,173	-0,001	61,645	-0,585	0,827	29
9,80	5,80	8,10	8	0,008	53,00	0,053	8,121	0,001	58	0,058	0,118	0,176	-0,001	67,102	-0,586	1,029	30
10,00	6,00	7,36	6	0,006	54,00	0,054	7,374	0,001	60	0,060	0,120	0,180	-0,001	59,947	-0,587	0,764	31
10,20	6,20	7,98	7	0,007	55,00	0,055	7,997	0,001	62	0,062	0,122	0,184	-0,001	64,254	-0,587	0,924	32
10,40	6,40	8,46	8	0,008	59,00	0,059	8,479	0,001	64	0,064	0,123	0,187	-0,001	67,305	-0,586	1,037	33
10,60	6,60	8,62	11	0,011	61,00	0,061	8,640	0,001	66	0,066	0,125	0,191	-0,001	67,701	-0,586	1,052	34
10,80	6,80	9,12	6	0,006	63,00	0,063	9,140	0,001	68	0,068	0,126	0,194	-0,001	70,768	-0,585	1,165	35
11,00	7,00	8,46	8	0,008	66,00	0,066	8,482	0,001	70	0,070	0,128	0,198	0,000	64,715	-0,585	0,941	36
11,20	7,20	7,93	11	0,011	67,00	0,067	7,948	0,001	72	0,072	0,130	0,202	-0,001	59,770	-0,586	0,757	37
11,40	7,40	9,15	9	0,009	69,00	0,069	9,176	0,001	74	0,074	0,131	0,205	-0,001	68,379	-0,585	1,077	38
11,60	7,60	6,63	8	0,008	70,00	0,070	6,648	0,001	76	0,076	0,133	0,209	-0,001	48,487	-0,587	0,339	39
11,80	7,80	9,28	15	0,015	73,00	0,073	9,303	0,002	78	0,078	0,134	0,212	-0,001	67,637	-0,585	1,049	40
12,00	8,00	10,10	12	0,012	75,00	0,075	10,122	0,001	80	0,080	0,136	0,216	-0,001	72,842	-0,585	1,242	41
12,20	8,20	11,38	12	0,012	77,00	0,077	11,406	0,001	82	0,082	0,138	0,220	0,000	81,297	-0,585	1,556	42
12,40	8,40	9,55	10	0,010	79,00	0,079	9,572	0,001	84	0,084	0,139	0,223	-0,001	67,159	-0,585	1,032	43
12,60	8,60	6,06	10	0,010	79,00	0,079	6,081	0,002	86	0,086	0,141	0,227	-0,001	41,576	-0,589	0,083	44

Tabela A.5.3 – Resultado final da análise.

PONTOS	Prof.(m)	N° DE CLUSTER								COMPORTAMENTO DO SOLO	
		1	2	3	4	5	6	7	Nc		
1	4,00	x								1	ARGILA A ARGILAS SILTOSAS
2	4,20	x								1	
3	4,40	x								1	
4	4,60	x								1	
5	4,80	x								1	
6	5,00	x								1	
7	5,20	x								1	
8	5,40	x								1	
9	5,60	x								1	
10	5,80								x	7	
11	6,00								x	7	
12	6,20								x	7	
13	6,40								x	7	
14	6,60	x								1	
15	6,80		x							2	LENTE
16	7,00			x						3	AREIA SILTOSA A AREIA LIMPA
17	7,20			x						3	
18	7,40			x						3	
19	7,60							x		6	LENTE
20	7,80			x						3	AREIA SILTOSA A AREIA LIMPA
21	8,00			x						3	
22	8,20			x						3	
23	8,40							x		6	TRANSIÇÕES
24	8,60				x					4	
25	8,80							x		6	
26	9,00					x				5	
27	9,20					x				5	
28	9,40							x		6	
29	9,60					x				5	AREIA SILTOSA A AREIA LIMPA
30	9,80					x				5	
31	10,00					x				5	
32	10,20					x				5	
33	10,40					x				5	
34	10,60					x				5	
35	10,80					x				5	
36	11,00					x				5	
37	11,20					x				5	
38	11,40					x				5	
39	11,60			x						3	TRANSIÇÕES
40	11,80					x				5	
41	12,00					x				5	
42	12,20							x		6	
43	12,40					x				5	
44	12,60			x						3	

APENDICE 06

Ensaio 01 - Avenida Adão Pereira Nunes – Lapa – Campos, R.J.

Ensaio 01 - Avenida Adão Pereira Nunes – Lapa – Campos, R.J. - 167 pontos.

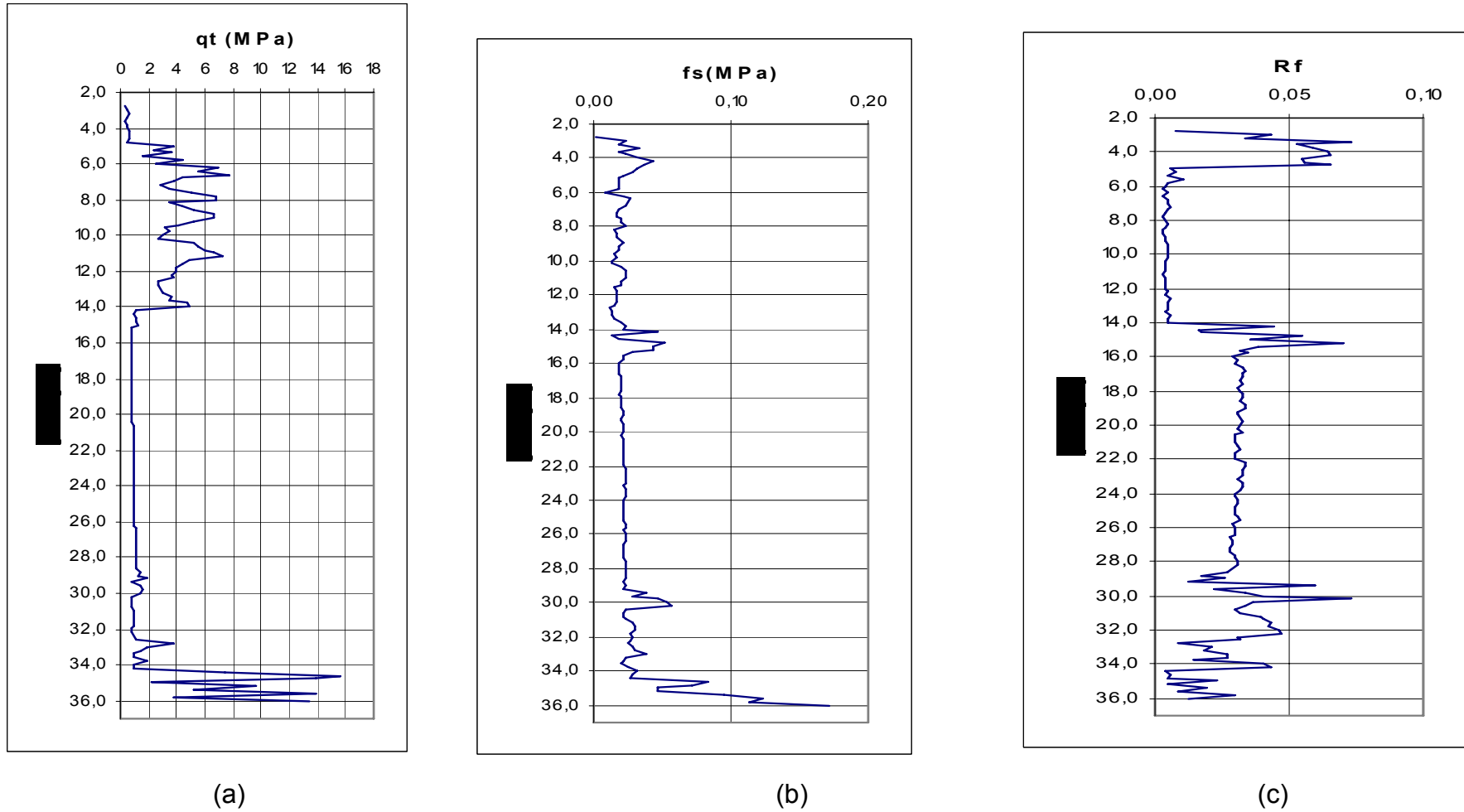


Figura A.6.1 - (a), (b) e (c): Resultados típicos do ensaio CPTU.

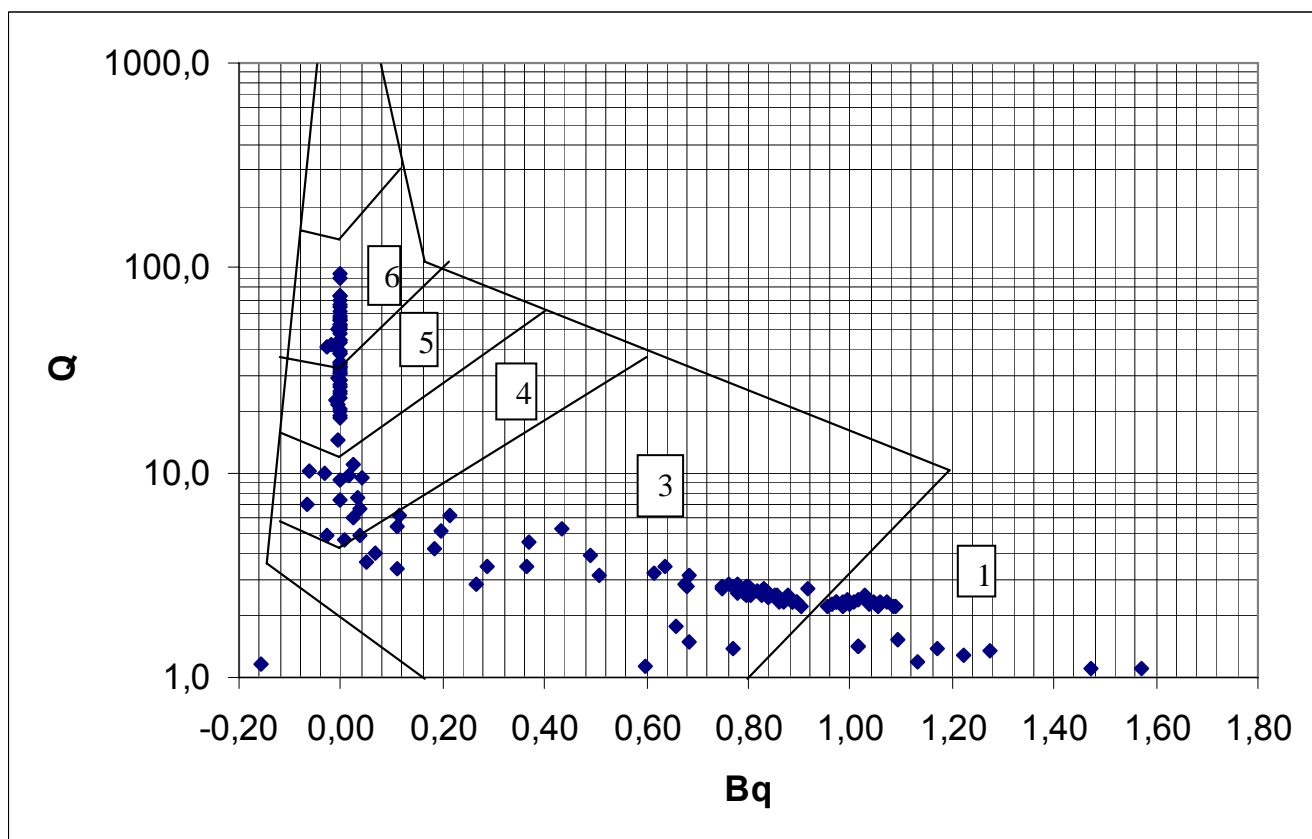


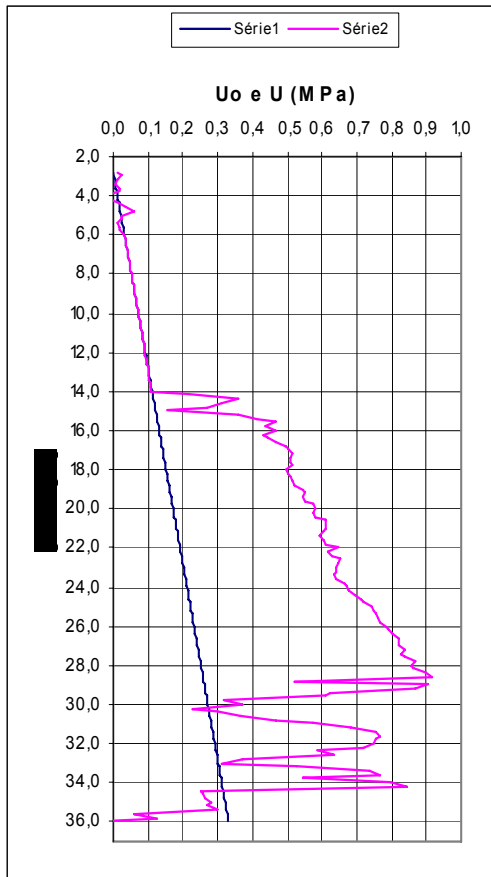
Figura A.6.2 - Gráfico contendo os resultados da razão de poro pressão (B_q) e da resistência normalizada do cone (Q), de acordo com a tabela A.1, adaptado de Robertson, 1990.

Os números referidos na Figura A.6.2 delimitam zonas de solo com comportamento diferenciado de acordo com a descrição que se apresenta na Tabela A.6.1

Tabela A.6.1 - Resultado do diagrama – zona e tipo de comportamento do solo (Robertson, 1990).

Zona	Comportamento do solo	Parâmetros utilizados
1	Solo sensível de granulometria fina	
3	Argilas a argilas siltosas	$B_q = \frac{(U - U_0)}{(qt - \sigma)}$
4	Misturas siltosas	$Q = \frac{(qt - \sigma)}{\sigma'v}$
5	Misturas arenosas	

6	Areia siltosa a areia limpa	
---	-----------------------------	--

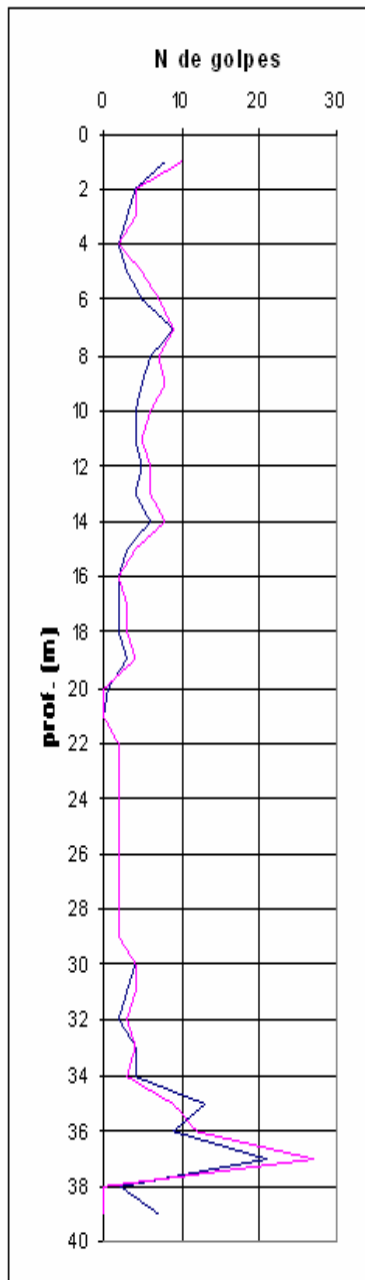


(a)



(b)

Fig. A.6.3 - Resultado do ensaio de piezocone e perfil estratigráfico.



(a)

PERFIL INTERPRETADO

Argila siltosa, com areia fina, cor amarela, mole.

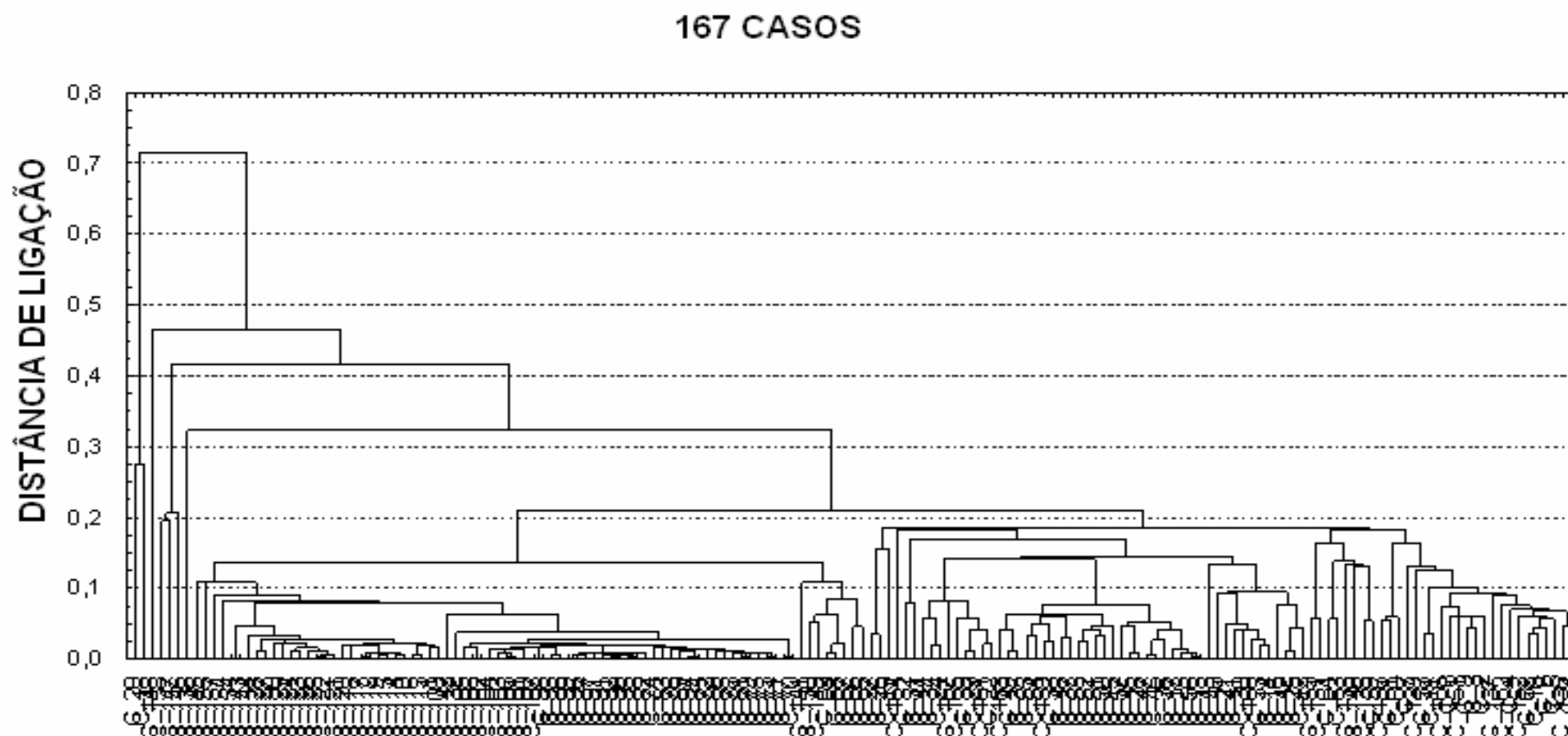
Areia grossa, fina e média, siltosa, cor cinza claro, pouco compacta.

Argila siltosa, com areia fina, com mica, cor cinza escura mole.

Solo residual: argila, com areia grossa, média e fina, com mica, cor variegada, dura.

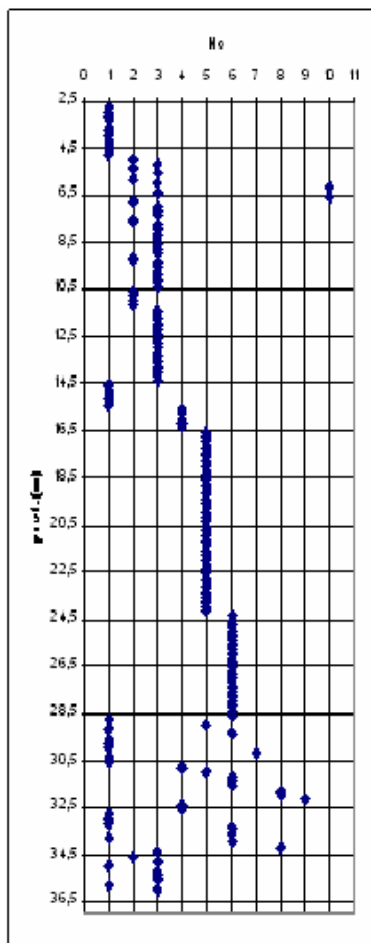
(b)

Figuras A.6.4 (a) e (b) – Resultado do ensaio SPT e perfil do solo.



Distância de Ligação = 0,12

Figura A.6.5 – Dendrograma de agrupamento, utilizando o método de ligação simples e Distância Euclidiana.



(a)



(b)

Figura A.6.6 – Resultado final da análise.

Tabela A.6.2 – Resultado dos dados do piezocone com intervalo de 20 cm.

prof.(m)	prof.(m)	qc(MPa)	fs(KPa)	fs(MPa)	U(KPa)	U(MPa)	Rf	qt(Mpa)	Uo(Kpa)	Uo(Mpa)	$\sigma'v$ (Mpa)	σv (Mpa)	Bq	Q	znorm.Bq	znorm. Q	Pontos
2,78	0,0	0,249	2	0,002	14	0,014	0,008	0,254	0	0,000	0,050	0,050	0,069	4,067	-0,864	-0,549	1
2,98	0,2	0,534	23	0,023	23	0,023	0,043	0,541	2	0,002	0,052	0,054	0,043	9,447	-0,919	-0,289	2
3,18	0,4	0,570	19	0,019	12	0,012	0,033	0,574	4	0,004	0,053	0,057	0,015	9,705	-0,977	-0,277	3
3,38	0,6	0,463	34	0,034	6	0,006	0,073	0,465	6	0,006	0,055	0,061	0,000	7,369	-1,009	-0,390	4
3,58	0,8	0,338	18	0,018	18	0,018	0,053	0,344	8	0,008	0,056	0,064	0,036	4,951	-0,934	-0,506	5
3,78	1,0	0,410	24	0,024	18	0,018	0,059	0,416	10	0,010	0,058	0,068	0,023	5,993	-0,961	-0,456	6
3,98	1,2	0,499	32	0,032	-16	-0,016	0,064	0,494	12	0,012	0,060	0,072	-0,066	7,078	-1,149	-0,404	7
4,18	1,4	0,677	44	0,044	-4	-0,004	0,065	0,676	14	0,014	0,061	0,075	-0,030	9,805	-1,072	-0,272	8
4,38	1,6	0,659	36	0,036	14	0,014	0,055	0,664	16	0,016	0,063	0,079	-0,003	9,305	-1,016	-0,296	9
4,58	1,8	0,552	31	0,031	34	0,034	0,056	0,563	18	0,018	0,064	0,082	0,033	7,459	-0,939	-0,385	10
4,78	2,0	0,427	28	0,028	59	0,059	0,066	0,446	20	0,020	0,066	0,086	0,108	5,454	-0,781	-0,482	11
4,98	2,2	3,811	22	0,022	21	0,021	0,006	3,818	22	0,022	0,068	0,090	0,000	55,118	-1,010	1,914	12
5,18	2,4	2,333	18	0,018	22	0,022	0,008	2,340	24	0,024	0,069	0,093	-0,001	32,451	-1,011	0,820	13
5,38	2,6	3,669	19	0,019	11	0,011	0,005	3,673	26	0,026	0,071	0,097	-0,004	50,476	-1,018	1,690	14
5,58	2,8	1,639	18	0,018	18	0,018	0,011	1,645	28	0,028	0,072	0,100	-0,006	21,320	-1,023	0,283	15
5,78	3,0	4,381	19	0,019	20	0,020	0,004	4,388	30	0,030	0,074	0,104	-0,002	57,854	-1,014	2,046	16
5,98	3,2	2,529	9	0,009	32	0,032	0,004	2,539	32	0,032	0,076	0,108	0,000	32,150	-1,009	0,806	17
6,18	3,4	6,928	22	0,022	34	0,034	0,003	6,939	34	0,034	0,077	0,111	0,000	88,398	-1,009	3,520	18
6,38	3,6	5,592	26	0,026	36	0,036	0,005	5,604	36	0,036	0,079	0,115	0,000	69,621	-1,009	2,614	19
6,58	3,8	7,676	25	0,025	38	0,038	0,003	7,688	38	0,038	0,080	0,118	0,000	94,107	-1,009	3,795	20
6,78	4,0	4,470	23	0,023	39	0,039	0,005	4,483	40	0,040	0,082	0,122	0,000	53,153	-1,010	1,819	21
6,98	4,2	3,722	18	0,018	41	0,041	0,005	3,735	42	0,042	0,084	0,126	0,000	43,158	-1,010	1,337	22
7,18	4,4	2,903	16	0,016	43	0,043	0,006	2,917	44	0,044	0,085	0,129	0,000	32,705	-1,010	0,833	23
7,38	4,6	3,402	16	0,016	45	0,045	0,005	3,417	46	0,046	0,087	0,133	0,000	37,815	-1,010	1,079	24
7,58	4,8	5,076	20	0,020	48	0,048	0,004	5,092	48	0,048	0,088	0,136	0,000	56,029	-1,009	1,958	25
7,78	5,0	6,750	20	0,020	50	0,050	0,003	6,766	50	0,050	0,090	0,140	0,000	73,592	-1,009	2,805	26
7,98	5,2	6,804	23	0,023	52	0,052	0,003	6,821	52	0,052	0,092	0,144	0,000	72,865	-1,009	2,770	27

8,18	5,4	3,384	15	0,015	54	0,054	0,004	3,402	54	0,054	0,093	0,147	0,000	34,903	-1,009	0,939	28
8,38	5,6	4,346	16	0,016	55	0,055	0,004	4,364	56	0,056	0,095	0,151	0,000	44,423	-1,010	1,398	29
8,58	5,8	5,165	16	0,016	57	0,057	0,003	5,184	58	0,058	0,096	0,154	0,000	52,148	-1,010	1,771	30
8,78	6,0	6,590	20	0,020	60	0,060	0,003	6,610	60	0,060	0,098	0,158	0,000	65,805	-1,009	2,430	31
8,98	6,2	6,536	22	0,022	61	0,061	0,003	6,556	62	0,062	0,100	0,162	0,000	64,173	-1,010	2,351	32
9,18	6,4	5,218	18	0,018	64	0,064	0,003	5,239	64	0,064	0,101	0,165	0,000	50,115	-1,009	1,673	33
9,38	6,6	4,079	18	0,018	66	0,066	0,004	4,101	66	0,066	0,103	0,169	0,000	38,231	-1,009	1,099	34
9,58	6,8	3,099	15	0,015	67	0,067	0,005	3,121	68	0,068	0,104	0,172	0,000	28,231	-1,010	0,617	35
9,78	7,0	3,473	16	0,016	69	0,069	0,005	3,495	70	0,070	0,106	0,176	0,000	31,304	-1,010	0,765	36
9,98	7,2	2,956	14	0,014	71	0,071	0,005	2,979	72	0,072	0,108	0,180	0,000	26,008	-1,010	0,510	37
10,18	7,4	2,672	14	0,014	73	0,073	0,005	2,696	74	0,074	0,109	0,183	0,000	23,000	-1,010	0,364	38
10,38	7,6	5,112	20	0,020	76	0,076	0,004	5,137	76	0,076	0,111	0,187	0,000	44,658	-1,009	1,409	39
10,58	7,8	5,521	23	0,023	78	0,078	0,004	5,546	78	0,078	0,112	0,190	0,000	47,634	-1,009	1,553	40
10,78	8,0	6,020	23	0,023	79	0,079	0,004	6,046	80	0,080	0,114	0,194	0,000	51,313	-1,010	1,731	41
10,98	8,2	6,679	24	0,024	81	0,081	0,004	6,705	82	0,082	0,116	0,198	0,000	56,276	-1,010	1,970	42
11,18	8,4	7,284	20	0,020	84	0,084	0,003	7,311	84	0,084	0,117	0,201	0,000	60,646	-1,009	2,181	43
11,38	8,6	4,862	20	0,020	85	0,085	0,004	4,890	86	0,086	0,119	0,205	0,000	39,422	-1,010	1,157	44
11,58	8,8	4,364	15	0,015	87	0,087	0,003	4,392	88	0,088	0,120	0,208	0,000	34,739	-1,010	0,931	45
11,78	9,0	3,936	17	0,017	89	0,089	0,004	3,965	90	0,090	0,122	0,212	0,000	30,752	-1,010	0,738	46
11,98	9,2	3,972	17	0,017	91	0,091	0,004	4,002	92	0,092	0,124	0,216	0,000	30,621	-1,010	0,732	47
12,18	9,4	3,526	16	0,016	92	0,092	0,005	3,556	94	0,094	0,125	0,219	-0,001	26,643	-1,011	0,540	48
12,38	9,6	3,740	16	0,016	95	0,095	0,004	3,771	96	0,096	0,127	0,223	0,000	27,973	-1,010	0,604	49
12,58	9,8	2,636	15	0,015	96	0,096	0,006	2,667	98	0,098	0,128	0,226	-0,001	19,004	-1,011	0,172	50
12,78	10,0	2,582	12	0,012	99	0,099	0,005	2,614	100	0,100	0,130	0,230	0,000	18,335	-1,010	0,139	51
12,98	10,2	2,814	13	0,013	101	0,101	0,005	2,847	102	0,102	0,132	0,234	0,000	19,852	-1,010	0,213	52
13,18	10,4	2,921	14	0,014	103	0,103	0,005	2,955	104	0,104	0,133	0,237	0,000	20,394	-1,010	0,239	53
13,38	10,6	3,544	15	0,015	104	0,104	0,004	3,578	106	0,106	0,135	0,241	-0,001	24,748	-1,011	0,449	54
13,58	10,8	3,491	20	0,020	106	0,106	0,006	3,526	108	0,108	0,136	0,244	-0,001	24,048	-1,011	0,415	55
13,78	11,0	4,702	24	0,024	107	0,107	0,005	4,737	110	0,110	0,138	0,248	-0,001	32,518	-1,011	0,824	56
13,98	11,2	4,933	22	0,022	110	0,110	0,004	4,969	112	0,112	0,140	0,252	0,000	33,781	-1,010	0,885	57
14,18	11,4	1,051	46	0,046	215	0,215	0,044	1,121	114	0,114	0,141	0,255	0,117	6,130	-0,764	-0,449	58
14,38	11,6	0,801	13	0,013	360	0,360	0,016	0,918	116	0,116	0,143	0,259	0,370	4,617	-0,231	-0,522	59

14,58	11,8	1,051	18	0,018	309	0,309	0,017	1,152	118	0,118	0,144	0,262	0,215	6,157	-0,557	-0,448	60
14,78	12,0	0,944	52	0,052	270	0,270	0,055	1,032	120	0,120	0,146	0,266	0,196	5,245	-0,597	-0,492	61
14,98	12,2	1,211	43	0,043	158	0,158	0,036	1,263	122	0,122	0,148	0,270	0,036	6,725	-0,933	-0,421	62
15,18	12,4	0,623	44	0,044	362	0,362	0,071	0,741	124	0,124	0,149	0,273	0,509	3,134	0,061	-0,594	63
15,38	12,6	0,730	28	0,028	413	0,413	0,038	0,865	126	0,126	0,151	0,277	0,488	3,897	0,018	-0,557	64
15,58	12,8	0,659	21	0,021	465	0,465	0,032	0,811	128	0,128	0,152	0,280	0,636	3,478	0,328	-0,577	65
15,78	13,0	0,641	22	0,022	437	0,437	0,034	0,783	130	0,130	0,154	0,284	0,615	3,242	0,284	-0,589	66
15,98	13,2	0,623	18	0,018	465	0,465	0,029	0,775	132	0,132	0,156	0,288	0,684	3,129	0,430	-0,594	67
16,18	13,4	0,588	18	0,018	430	0,430	0,031	0,728	134	0,134	0,157	0,291	0,677	2,779	0,416	-0,611	68
16,38	13,6	0,606	18	0,018	443	0,443	0,030	0,750	136	0,136	0,159	0,295	0,674	2,868	0,409	-0,607	69
16,58	13,8	0,588	19	0,019	469	0,469	0,032	0,741	138	0,138	0,160	0,298	0,748	2,758	0,565	-0,612	70
16,78	14,0	0,588	20	0,020	498	0,498	0,034	0,750	140	0,140	0,162	0,302	0,799	2,767	0,671	-0,612	71
16,98	14,2	0,606	20	0,020	503	0,503	0,033	0,770	142	0,142	0,164	0,306	0,777	2,838	0,627	-0,608	72
17,18	14,4	0,606	20	0,020	514	0,514	0,033	0,774	144	0,144	0,165	0,309	0,797	2,810	0,668	-0,610	73
17,38	14,6	0,623	20	0,020	509	0,509	0,032	0,789	146	0,146	0,167	0,313	0,762	2,854	0,595	-0,608	74
17,58	14,8	0,606	20	0,020	510	0,510	0,033	0,772	148	0,148	0,168	0,316	0,794	2,706	0,662	-0,615	75
17,78	15,0	0,623	19	0,019	512	0,512	0,030	0,790	150	0,150	0,170	0,320	0,770	2,763	0,612	-0,612	76
17,98	15,2	0,623	20	0,020	498	0,498	0,032	0,785	152	0,152	0,172	0,324	0,749	2,690	0,568	-0,615	77
18,18	15,4	0,606	20	0,020	505	0,505	0,033	0,771	154	0,154	0,173	0,327	0,792	2,559	0,657	-0,622	78
18,38	15,6	0,606	20	0,020	506	0,506	0,033	0,771	156	0,156	0,175	0,331	0,795	2,517	0,664	-0,624	79
18,58	15,8	0,623	20	0,020	514	0,514	0,032	0,791	158	0,158	0,176	0,334	0,780	2,585	0,633	-0,621	80
18,78	16,0	0,623	21	0,021	522	0,522	0,034	0,793	160	0,160	0,178	0,338	0,795	2,556	0,665	-0,622	81
18,98	16,2	0,623	21	0,021	546	0,546	0,034	0,801	162	0,162	0,180	0,342	0,836	2,557	0,750	-0,622	82
19,18	16,4	0,641	20	0,020	553	0,553	0,031	0,821	164	0,164	0,181	0,345	0,817	2,627	0,710	-0,619	83
19,38	16,6	0,641	20	0,020	543	0,543	0,031	0,818	166	0,166	0,183	0,349	0,804	2,566	0,682	-0,621	84
19,58	16,8	0,659	21	0,021	550	0,550	0,032	0,838	168	0,168	0,184	0,352	0,786	2,634	0,645	-0,618	85
19,78	17,0	0,641	21	0,021	573	0,573	0,033	0,828	170	0,170	0,186	0,356	0,854	2,536	0,788	-0,623	86
19,98	17,2	0,659	21	0,021	583	0,583	0,032	0,849	172	0,172	0,188	0,360	0,840	2,608	0,758	-0,619	87
20,18	17,4	0,659	20	0,020	573	0,573	0,030	0,846	174	0,174	0,189	0,363	0,827	2,550	0,731	-0,622	88
20,38	17,6	0,677	22	0,022	580	0,580	0,032	0,866	176	0,176	0,191	0,367	0,809	2,616	0,694	-0,619	89
20,58	17,8	0,695	21	0,021	613	0,613	0,030	0,895	178	0,178	0,192	0,370	0,830	2,725	0,736	-0,614	90
20,78	18,0	0,695	21	0,021	609	0,609	0,030	0,894	180	0,180	0,194	0,374	0,826	2,677	0,729	-0,616	91

20,98	18,2	0,695	21	0,021	610	0,610	0,030	0,894	182	0,182	0,196	0,378	0,829	2,639	0,736	-0,618	92
21,18	18,4	0,677	21	0,021	603	0,603	0,031	0,874	184	0,184	0,197	0,381	0,851	2,496	0,782	-0,625	93
21,38	18,6	0,695	22	0,022	590	0,590	0,032	0,887	186	0,186	0,199	0,385	0,804	2,527	0,683	-0,623	94
21,58	18,8	0,695	21	0,021	604	0,604	0,030	0,892	188	0,188	0,200	0,388	0,826	2,512	0,730	-0,624	95
21,78	19,0	0,695	21	0,021	613	0,613	0,030	0,895	190	0,190	0,202	0,392	0,841	2,489	0,761	-0,625	96
21,98	19,2	0,730	22	0,022	646	0,646	0,030	0,941	192	0,192	0,204	0,396	0,833	2,676	0,744	-0,616	97
22,18	19,4	0,677	23	0,023	619	0,619	0,034	0,879	194	0,194	0,205	0,399	0,886	2,337	0,856	-0,632	98
22,38	19,6	0,712	24	0,024	628	0,628	0,034	0,917	196	0,196	0,207	0,403	0,841	2,484	0,760	-0,625	99
22,58	19,8	0,712	23	0,023	654	0,654	0,032	0,925	198	0,198	0,208	0,406	0,879	2,489	0,841	-0,625	100
22,78	20,0	0,712	23	0,023	647	0,647	0,032	0,923	200	0,200	0,210	0,410	0,872	2,442	0,825	-0,627	101
22,98	20,2	0,695	23	0,023	642	0,642	0,033	0,904	202	0,202	0,212	0,414	0,897	2,318	0,878	-0,633	102
23,18	20,4	0,712	22	0,022	641	0,641	0,031	0,921	204	0,204	0,213	0,417	0,868	2,362	0,816	-0,631	103
23,38	20,6	0,712	23	0,023	635	0,635	0,032	0,919	206	0,206	0,215	0,421	0,861	2,319	0,803	-0,633	104
23,58	20,8	0,695	23	0,023	642	0,642	0,033	0,904	208	0,208	0,216	0,424	0,904	2,217	0,894	-0,638	105
23,78	21,0	0,730	23	0,023	662	0,662	0,032	0,946	210	0,210	0,218	0,428	0,873	2,375	0,828	-0,631	106
23,98	21,2	0,730	22	0,022	670	0,670	0,030	0,948	212	0,212	0,220	0,432	0,886	2,353	0,856	-0,632	107
24,18	21,4	0,730	22	0,022	676	0,676	0,030	0,950	214	0,214	0,221	0,435	0,897	2,328	0,878	-0,633	108
24,38	21,6	0,712	22	0,022	692	0,692	0,031	0,938	216	0,216	0,223	0,439	0,954	2,238	0,999	-0,637	109
24,58	21,8	0,712	22	0,022	712	0,712	0,031	0,944	218	0,218	0,224	0,442	0,985	2,235	1,063	-0,637	110
24,78	22,0	0,730	22	0,022	719	0,719	0,030	0,964	220	0,220	0,226	0,446	0,963	2,293	1,017	-0,635	111
24,98	22,2	0,730	22	0,022	744	0,744	0,030	0,973	222	0,222	0,228	0,450	0,998	2,297	1,092	-0,634	112
25,18	22,4	0,748	22	0,022	747	0,747	0,029	0,992	224	0,224	0,229	0,453	0,972	2,348	1,035	-0,632	113
25,38	22,6	0,748	23	0,023	757	0,757	0,031	0,995	226	0,226	0,231	0,457	0,987	2,330	1,068	-0,633	114
25,58	22,8	0,748	24	0,024	758	0,758	0,032	0,995	228	0,228	0,232	0,460	0,991	2,300	1,077	-0,634	115
25,78	23,0	0,766	22	0,022	768	0,768	0,029	1,016	230	0,230	0,234	0,464	0,974	2,360	1,041	-0,631	116
25,98	23,2	0,766	23	0,023	785	0,785	0,030	1,022	232	0,232	0,236	0,468	0,998	2,352	1,090	-0,632	117
26,18	23,4	0,766	23	0,023	791	0,791	0,030	1,024	234	0,234	0,237	0,471	1,008	2,329	1,112	-0,633	118
26,38	23,6	0,784	23	0,023	803	0,803	0,029	1,046	236	0,236	0,239	0,475	0,993	2,390	1,081	-0,630	119
26,58	23,8	0,784	22	0,022	821	0,821	0,028	1,052	238	0,238	0,240	0,478	1,017	2,384	1,131	-0,630	120
26,78	24,0	0,766	22	0,022	819	0,819	0,029	1,033	240	0,240	0,242	0,482	1,051	2,276	1,202	-0,635	121
26,98	24,2	0,766	22	0,022	819	0,819	0,029	1,033	242	0,242	0,244	0,486	1,054	2,247	1,209	-0,637	122
27,18	24,4	0,784	22	0,022	836	0,836	0,028	1,057	244	0,244	0,245	0,489	1,044	2,313	1,187	-0,634	123

27,38	24,6	0,784	22	0,022	829	0,829	0,028	1,054	246	0,246	0,247	0,493	1,038	2,274	1,176	-0,635	124
27,58	24,8	0,784	23	0,023	841	0,841	0,029	1,058	248	0,248	0,248	0,496	1,056	2,261	1,212	-0,636	125
27,78	25,0	0,801	24	0,024	870	0,870	0,030	1,085	250	0,250	0,250	0,500	1,061	2,338	1,223	-0,632	126
27,98	25,2	0,784	24	0,024	859	0,859	0,031	1,064	252	0,252	0,252	0,504	1,083	2,227	1,270	-0,638	127
28,18	25,4	0,784	24	0,024	861	0,861	0,031	1,065	254	0,254	0,253	0,507	1,089	2,201	1,282	-0,639	128
28,38	25,6	0,819	24	0,024	900	0,900	0,029	1,112	256	0,256	0,255	0,511	1,071	2,361	1,244	-0,631	129
28,58	25,8	0,855	23	0,023	916	0,916	0,027	1,154	258	0,258	0,256	0,514	1,029	2,492	1,157	-0,625	130
28,78	26,0	1,247	22	0,022	519	0,519	0,018	1,416	260	0,260	0,258	0,518	0,288	3,481	-0,402	-0,577	131
28,98	26,2	0,926	24	0,024	904	0,904	0,026	1,221	262	0,262	0,260	0,522	0,918	2,692	0,923	-0,615	132
29,18	26,4	1,639	21	0,021	867	0,867	0,013	1,922	264	0,264	0,261	0,525	0,432	5,345	-0,101	-0,487	133
29,38	26,6	0,641	38	0,038	622	0,622	0,059	0,844	266	0,266	0,263	0,529	1,130	1,198	1,370	-0,687	134
29,58	26,8	1,265	28	0,028	609	0,609	0,022	1,464	268	0,268	0,264	0,532	0,366	3,521	-0,239	-0,575	135
29,78	27,0	1,407	47	0,047	317	0,317	0,033	1,510	270	0,270	0,266	0,536	0,048	3,662	-0,908	-0,569	136
29,98	27,2	1,318	53	0,053	370	0,370	0,040	1,439	272	0,272	0,268	0,540	0,109	3,359	-0,780	-0,583	137
30,18	27,4	0,784	57	0,057	225	0,225	0,073	0,857	274	0,274	0,269	0,543	-0,156	1,167	-1,338	-0,689	138
30,38	27,6	0,659	24	0,024	297	0,297	0,036	0,756	276	0,276	0,271	0,547	0,100	0,772	-0,798	-0,708	139
30,58	27,8	0,659	22	0,022	364	0,364	0,033	0,778	278	0,278	0,272	0,550	0,378	0,834	-0,213	-0,705	140
30,78	28,0	0,712	21	0,021	465	0,465	0,029	0,864	280	0,280	0,274	0,554	0,598	1,130	0,248	-0,691	141
30,98	28,2	0,748	24	0,024	572	0,572	0,032	0,934	282	0,282	0,276	0,558	0,770	1,367	0,610	-0,679	142
31,18	28,4	0,730	29	0,029	681	0,681	0,040	0,952	284	0,284	0,277	0,561	1,016	1,409	1,129	-0,677	143
31,38	28,6	0,748	30	0,030	755	0,755	0,040	0,994	286	0,286	0,279	0,565	1,093	1,540	1,290	-0,671	144
31,58	28,8	0,695	30	0,030	769	0,769	0,043	0,946	288	0,288	0,280	0,568	1,275	1,345	1,674	-0,680	145
31,78	29,0	0,641	27	0,027	753	0,753	0,042	0,886	290	0,290	0,282	0,572	1,472	1,115	2,089	-0,691	146
31,98	29,2	0,606	28	0,028	748	0,748	0,046	0,850	292	0,292	0,284	0,576	1,663	0,967	2,490	-0,699	147
32,18	29,4	0,570	27	0,027	717	0,717	0,047	0,804	294	0,294	0,285	0,579	1,884	0,787	2,956	-0,707	148
32,38	29,6	0,819	25	0,025	588	0,588	0,031	1,011	296	0,296	0,287	0,583	0,682	1,492	0,427	-0,673	149
32,58	29,8	0,891	28	0,028	635	0,635	0,031	1,098	298	0,298	0,288	0,586	0,659	1,774	0,377	-0,660	150
32,78	30,0	3,633	30	0,030	371	0,371	0,008	3,754	300	0,300	0,290	0,590	0,022	10,909	-0,962	-0,219	151
32,98	30,2	1,852	39	0,039	312	0,312	0,021	1,954	302	0,302	0,292	0,594	0,007	4,664	-0,994	-0,520	152
33,18	30,4	1,265	23	0,023	526	0,526	0,018	1,436	304	0,304	0,293	0,597	0,265	2,862	-0,453	-0,607	153
33,38	30,6	0,784	21	0,021	736	0,736	0,027	1,024	306	0,306	0,295	0,601	1,016	1,435	1,130	-0,676	154
33,58	30,8	0,730	20	0,020	768	0,768	0,027	0,980	308	0,308	0,296	0,604	1,224	1,268	1,566	-0,684	155

33,78	31,0	1,692	25	0,025	542	0,542	0,015	1,869	310	0,310	0,298	0,608	0,184	4,230	-0,622	-0,541	156
33,98	31,2	0,766	31	0,031	798	0,798	0,040	1,026	312	0,312	0,300	0,612	1,172	1,383	1,458	-0,678	157
34,18	31,4	0,677	29	0,029	842	0,842	0,043	0,951	314	0,314	0,301	0,615	1,570	1,116	2,295	-0,691	158
34,38	31,6	7,391	27	0,027	254	0,254	0,004	7,474	316	0,316	0,303	0,619	-0,009	22,636	-1,028	0,347	159
34,58	31,8	15,620	84	0,084	260	0,260	0,005	15,705	318	0,318	0,304	0,622	-0,004	49,541	-1,017	1,645	160
34,78	32,0	13,874	72	0,072	264	0,264	0,005	13,960	320	0,320	0,306	0,626	-0,004	43,570	-1,018	1,357	161
34,98	32,2	2,048	47	0,047	279	0,279	0,023	2,139	322	0,322	0,308	0,630	-0,028	4,906	-1,069	-0,509	162
35,18	32,4	9,528	47	0,047	267	0,267	0,005	9,615	324	0,324	0,309	0,633	-0,006	29,045	-1,023	0,656	163
35,38	32,6	5,058	95	0,095	297	0,297	0,019	5,155	326	0,326	0,311	0,637	-0,006	14,535	-1,023	-0,044	164
35,58	32,8	13,839	123	0,123	61	0,061	0,009	13,859	328	0,328	0,312	0,640	-0,020	42,307	-1,052	1,296	165
35,78	33,0	3,811	114	0,114	126	0,126	0,030	3,852	330	0,330	0,314	0,644	-0,064	10,215	-1,143	-0,252	166
35,98	33,2	13,482	171	0,171	-25	-0,025	0,013	13,474	332	0,332	0,316	0,648	-0,028	40,636	-1,068	1,215	167

Tabela A.6.3: Resultado final da análise.

Pontos	prof.(m)	N° de Cluster										Nc	Comportamento do solo	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	2,78	x											1	ARGILA A ARGILA SILTOSA
2	2,98	x											1	
3	3,18	x											1	
4	3,38	x											1	
5	3,58	x											1	
6	3,78	x											1	
7	3,98	x											1	
8	4,18	x											1	
9	4,38	x											1	
10	4,58	x											1	
11	4,78	x											1	
12	4,98		x										2	TRANSIÇÕES
13	5,18			x									3	
14	5,38		x										2	
15	5,58			x									3	
16	5,78		x										2	
17	5,98			x									3	
18	6,18										x		10	
19	6,38			x									3	
20	6,58										x		10	
21	6,78		X										2	
22	6,98			x									3	
23	7,18			X									3	
24	7,38			x									3	
25	7,58		X										2	
26	7,78			x									3	
27	7,98			x									3	
28	8,18			X									3	
29	8,38			x									3	
30	8,58			X									3	
31	8,78			x									3	
32	8,98			x									3	
33	9,18		X										2	
34	9,38			x									3	
35	9,58			X									3	
36	9,78			X									3	
37	9,98			X									3	
38	10,18			X									3	
39	10,38			x									3	
40	10,58		X										2	
41	10,78		X										2	
42	10,98		X										2	
43	11,18		X										2	
44	11,38			x									3	
45	11,58			x									3	
46	11,78			x									3	
47	11,98			x									3	
48	12,18			x									3	
49	12,38			x									3	

MISTURAS
ARENOSAS

154	33,38					X											6
155	33,58					X											6
156	33,78	X															1
157	33,98					X											6
158	34,18								X								8
159	34,38			X													3
160	34,58		X														2
161	34,78			X													3
162	34,98	X															1
163	35,18			X													3
164	35,38			X													3
165	35,58			X													3
166	35,78	X															1
167	35,98			X													3

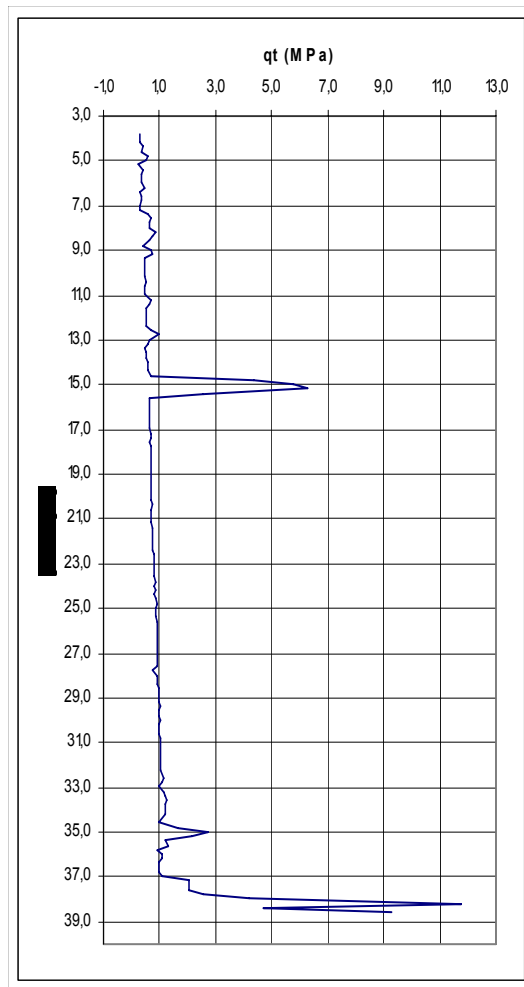
TRANSIÇÕES

**MISTURAS
ARENOSAS**

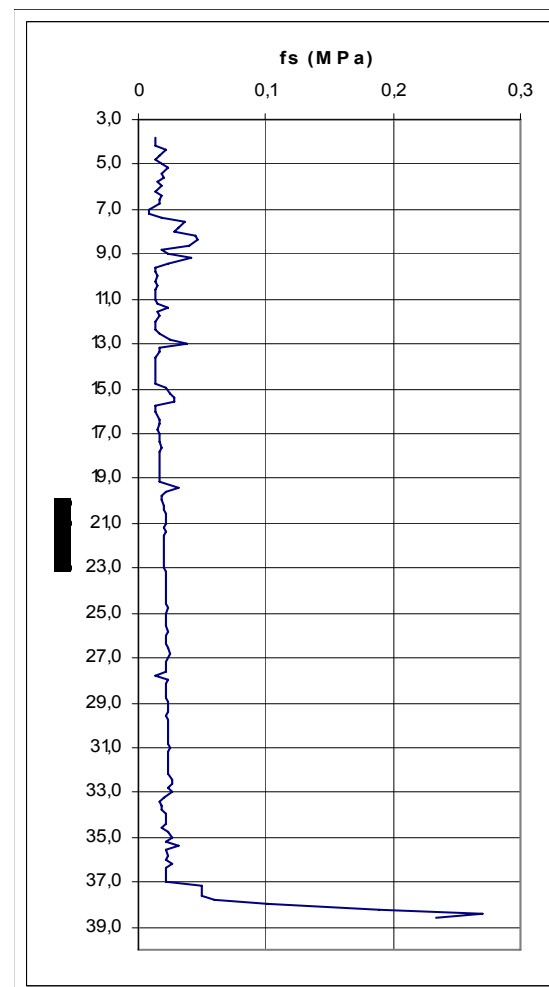
APENDICE 07

Ensaio 02 - Avenida Adão Pereira Nunes – Lapa – Campos, R.J.

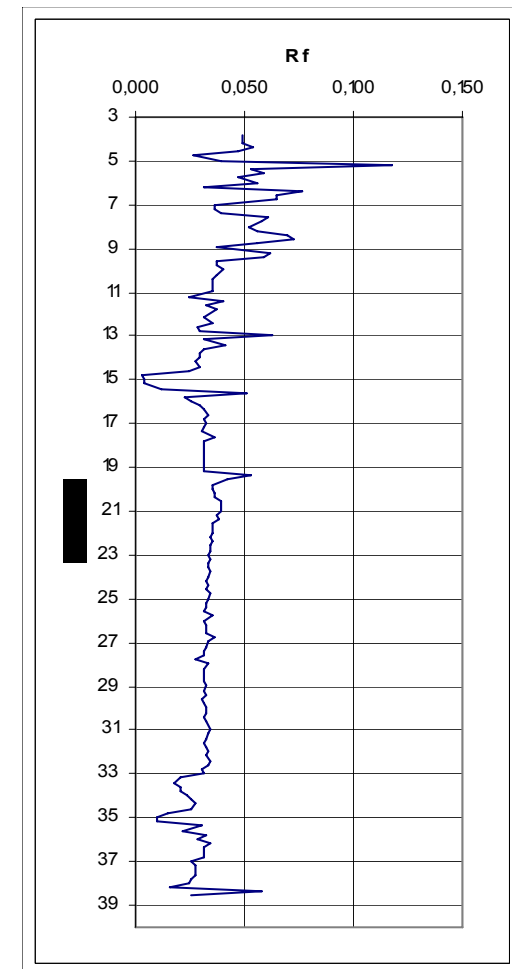
175 pontos.



(a)



(b)



(c)

Figura A.7.1 - (a), (b) e (c): Resultados típicos do ensaio CPTU.

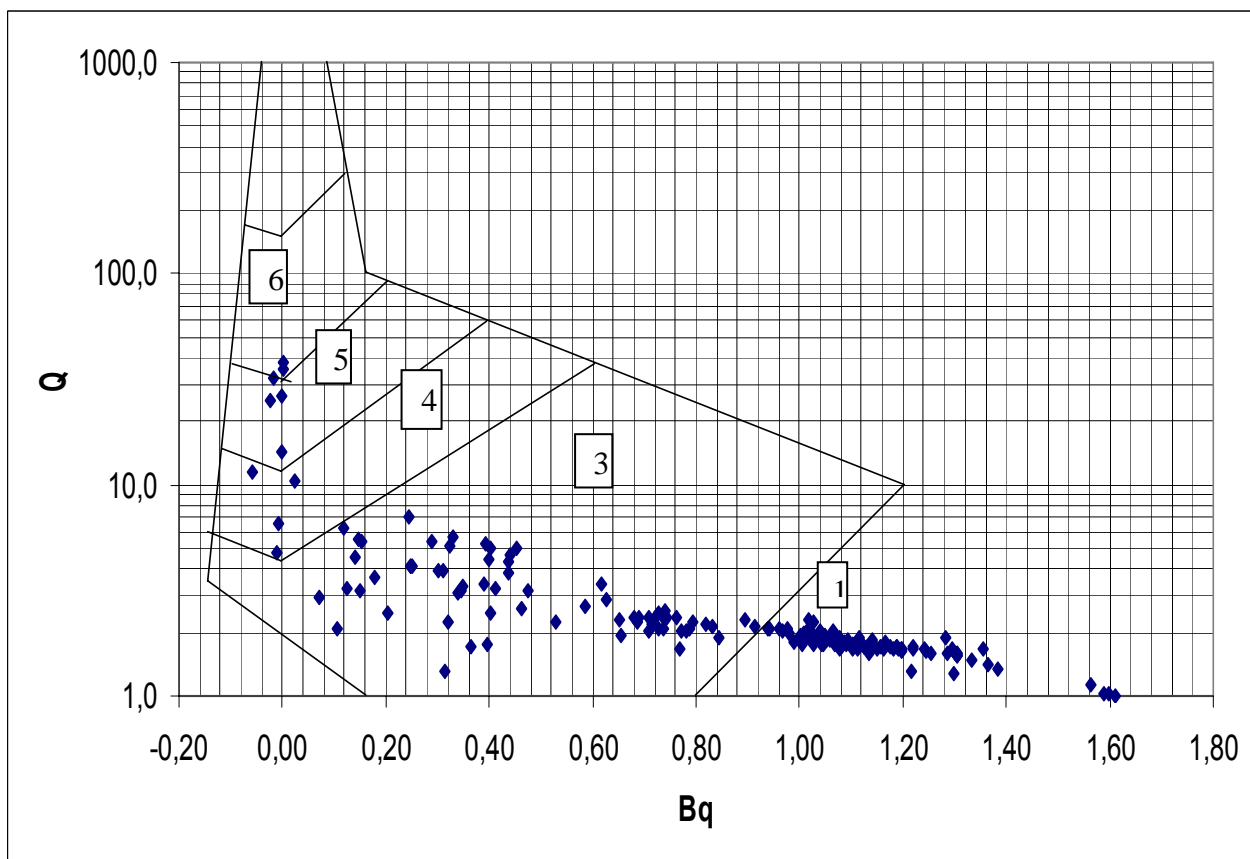


Figura A.7.2 - Gráfico contendo os resultados da razão de poro pressão (B_q) e da resistência normalizada do cone (Q), de acordo com a tabela A.1, adaptado de Robertson, 1990.

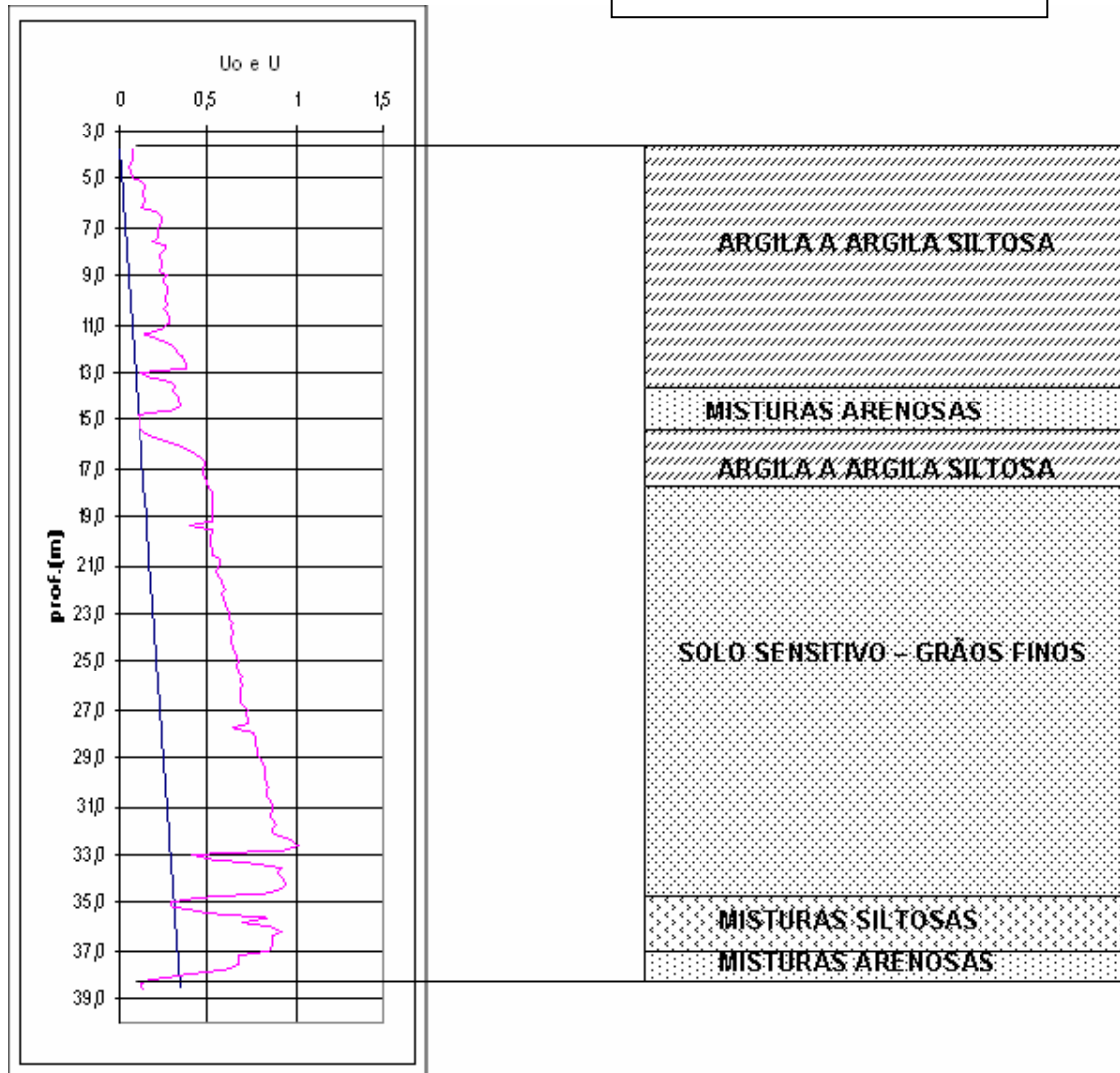
Os números referidos na Figura A.7.2 delimitam zonas de solo com comportamento diferenciado de acordo com a descrição que se apresenta na Tabela A.7.

Tabela A.7.1 - Resultado do diagrama – zona e tipo de comportamento do solo (Robertson, 1990).

Zona	Comportamento do solo	Parâmetros utilizados
1	Solo sensível de granulometria fina	
3	Argilas a argilas siltosas	$B_q = \frac{(U - U_0)}{(qt - \sigma_v)}$
4	Misturas siltosas	$Q = \frac{(qt - \sigma_v)}{\sigma'_v}$

5	Misturas arenosas	
6	Areia siltosa a areia limpa	

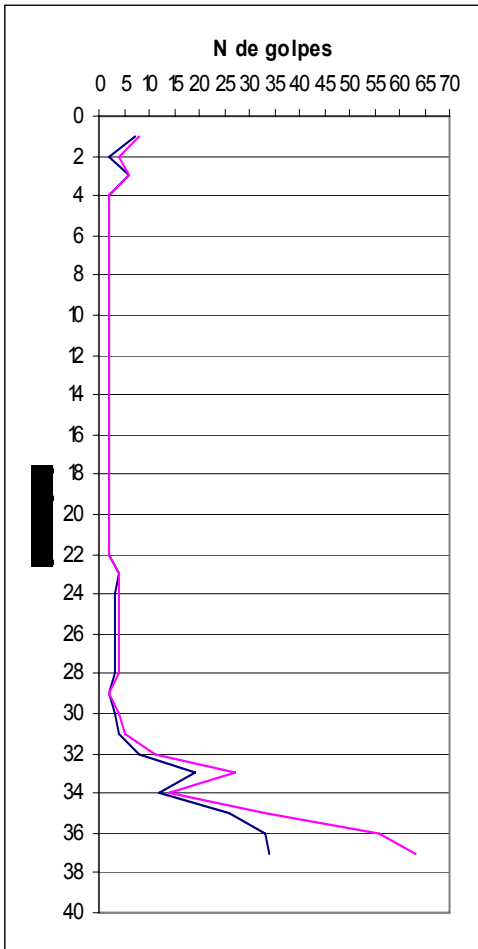
PERFIL INTERPRETADO



(a)

(b)

Fig. A.7.3 - Resultado do ensaio de piezocone e perfil estratigráfico.



PERFIL INTERPRETADO

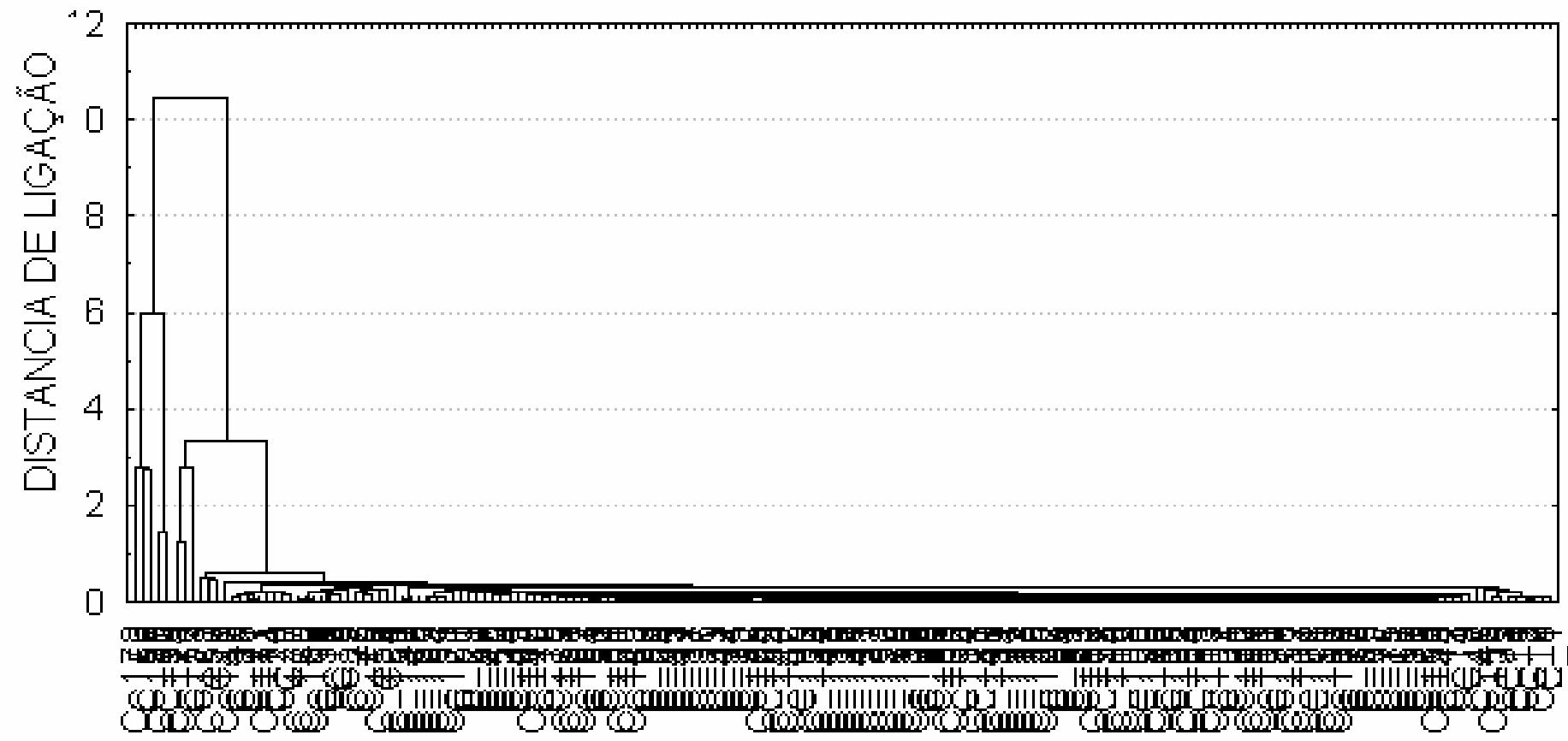
Argila siltosa, com areia fina, cor cinza escura, média.
Argila siltosa com areia fina e média, com mica, cor amarela, mole.
Argila Siltosa, com areia fina, com mica cor cinza escura, muito mole.
Argila siltosa. com areia fina. cor cinza escura. muito mole.
Argila orgânica, cor preta, mole.
Argila siltosa. com areia fina e média. cor cinza. dura.
Areia fina, média e grossa, silto argilosa, cor variegada, muito

(a)

(b)

Figuras A.7.4 (a) e (b) – Resultado do ensaio SPT e perfil do solo.

175 casos



Distância de ligação = 0,20

Figura A.7.5 – Dendograma de agrupamento, utilizando o método de ligação simples e Distância Euclidiana.

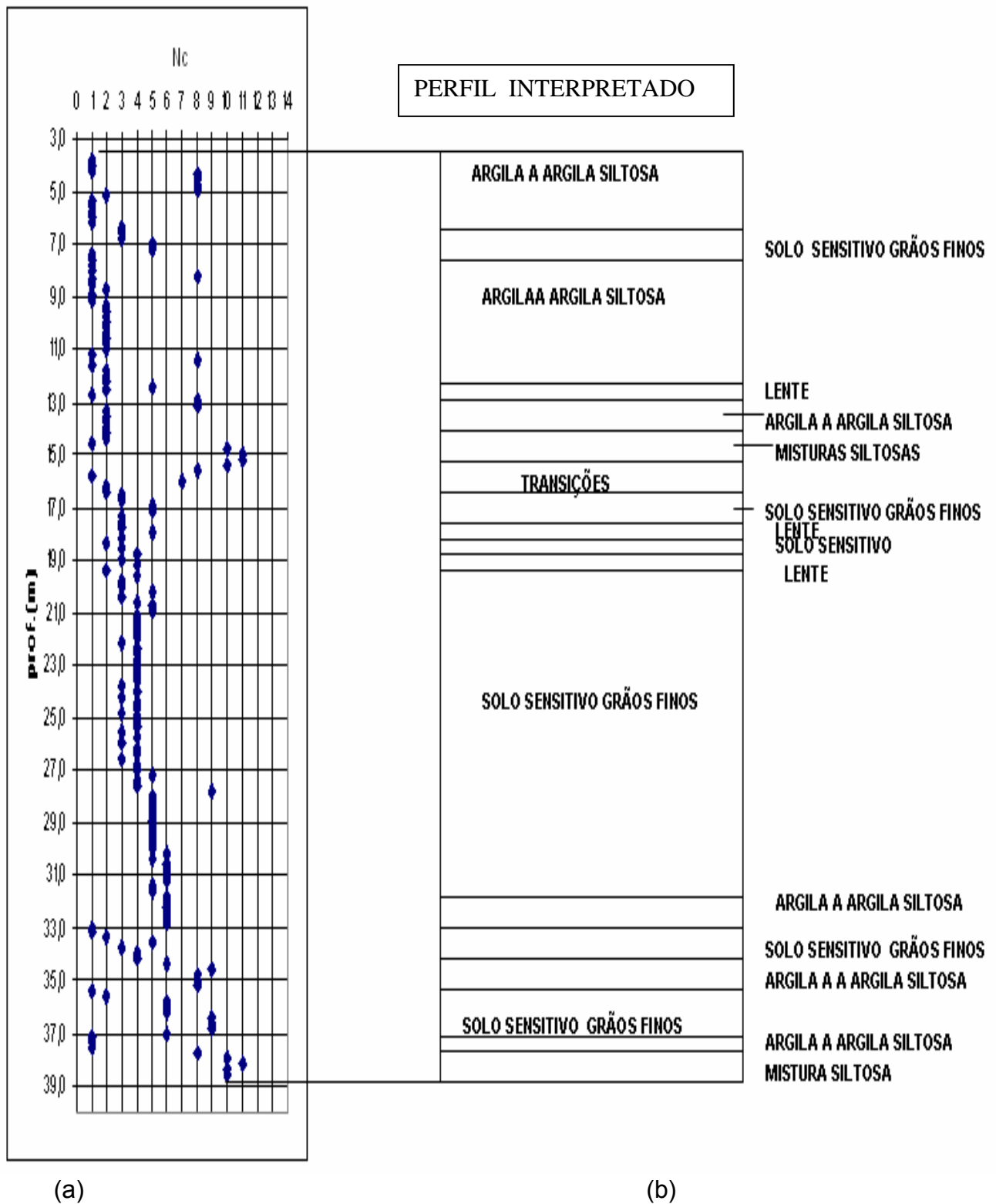


Figura: A.7.6 - Resultado final da análise.
175 pontos

Tabela A.7.2 – Resultado dos dados do piezocone com intervalo de 20 cm.

prof.(m)	prof.(m)	qc(MPa)	fs(KPa)	fs(MPa)	U(KPa)	U(MPa)	Rf	qt(Mpa)	Uo(Kpa)	Uo(Mpa)	$\sigma'v$ (Mpa)	σv (Mpa)	Bq	Q	znorm. Bq	znorm. Q	Pontos
3,78	0	0,267	13	0,013	78	0,078	0,049	0,292	0	0	0,068	0,068	0,348	3,298	-1,141	-0,008	1
3,98	0,2	0,267	13	0,013	78	0,078	0,049	0,292	2	0,002	0,070	0,072	0,344	3,170	-1,149	-0,033	2
4,18	0,4	0,267	13	0,013	78	0,078	0,049	0,292	4	0,004	0,071	0,075	0,341	3,049	-1,157	-0,056	3
4,38	0,6	0,392	21	0,021	53	0,053	0,054	0,409	6	0,006	0,073	0,079	0,142	4,536	-1,627	0,232	4
4,58	0,8	0,338	16	0,016	57	0,057	0,047	0,357	8	0,008	0,074	0,082	0,179	3,683	-1,540	0,067	5
4,78	1	0,534	14	0,014	66	0,066	0,026	0,556	10	0,01	0,076	0,086	0,119	6,174	-1,681	0,549	6
4,98	1,2	0,481	19	0,019	76	0,076	0,040	0,506	12	0,012	0,078	0,090	0,154	5,360	-1,599	0,391	7
5,18	1,4	0,196	23	0,023	139	0,139	0,117	0,241	14	0,014	0,079	0,093	0,844	1,869	0,034	-0,285	8
5,38	1,6	0,356	19	0,019	151	0,151	0,053	0,405	16	0,016	0,081	0,097	0,438	3,815	-0,928	0,092	9
5,58	1,8	0,338	20	0,02	127	0,127	0,059	0,379	18	0,018	0,082	0,100	0,391	3,384	-1,039	0,009	10
5,78	2	0,321	15	0,015	146	0,146	0,047	0,369	20	0,02	0,084	0,104	0,476	3,148	-0,836	-0,037	11
5,98	2,2	0,338	19	0,019	135	0,135	0,056	0,382	22	0,022	0,086	0,108	0,412	3,204	-0,989	-0,026	12
6,18	2,4	0,41	13	0,013	127	0,127	0,032	0,451	24	0,024	0,087	0,111	0,303	3,899	-1,247	0,108	13
6,38	2,6	0,249	19	0,019	206	0,206	0,076	0,316	26	0,026	0,089	0,115	0,894	2,266	0,152	-0,208	14
6,58	2,8	0,249	16	0,016	241	0,241	0,064	0,328	28	0,028	0,090	0,118	1,019	2,312	0,446	-0,199	15
6,78	3	0,249	16	0,016	241	0,241	0,064	0,328	30	0,03	0,092	0,122	1,027	2,233	0,465	-0,214	16
6,98	3,2	0,249	9	0,009	219	0,219	0,036	0,320	32	0,032	0,094	0,126	0,960	2,080	0,308	-0,244	17
7,18	3,4	0,249	9	0,009	219	0,219	0,036	0,320	34	0,034	0,095	0,129	0,968	2,007	0,326	-0,258	18
7,38	3,6	0,481	19	0,019	220	0,22	0,040	0,553	36	0,036	0,097	0,133	0,438	4,336	-0,926	0,193	19
7,58	3,8	0,606	37	0,037	192	0,192	0,061	0,669	38	0,038	0,098	0,136	0,289	5,406	-1,279	0,400	20
7,78	4	0,552	32	0,032	265	0,265	0,058	0,638	40	0,04	0,100	0,140	0,451	4,982	-0,895	0,318	21
7,98	4,2	0,534	28	0,028	249	0,249	0,052	0,615	42	0,042	0,102	0,144	0,439	4,639	-0,925	0,252	22
8,18	4,4	0,801	45	0,045	221	0,221	0,056	0,873	44	0,044	0,103	0,147	0,244	7,030	-1,386	0,715	23
8,38	4,6	0,659	46	0,046	239	0,239	0,070	0,737	46	0,046	0,105	0,151	0,329	5,590	-1,184	0,436	24
8,58	4,8	0,552	40	0,04	238	0,238	0,072	0,630	48	0,048	0,106	0,154	0,400	4,464	-1,017	0,218	25
8,78	5	0,338	19	0,019	222	0,222	0,056	0,410	50	0,05	0,108	0,158	0,682	2,336	-0,351	-0,194	26

8,98	5,2	0,623	23	0,023	274	0,274	0,037	0,712	52	0,052	0,110	0,162	0,403	5,023	-1,009	0,326	27
9,18	5,4	0,659	41	0,041	239	0,239	0,062	0,737	54	0,054	0,111	0,165	0,324	5,139	-1,198	0,349	28
9,38	5,6	0,41	24	0,024	260	0,26	0,059	0,495	56	0,056	0,113	0,169	0,626	2,888	-0,482	-0,087	29
9,58	5,8	0,374	14	0,014	273	0,273	0,037	0,463	58	0,058	0,114	0,172	0,740	2,539	-0,213	-0,155	30
9,78	6	0,374	14	0,014	267	0,267	0,037	0,461	60	0,06	0,116	0,176	0,726	2,456	-0,245	-0,171	31
9,98	6,2	0,374	15	0,015	266	0,266	0,040	0,461	62	0,062	0,118	0,180	0,726	2,389	-0,246	-0,184	32
10,18	6,4	0,374	14	0,014	279	0,279	0,037	0,465	64	0,064	0,119	0,183	0,763	2,363	-0,158	-0,189	33
10,38	6,6	0,427	15	0,015	255	0,255	0,035	0,510	66	0,066	0,121	0,187	0,585	2,675	-0,580	-0,129	34
10,58	6,8	0,392	14	0,014	274	0,274	0,036	0,481	68	0,068	0,122	0,190	0,708	2,376	-0,288	-0,187	35
10,78	7	0,392	14	0,014	287	0,287	0,036	0,486	70	0,07	0,124	0,194	0,744	2,350	-0,202	-0,192	36
10,98	7,2	0,392	14	0,014	284	0,284	0,036	0,485	72	0,072	0,126	0,198	0,739	2,284	-0,215	-0,204	37
11,18	7,4	0,623	15	0,015	228	0,228	0,024	0,697	74	0,074	0,127	0,201	0,310	3,899	-1,229	0,108	38
11,38	7,6	0,57	23	0,023	137	0,137	0,040	0,615	76	0,076	0,129	0,205	0,149	3,181	-1,611	-0,031	39
11,58	7,8	0,463	15	0,015	208	0,208	0,032	0,531	78	0,078	0,130	0,208	0,403	2,471	-1,009	-0,168	40
11,78	8	0,427	16	0,016	279	0,279	0,037	0,518	80	0,08	0,132	0,212	0,651	2,317	-0,424	-0,198	41
11,98	8,2	0,41	14	0,014	319	0,319	0,034	0,514	82	0,082	0,134	0,216	0,794	2,233	-0,084	-0,214	42
12,18	8,4	0,41	13	0,013	328	0,328	0,032	0,517	84	0,084	0,135	0,219	0,820	2,201	-0,024	-0,220	43
12,38	8,6	0,392	14	0,014	354	0,354	0,036	0,507	86	0,086	0,137	0,223	0,942	2,080	0,265	-0,244	44
12,58	8,8	0,57	16	0,016	376	0,376	0,028	0,693	88	0,088	0,138	0,226	0,618	3,367	-0,502	0,005	45
12,78	9	0,837	25	0,025	376	0,376	0,030	0,960	90	0,09	0,140	0,230	0,392	5,209	-1,036	0,362	46
12,98	9,2	0,606	38	0,038	121	0,121	0,063	0,645	92	0,092	0,142	0,234	0,070	2,907	-1,796	-0,084	47
13,18	9,4	0,534	17	0,017	166	0,166	0,032	0,588	94	0,094	0,143	0,237	0,205	2,450	-1,478	-0,172	48
13,38	9,6	0,392	16	0,016	283	0,283	0,041	0,484	96	0,096	0,145	0,241	0,768	1,681	-0,146	-0,321	49
13,58	9,8	0,445	14	0,014	320	0,32	0,031	0,549	98	0,098	0,146	0,244	0,728	2,082	-0,241	-0,244	50
13,78	10	0,445	13	0,013	311	0,311	0,029	0,546	100	0,1	0,148	0,248	0,707	2,015	-0,290	-0,256	51
13,98	10,2	0,445	13	0,013	335	0,335	0,029	0,554	102	0,102	0,150	0,252	0,770	2,022	-0,141	-0,255	52
14,18	10,4	0,481	13	0,013	334	0,334	0,027	0,590	104	0,104	0,151	0,255	0,687	2,213	-0,337	-0,218	53
14,38	10,6	0,481	14	0,014	345	0,345	0,029	0,593	106	0,106	0,153	0,259	0,714	2,189	-0,274	-0,223	54
14,58	10,8	0,57	14	0,014	294	0,294	0,025	0,666	108	0,108	0,154	0,262	0,461	2,612	-0,872	-0,141	55
14,78	11	4,328	14	0,014	103	0,103	0,003	4,362	110	0,11	0,156	0,266	-0,002	26,247	-1,967	4,438	56
14,98	11,2	5,753	21	0,021	114	0,114	0,004	5,790	112	0,112	0,158	0,270	0,000	35,020	-1,962	6,137	57
15,18	11,4	6,251	25	0,025	117	0,117	0,004	6,289	114	0,114	0,159	0,273	0,000	37,779	-1,962	6,672	58

15,38	11,6	2,547	29	0,029	114	0,114	0,011	2,584	116	0,116	0,161	0,277	-0,001	14,345	-1,965	2,132	59
15,58	11,8	0,57	29	0,029	154	0,154	0,051	0,620	118	0,118	0,162	0,280	0,106	2,092	-1,712	-0,242	60
15,78	12	0,57	13	0,013	236	0,236	0,023	0,647	120	0,12	0,164	0,284	0,320	2,212	-1,207	-0,218	61
15,98	12,2	0,552	14	0,014	316	0,316	0,025	0,655	122	0,122	0,166	0,288	0,528	2,218	-0,714	-0,217	62
16,18	12,4	0,516	15	0,015	381	0,381	0,029	0,640	124	0,124	0,167	0,291	0,736	2,087	-0,221	-0,243	63
16,38	12,6	0,516	16	0,016	425	0,425	0,031	0,655	126	0,126	0,169	0,295	0,831	2,130	0,003	-0,234	64
16,58	12,8	0,481	16	0,016	465	0,465	0,033	0,633	128	0,128	0,170	0,298	1,009	1,961	0,423	-0,267	65
16,78	13	0,481	15	0,015	481	0,481	0,031	0,638	130	0,13	0,172	0,302	1,045	1,952	0,510	-0,269	66
16,98	13,2	0,499	16	0,016	472	0,472	0,032	0,653	132	0,132	0,174	0,306	0,979	2,000	0,353	-0,259	67
17,18	13,4	0,516	16	0,016	472	0,472	0,031	0,670	134	0,134	0,175	0,309	0,937	2,058	0,254	-0,248	68
17,38	13,6	0,534	16	0,016	482	0,482	0,030	0,691	136	0,136	0,177	0,313	0,915	2,139	0,200	-0,232	69
17,58	13,8	0,499	18	0,018	500	0,5	0,036	0,662	138	0,138	0,178	0,316	1,048	1,937	0,515	-0,272	70
17,78	14	0,516	16	0,016	510	0,51	0,031	0,682	140	0,14	0,180	0,320	1,021	2,012	0,453	-0,257	71
17,98	14,2	0,516	16	0,016	532	0,532	0,031	0,689	142	0,142	0,182	0,324	1,066	2,014	0,559	-0,257	72
18,18	14,4	0,534	16	0,016	531	0,531	0,030	0,707	144	0,144	0,183	0,327	1,019	2,073	0,447	-0,245	73
18,38	14,6	0,623	27	0,027	448	0,448	0,043	0,769	146	0,146	0,185	0,331	0,689	2,371	-0,333	-0,188	74
18,58	14,8	0,534	17	0,017	537	0,537	0,032	0,709	148	0,148	0,186	0,334	1,038	2,009	0,493	-0,258	75
18,78	15	0,516	16	0,016	547	0,547	0,031	0,694	150	0,15	0,188	0,338	1,114	1,895	0,673	-0,280	76
18,98	15,2	0,534	16	0,016	538	0,538	0,030	0,709	152	0,152	0,190	0,342	1,050	1,939	0,520	-0,271	77
19,18	15,4	0,516	16	0,016	529	0,529	0,031	0,688	154	0,154	0,191	0,345	1,093	1,795	0,621	-0,299	78
19,38	15,6	0,588	31	0,031	398	0,398	0,053	0,718	156	0,156	0,193	0,349	0,656	1,913	-0,411	-0,276	79
19,58	15,8	0,516	22	0,022	533	0,533	0,043	0,690	158	0,158	0,194	0,352	1,112	1,735	0,667	-0,311	80
19,78	16	0,534	19	0,019	515	0,515	0,036	0,702	160	0,16	0,196	0,356	1,026	1,764	0,465	-0,305	81
19,98	16,2	0,534	19	0,019	521	0,521	0,036	0,704	162	0,162	0,198	0,360	1,043	1,742	0,504	-0,309	82
20,18	16,4	0,552	20	0,02	517	0,517	0,036	0,721	164	0,164	0,199	0,363	0,988	1,793	0,374	-0,299	83
20,38	16,6	0,552	20	0,02	523	0,523	0,036	0,722	166	0,166	0,201	0,367	1,004	1,771	0,411	-0,304	84
20,58	16,8	0,534	21	0,021	530	0,53	0,039	0,707	168	0,168	0,202	0,370	1,076	1,661	0,583	-0,325	85
20,78	17	0,534	21	0,021	569	0,569	0,039	0,719	170	0,17	0,204	0,374	1,155	1,693	0,769	-0,319	86
20,98	17,2	0,534	21	0,021	570	0,57	0,039	0,720	172	0,172	0,206	0,378	1,163	1,664	0,788	-0,325	87
21,18	17,4	0,534	20	0,02	551	0,551	0,037	0,714	174	0,174	0,207	0,381	1,134	1,604	0,720	-0,336	88
21,38	17,6	0,552	21	0,021	562	0,562	0,038	0,735	176	0,176	0,209	0,385	1,102	1,678	0,643	-0,322	89
21,58	17,8	0,57	20	0,02	580	0,58	0,035	0,759	178	0,178	0,210	0,388	1,085	1,761	0,603	-0,306	90

21,78	18	0,57	20	0,02	581	0,581	0,035	0,759	180	0,18	0,212	0,392	1,092	1,733	0,619	-0,311	91
21,98	18,2	0,57	20	0,02	598	0,598	0,035	0,765	182	0,182	0,214	0,396	1,126	1,729	0,701	-0,312	92
22,18	18,4	0,588	20	0,02	579	0,579	0,034	0,777	184	0,184	0,215	0,399	1,046	1,754	0,512	-0,307	93
22,38	18,6	0,57	20	0,02	596	0,596	0,035	0,764	186	0,186	0,217	0,403	1,134	1,667	0,720	-0,324	94
22,58	18,8	0,588	20	0,02	606	0,606	0,034	0,786	188	0,188	0,218	0,406	1,103	1,736	0,645	-0,311	95
22,78	19	0,588	20	0,02	609	0,609	0,034	0,787	190	0,19	0,220	0,410	1,113	1,711	0,669	-0,315	96
22,98	19,2	0,606	20	0,02	622	0,622	0,033	0,809	192	0,192	0,222	0,414	1,088	1,783	0,611	-0,302	97
23,18	19,4	0,606	21	0,021	628	0,628	0,035	0,811	194	0,194	0,223	0,417	1,103	1,763	0,646	-0,305	98
23,38	19,6	0,623	21	0,021	649	0,649	0,034	0,835	196	0,196	0,225	0,421	1,095	1,840	0,627	-0,290	99
23,58	19,8	0,623	21	0,021	634	0,634	0,034	0,830	198	0,198	0,226	0,424	1,076	1,790	0,582	-0,300	100
23,78	20	0,641	22	0,022	649	0,649	0,034	0,853	200	0,2	0,228	0,428	1,058	1,862	0,539	-0,286	101
23,98	20,2	0,623	21	0,021	631	0,631	0,034	0,829	202	0,202	0,230	0,432	1,080	1,729	0,593	-0,312	102
24,18	20,4	0,641	21	0,021	635	0,635	0,033	0,848	204	0,204	0,231	0,435	1,044	1,785	0,507	-0,301	103
24,38	20,6	0,623	21	0,021	647	0,647	0,034	0,834	206	0,206	0,233	0,439	1,116	1,697	0,677	-0,318	104
24,58	20,8	0,641	21	0,021	655	0,655	0,033	0,855	208	0,208	0,234	0,442	1,085	1,758	0,603	-0,306	105
24,78	21	0,677	23	0,023	666	0,666	0,034	0,894	210	0,21	0,236	0,446	1,018	1,898	0,444	-0,279	106
24,98	21,2	0,659	22	0,022	676	0,676	0,033	0,879	212	0,212	0,238	0,450	1,080	1,808	0,591	-0,297	107
25,18	21,4	0,641	21	0,021	663	0,663	0,033	0,857	214	0,214	0,239	0,453	1,112	1,688	0,667	-0,320	108
25,38	21,6	0,659	21	0,021	671	0,671	0,032	0,878	216	0,216	0,241	0,457	1,081	1,748	0,594	-0,308	109
25,58	21,8	0,695	22	0,022	693	0,693	0,032	0,921	218	0,218	0,242	0,460	1,032	1,899	0,477	-0,279	110
25,78	22	0,677	24	0,024	689	0,689	0,035	0,902	220	0,22	0,244	0,464	1,072	1,793	0,572	-0,300	111
25,98	22,2	0,695	22	0,022	702	0,702	0,032	0,924	222	0,222	0,246	0,468	1,052	1,857	0,526	-0,287	112
26,18	22,4	0,677	22	0,022	683	0,683	0,032	0,900	224	0,224	0,247	0,471	1,071	1,733	0,571	-0,311	113
26,38	22,6	0,677	22	0,022	686	0,686	0,032	0,901	226	0,226	0,249	0,475	1,080	1,711	0,592	-0,315	114
26,58	22,8	0,712	23	0,023	690	0,69	0,032	0,937	228	0,228	0,250	0,478	1,008	1,831	0,420	-0,292	115
26,78	23	0,695	25	0,025	702	0,702	0,036	0,924	230	0,23	0,252	0,482	1,068	1,753	0,564	-0,307	116
26,98	23,2	0,695	23	0,023	726	0,726	0,033	0,932	232	0,232	0,254	0,486	1,108	1,759	0,657	-0,306	117
27,18	23,4	0,677	22	0,022	719	0,719	0,032	0,911	234	0,234	0,255	0,489	1,149	1,654	0,755	-0,326	118
27,38	23,6	0,695	22	0,022	731	0,731	0,032	0,933	236	0,236	0,257	0,493	1,124	1,715	0,695	-0,315	119
27,58	23,8	0,695	22	0,022	732	0,732	0,032	0,934	238	0,238	0,258	0,496	1,130	1,692	0,710	-0,319	120
27,78	24	0,516	14	0,014	646	0,646	0,027	0,727	240	0,24	0,260	0,500	1,792	0,871	2,276	-0,478	121
27,98	24,2	0,695	23	0,023	762	0,762	0,033	0,943	242	0,242	0,262	0,504	1,182	1,681	0,834	-0,321	122

28,18	24,4	0,695	22	0,022	770	0,77	0,032	0,946	244	0,244	0,263	0,507	1,199	1,667	0,873	-0,324	123
28,38	24,6	0,695	22	0,022	766	0,766	0,032	0,945	246	0,246	0,265	0,511	1,198	1,638	0,872	-0,330	124
28,58	24,8	0,712	22	0,022	778	0,778	0,031	0,966	248	0,248	0,266	0,514	1,175	1,693	0,816	-0,319	125
28,78	25	0,712	22	0,022	786	0,786	0,031	0,968	250	0,25	0,268	0,518	1,191	1,680	0,853	-0,322	126
28,98	25,2	0,712	23	0,023	788	0,788	0,032	0,969	252	0,252	0,270	0,522	1,198	1,659	0,872	-0,326	127
29,18	25,4	0,73	23	0,023	812	0,812	0,032	0,995	254	0,254	0,271	0,525	1,189	1,731	0,848	-0,312	128
29,38	25,6	0,748	24	0,024	825	0,825	0,032	1,017	256	0,256	0,273	0,529	1,166	1,789	0,794	-0,300	129
29,58	25,8	0,73	22	0,022	827	0,827	0,030	1,000	258	0,258	0,274	0,532	1,218	1,702	0,918	-0,317	130
29,78	26	0,73	23	0,023	825	0,825	0,032	0,999	260	0,26	0,276	0,536	1,221	1,677	0,924	-0,322	131
29,98	26,2	0,748	24	0,024	832	0,832	0,032	1,019	262	0,262	0,278	0,540	1,189	1,727	0,848	-0,312	132
30,18	26,4	0,712	23	0,023	842	0,842	0,032	0,986	264	0,264	0,279	0,543	1,304	1,587	1,122	-0,339	133
30,38	26,6	0,73	23	0,023	831	0,831	0,032	1,001	266	0,266	0,281	0,547	1,244	1,617	0,980	-0,334	134
30,58	26,8	0,712	23	0,023	833	0,833	0,032	0,984	268	0,268	0,282	0,550	1,304	1,533	1,123	-0,350	135
30,78	27	0,73	24	0,024	854	0,854	0,033	1,008	270	0,27	0,284	0,554	1,285	1,600	1,077	-0,337	136
30,98	27,2	0,73	25	0,025	863	0,863	0,034	1,011	272	0,272	0,286	0,558	1,303	1,588	1,118	-0,339	137
31,18	27,4	0,73	24	0,024	861	0,861	0,033	1,011	274	0,274	0,287	0,561	1,306	1,565	1,126	-0,344	138
31,38	27,6	0,748	24	0,024	856	0,856	0,032	1,027	276	0,276	0,289	0,565	1,255	1,600	1,005	-0,337	139
31,58	27,8	0,766	24	0,024	878	0,878	0,031	1,052	278	0,278	0,290	0,568	1,240	1,666	0,971	-0,324	140
31,78	28	0,748	24	0,024	888	0,888	0,032	1,037	280	0,28	0,292	0,572	1,306	1,594	1,127	-0,338	141
31,98	28,2	0,73	24	0,024	863	0,863	0,033	1,011	282	0,282	0,294	0,576	1,333	1,484	1,191	-0,359	142
32,18	28,4	0,748	24	0,024	878	0,878	0,032	1,034	284	0,284	0,295	0,579	1,306	1,541	1,125	-0,348	143
32,38	28,6	0,766	26	0,026	957	0,957	0,034	1,078	286	0,286	0,297	0,583	1,355	1,668	1,243	-0,324	144
32,58	28,8	0,819	27	0,027	1008,9	1,008	0,033	1,148	288	0,288	0,298	0,586	1,284	1,881	1,074	-0,282	145
32,78	29	0,784	24	0,024	938	0,938	0,031	1,090	290	0,29	0,300	0,590	1,297	1,666	1,104	-0,324	146
32,98	29,2	0,855	27	0,027	417	0,417	0,032	0,991	292	0,292	0,302	0,594	0,315	1,317	-1,219	-0,392	147
33,18	29,4	0,962	20	0,02	503	0,503	0,021	1,126	294	0,294	0,303	0,597	0,395	1,744	-1,028	-0,309	148
33,38	29,6	0,962	17	0,017	775	0,775	0,018	1,215	296	0,296	0,305	0,601	0,780	2,014	-0,117	-0,257	149
33,58	29,8	0,944	19	0,019	923	0,923	0,020	1,245	298	0,298	0,306	0,604	0,976	2,090	0,345	-0,242	150
33,78	30	0,908	19	0,019	893	0,893	0,021	1,199	300	0,3	0,308	0,608	1,003	1,919	0,410	-0,275	151
33,98	30,2	0,891	21	0,021	929	0,929	0,024	1,194	302	0,302	0,310	0,612	1,077	1,880	0,584	-0,283	152
34,18	30,4	0,873	22	0,022	951	0,951	0,025	1,183	304	0,304	0,311	0,615	1,140	1,824	0,732	-0,293	153
34,38	30,6	0,766	21	0,021	914	0,914	0,027	1,064	306	0,306	0,313	0,619	1,366	1,423	1,268	-0,371	154

34,58	30,8	0,695	18	0,018	860	0,86	0,026	0,975	308	0,308	0,314	0,622	1,564	1,122	1,737	-0,429	155
34,78	31	1,514	23	0,023	439	0,439	0,015	1,657	310	0,31	0,316	0,626	0,125	3,262	-1,667	-0,015	156
34,98	31,2	2,636	26	0,026	297	0,297	0,010	2,733	312	0,312	0,318	0,630	-0,007	6,621	-1,980	0,636	157
35,18	31,4	2,048	21	0,021	296	0,296	0,010	2,144	314	0,314	0,319	0,633	-0,012	4,734	-1,991	0,270	158
35,38	31,6	1,015	31	0,031	515	0,515	0,031	1,183	316	0,316	0,321	0,637	0,364	1,702	-1,101	-0,317	159
35,58	31,8	1,033	22	0,022	845	0,845	0,021	1,308	318	0,318	0,322	0,640	0,789	2,072	-0,097	-0,246	160
35,78	32	0,712	23	0,023	692	0,692	0,032	0,938	320	0,32	0,324	0,644	1,267	0,906	1,035	-0,471	161
35,98	32,2	0,784	22	0,022	865	0,865	0,028	1,066	322	0,322	0,326	0,648	1,298	1,285	1,107	-0,398	162
36,18	32,4	0,784	27	0,027	924	0,924	0,034	1,085	324	0,324	0,327	0,651	1,383	1,326	1,307	-0,390	163
36,38	32,6	0,712	22	0,022	864	0,864	0,031	0,994	326	0,326	0,329	0,655	1,588	1,030	1,793	-0,447	164
36,58	32,8	0,712	22	0,022	864	0,864	0,031	0,994	328	0,328	0,330	0,658	1,599	1,014	1,819	-0,450	165
36,78	33	0,712	22	0,022	864	0,864	0,031	0,994	330	0,33	0,332	0,662	1,610	0,999	1,846	-0,453	166
36,98	33,2	0,819	21	0,021	860	0,86	0,026	1,099	332	0,332	0,334	0,666	1,217	1,300	0,917	-0,395	167
37,18	33,4	1,834	50	0,05	680	0,68	0,027	2,056	334	0,334	0,335	0,669	0,250	4,136	-1,373	0,154	168
37,38	33,6	1,834	50	0,05	680	0,68	0,027	2,056	336	0,336	0,337	0,673	0,249	4,105	-1,375	0,148	169
37,58	33,8	1,834	50	0,05	680	0,68	0,027	2,056	338	0,338	0,338	0,676	0,248	4,075	-1,377	0,143	170
37,78	34	2,369	60	0,06	618	0,618	0,025	2,570	340	0,34	0,340	0,680	0,147	5,559	-1,615	0,430	171
37,98	34,2	4,079	101	0,101	426	0,426	0,025	4,218	342	0,342	0,342	0,684	0,024	10,345	-1,907	1,357	172
38,18	34,4	11,701	189	0,189	162	0,162	0,016	11,754	344	0,344	0,343	0,687	-0,016	32,241	-2,002	5,599	173
38,38	34,6	4,648	270	0,27	112	0,112	0,058	4,685	346	0,346	0,345	0,691	-0,059	11,581	-2,102	1,597	174
38,58	34,8	9,244	234	0,234	138	0,138	0,025	9,289	348	0,348	0,346	0,694	-0,024	24,808	-2,021	4,159	175

150	33,58				X							5	SOLO SENSITIVO GRÃOS FINOS	
151	33,78		X									3		
152	33,98			X								4		
153	34,18			X								4		
154	34,38				X							6		
155	34,58							X				9		
156	34,78							X				8	ARGILA A ARGILA SILTOSA	
157	34,98							X				8		
158	35,18							X				8		
159	35,38	X										1		
160	35,58	X										2		
161	35,78				X							6	SOLO SENSITIVO GRÃOS FINOS	
162	35,98				X							6		
163	36,18				X							6		
164	36,38							X				9		
165	36,58							X				9		
166	36,78							X				9		
167	36,98				X							6		
168	37,18	X										1	ARGILA A ARGILA SILTOSA	
169	37,38	X										1		
170	37,58	X										1		
171	37,78							X				8		
172	37,98								X			10	MISTURAS SILTOSAS	
173	38,18									X		11		
174	38,38								X			10		
175	38,58								X			10		

APENDICE 08

Artigo enviado a COMBRASEG – Curitiba – Brasil.

Interpretação de Ensaios de Piezocone Utilizando Conceitos de

Similaridade.

Fernando Saboya Albuquerque Júnior.
 Helena de Fátima A. Fernandes Medina.
 Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF
 Laboratório de Engenharia Civil
 Campos, RJ, Brasil

RESUMO: O trabalho descreve uma técnica de interpretação do perfil do solo a partir de dados obtidos com ensaios piezocone, visando uma melhor discretização das camadas que o compõe. É usada uma abordagem estatística de dados hierarquicamente organizados por meio de grupos similares (análise de agrupamento), para se distinguir aqueles que são mais similares com um determinado grupo do que com outro, possibilitando assim a classificação das transições, lentes e camadas de solo.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio Piezocone, Comportamento Solo, Análise Dados, Agrupamentos.

1 INTRODUÇÃO

O teste do CPTU ficou conhecido nas últimas décadas como uma ferramenta útil, devido a sua precisão, para avaliar o perfil das camadas do solo e também determinar seus parâmetros geotécnicos in-situ.

O ensaio consiste em cravação estática de uma sonda no solo que mede a resistência na ponta, atrito lateral e poro pressão a cada 2cm de penetração.

Os dados obtidos possibilitam a determinação de parâmetros geotécnicos através de gráficos e correlações propostas por vários pesquisadores (Robertson, 1990; Robertson et. al. 1992; Fellenius and Eslami, 2000) que definem o comportamento do solo.

O principal objetivo deste trabalho é usar o método estatístico de análise de agrupamentos (dendrograma), baseados no critério de similaridade, em valores normalizados de resistência do cone Q e razão de poro pressão Bq (Hegazy e Mayne, 2002).

Os ensaios foram realizados em Campos dos Goytacazes, norte do estado do Rio de Janeiro em uma bacia sedimentar quaternária de solos argilosos.

2 ANÁLISE DE SIMILARIDADE

Método de mineração estatística de dados que pertencem a um grupo específico e que descreve características semelhantes

Foram propostas várias técnicas para analisar a similaridade em conjunto, porém o uso do “single-link”, que consiste em um método hierárquico no qual algumas condições matemáticas devem ser satisfeitas como continuidade e ter uma distorção mínima entre grupos selecionados, tem sido mais utilizado na mineração de dados em geral.

Como informado por Hegazy e Mayne (op.cit), a análise de agrupamentos tem como objetivo principal:

- (1) determinar grupos similares do perfil do solo;
- (2) delimitar limites entre as diferentes camadas;
- (3) localizar lentes e solos misturados que não podem ser classificados em qualquer grupo pré-definido. Cada grupo corresponde a um número de cluster (Nc) e este representa diferentes tipos de solos ou solos semelhantes, porém, com propriedades geotécnicas diferentes.

O desenvolvimento de agrupar a análise requer seis passos principais (Hegazy e Mayne):

- (1) seleções de variáveis para serem analisadas;

- (2) padronização de dados (Bq e Q);
- (3) determinação de matriz de semelhança;
- (4) escolha da técnica de agrupamento;
- (5) determinação do número de cluster;
- (6) interpretação dos resultados.

O primeiro passo da seleção de variáveis, consiste na escolha de parâmetros obtidos dos dados do CPTU, como sendo: a resistência normalizada do cone (Q) e a razão de poro pressão (Bq) pela Eq. 1 e 2.

$$Q = \frac{(qt - \sigma v)}{\sigma'v} \tag{1}$$

$$Bq = \frac{(U - U_0)}{(qt - \sigma'v)} \tag{2}$$

Onde qt é a resistência de ponta corrigida, σv é a tensão vertical total, U é a poropressão medida e U_0 é a poropressão estática.

O próximo passo é normalizar os dados, através do “znorm” de Q e Bq, Eq. 3, definindo a média e o desvio padrão, Eqs. 4 e 5.

$$znorm = z_{ij} = \frac{x_{ij} - E(X_j)}{\sigma(X_j)} \tag{3}$$

$$E(X_j) = mean(X_j) = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij}}{n} \tag{4}$$

$$\sigma(X_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [x_{ij} - E(X_j)]^2}{n - 1}} \tag{5}$$

Onde $E(X_j)$ $\sigma(X_j)$ representam o valor esperado da variável X_j e seu desvio padrão, respectivamente.

Para a análise de agrupamento existem vários tipos de medidas de distância como a Euclidiana, Manhattan entre outras, porém a mais simples é a Euclidiana e, portanto, será adotada aqui neste trabalho.

Para se formar a matriz de similaridade, é necessário calcular a “Distância Euclidiana”,(Eq. 6) entre um dado particular (x_i) e os todos os outros subsequentes (y_i).

$$dist(x, y) = \left[\sum_i (x_i - y_i)^2 \right]^{1/2} \tag{6}$$

Neste trabalho a técnica de agrupamento será a de single linkage”, do qual os dados são aproximados uns dos outros mantendo critério de similaridade (vizinhos mais próximos) e maximizando a distância entre grupos.

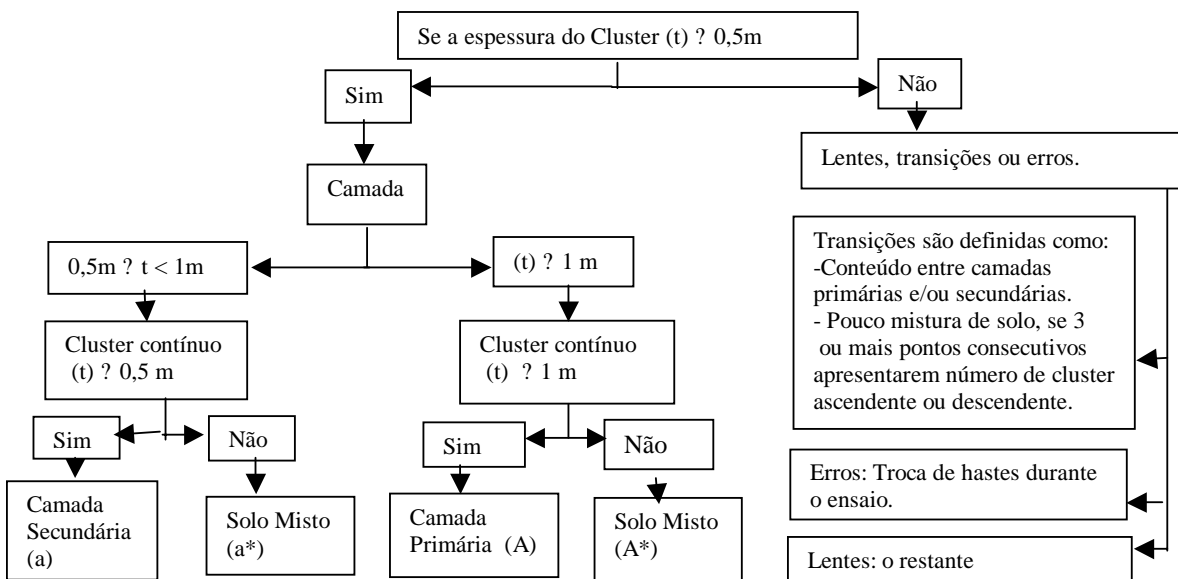


Fig. 1. Critério proposto para avaliar o perfil do solo para análise de dados do piezocone (Hegazy and Mayne, 2002)

No quinto passo, para se determinar o número de cluster deve-se optar pela distância Euclidiana requerida para formar um cluster e é resolvido de acordo com o resultado do dendograma obtido. Este sumariza um processo de agrupamento de objetos em classes hierárquicas. Inicialmente adota-se um nível alto de semelhança e analisa-se o perfil obtido. Posteriormente vai-se diminuindo o grau de exigência até obtenção de um perfil que não apresenta grandes variações (numero de clusters) com o grau de semelhança. Para solos muito estratificados esse passo não é trivial, porém com análises criteriosas determina-se o perfil com boa aproximação do real.

O último passo é a interpretação dos resultados que são focalizados na formação de camadas (perfil do solo), zonas de transição, lentes e anomalias.

Os critérios adotados para considerar

um cluster como camada é ter espessura maior ou igual a 50 cm, caso contrário é considerada como lentes, transições ou erros, como exemplificado no fluxograma da Figura 1.

3 DADOS DO CPTU

As Figuras 2 (a, b e c) apresentam dados obtidos do CPTU na região de Campos dos Goytacazes. Os valores são medidos a cada 2cm de profundidade, porém para a interpretação dos dados foram considerados a cada 20 cm em virtude da grande quantidade dados a ser analisada.

A Figura 2d representa o ensaio SPT, ou seja, a relação do número de golpes pela profundidade, para efeito de comparação.

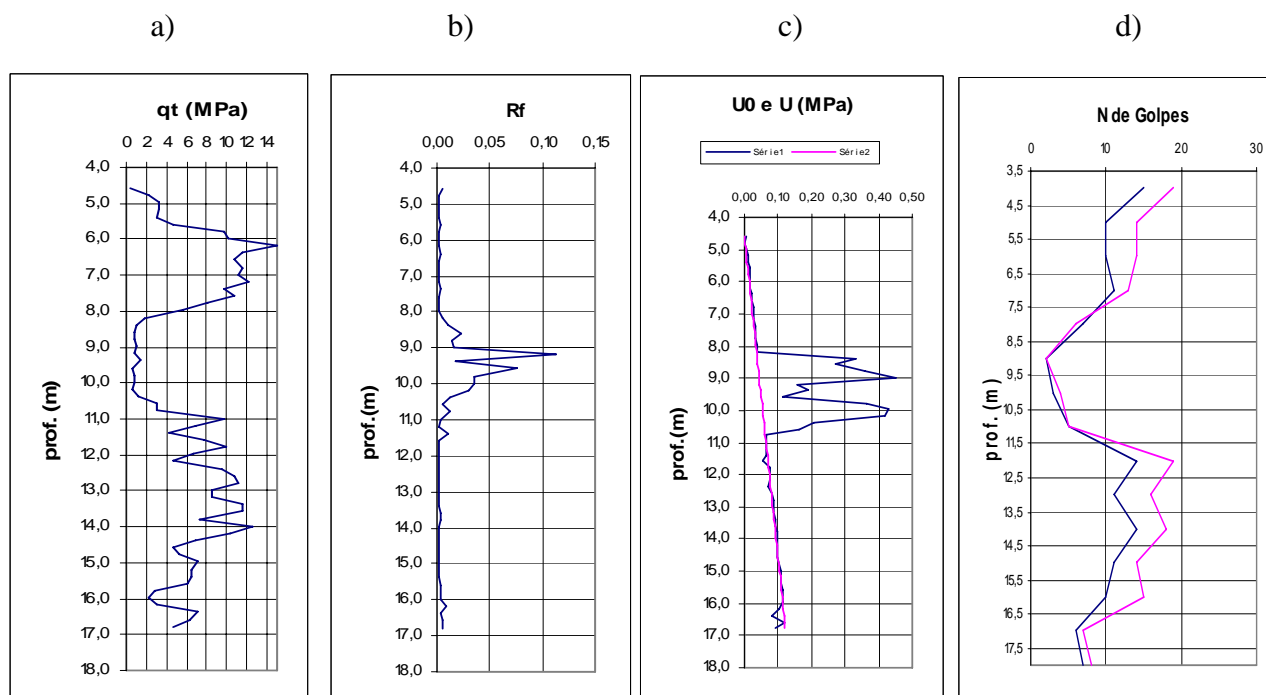


Fig. 2 - Resultados do ensaio de piezocone e do SPT.

4 RESULTADOS OBTIDOS

Com o agrupamento das variáveis (z_{norm} , Q e B_q), calcula-se a distancia euclidiana de um ponto a todos os outros, formando-se uma

matriz de proximidade para se criar um dendograma de similaridade (Fig. 3).

Os resultados finais (perfil das camadas do solo) são obtidos da correlação do gráfico de Robertson (1990) e do dendograma.

Observa-se ainda na Figura 4, quatro clusters bem definidos que indicam camadas com diferentes propriedades geotécnicas. Há uma camada entre 11 e 14 metros que indica a presença de misturas arenosas. Esta camada em particular não apresenta estabilidade na composição do cluster, indicando uma composição errática de lentes com diferentes propriedades, o que foi denominada de misturas arenosas.

5 CONCLUSÕES

Podemos observar com os resultados (Fig.4 a e b) que:

- A análise de similaridade constitui uma ferramenta útil para se reconhecer o perfil do

solo com melhor precisão, devido a sua capacidade de detectar mudanças que são visualizadas com dificuldade ou não detectadas nas classificações em gráficos ou tabelas. Isto é particularmente importante ao lidar com o perfil do solo fortemente estratificado, onde a presença de lentes é decisiva para a análise quando envolve consolidação, percolação, etc.

- Outra característica importante deste método reside na interação com o interpretador, este escolhendo um adequado número de cluster e/ou nível de similaridade ótimo para ser usado naquela análise em particular.

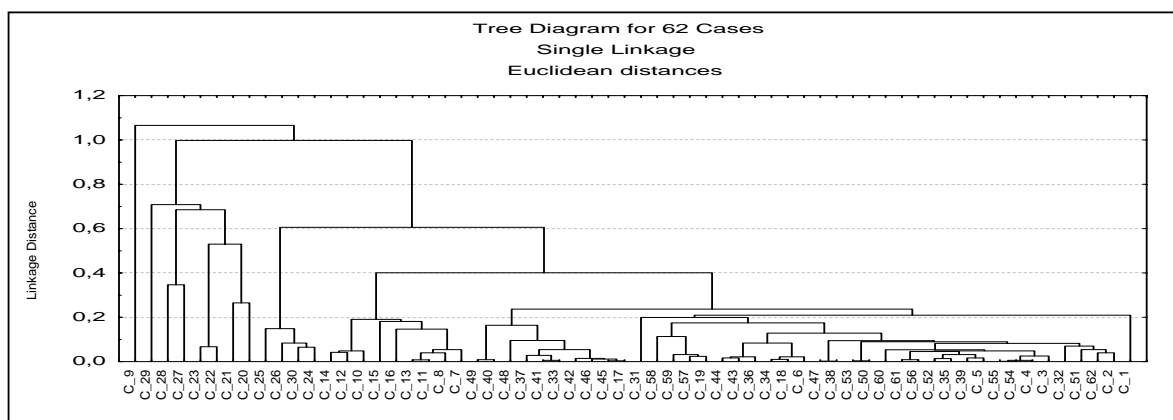


Figura 3 - Dendrograma de agrupamento, utilizando o método de ligação simples e Distancia Euclidiana.

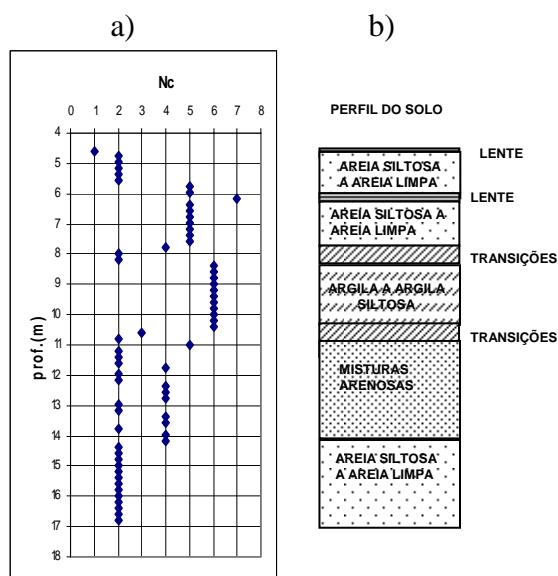


Figura 4 – Exemplo dos resultados da análise.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERJ pela

concessão de bolsa que possibilitou o desenvolvimento desse estudo e à UENF pela cessão dos dados de piezocone.

REFERÊNCIAS

- Fellenius, B. H., and Eslami, 2000. "Soil Profile Interpreted from CPTU data," *Geotechnical Engineering Conference*, Asian Institute of Technology.
- Hegazy, Y. A., and Mayne, P. W. 2002. Objective Site Characterization Using Clustering of Piezocone Data" *J. Geot. And Geoenv. Engrg.*, V 128(12), p. 986-996.
- Robertson P.K. 1989. *Soil Classification using the CPT.* Lecture Notes, University of Alberta, Edmonton, Canada, p.1-26
- Robertson, P.K., 1990. Soil Classification using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal*, V. 27(1), p. 151 –

158.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Fernando Saboya Jr., que além de orientar na realização deste trabalho com muita competência e dedicação, mostrou-se incentivador na pesquisa de idéias renovadas.

A FAPERJ pela concessão de bolsa que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho e a UENF pela cessão dos dados do piezocone.

A todos os professores e técnicos do Laboratório de Engenharia Civil da UENF, da Graduação e Pós-graduação, que foram os responsáveis pelos conhecimentos adquiridos.

Agradeço também a todos que, de alguma maneira, contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus pais, que sempre me incentivaram e abdicaram de suas vidas em prol da formação profissional dos seus filhos.

SUMÁRIO

Resumo.....	XI
Abstract.....	XII
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 – Considerações Gerais	2
1.2 – Objetivos	4
CAPÍTULO 2 – ENSAIO CPT/CPTU	6
2.1 – Introdução e Histórico.....	7
2.2 – Ensaio de CPTU	8
2.2.1 – Generalidades do Ensaio CPTU	10
2.2.2 - Vantagens e limitações do ensaio de CPTU	12
2.3 – Interpretação do Ensaio do Piezocone	14
CAPÍTULO 3 ANÁLISE POR AGRUPAMENTO HIERÁRQUICO.....	25
3.1 - Introdução	26
3.2 - Etapas da análise por Clusters	28
3.2.1 – Seleção de Variáveis	28
3.2.2 - Normalização dos Dados	29
3.2.3 – Matriz de Distância	30
3.2.4 – Escolha da Técnica de Agrupamento ou Regras de Ligação	32

3.2.5 – Confeção do Dendrograma	33
3.2.6 – Determinação do N de Cluster	34
3.2.7 – Critério de Camadas	34
3.2.8 – Interpretação dos Resultados	36
3.3 – Fluxograma	37
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS DO ENSAIO N° 01	39
4.1 – Exemplo.....	40
4.1.1 – Classificação do Tipo de Solo	42
4.1.2 – Resultado Típico do CPTU.....	44
4.1.3 – Ensaio SPT.....	45
4.1.3.1 – Resultado do SPT.....	46
4.1.4 – Normalização.....	47
4.1.5 – Análise do Dendrograma.....	47
4.1.6 – Resultado Final.....	49
4.1.7 – Análise dos Resultados.....	56
4.2 – Outros resultados	56
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
5.1 – Conclusões	58
5.2 – Sugestões para futuros trabalhos	59
CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
APÊNDICE 1	66
APÊNDICE 2	78

APÊNDICE 3	90
APÊNDICE 4	102
APÊNDICE 5	114
APÊNDICE 6	124
APÊNDICE 7	142
APÊNDICE 8 - ARTIGO COMBRASEG	160

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2 – ENSAIO CPT/CPTU

Tabela 2.1 – Potencialidades do CPT/CPTU (1986)	12
Tabela 2.2 – Tipo de Solo a partir de Rf (Begemann, 1965)	16

CAPÍTULO 4

Tabela 4.1 – Resultado do diagrama – zona e tipo de comportamento do solo (Robertson, 1990).....	43
Tabela 4.2 – Classificação de solos (NBR 7.250/82).....	45
Tabela 4.3 - Resultado dos dados do piezocone intervalo de 20 cm.....	51
Tabela 4.4 – Matriz simétrica da distância euclidiana.....	52
Tabela 4.5 – Resultado final da análise.....	54

LISTAS DE FIGURAS

CAPÍTULO 2 – ENSAIO CPT/CPTU

Figura 2.1 – Componentes do CPTU.....	8
Figura 2.2 – Corte esquemático típico de um Piezocone (Lunne e outros)..	9
Figura 2.3 – Sistema de cravação	10
Figura 2.4 – Gráfico de perfilagem de Schmertmann, 1978	15
Figura 2.5 - Gráfico de perfilagem de Begemann, 1965	15
Figura 2.6 - (a) e (b) - Diagrama de classificação de solos a partir do Resultado ensaio de cone elétrico e piezocone (Robertson et. al., 1986) ...	18
Figura 2.7 – Gráfico de perfilagem por Senneset et al (1989)	20
Figura 2.8 (a) e (b) – Proposta para classificação dos solos (Robertson, 1990).....	22

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE POR CLUSTER

Figura 3.1 - Medidas do cosseno - similaridade para normalização de BqxQ...31	
Figura 3.2 - Critério proposto para avaliar a estratigrafia do solo para análise de cluster nos dados do piezocone	35
Figura 3.3 - Fluxograma das etapas da análise de agrupamento dos dados do CPTU.....	38

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS DO ENSAIO

Figura 4.1 (a), (b) e (c) – Resultados típicos do ensaio CPTU	41
Figura 4.2 – Gráfico contendo os resultados da razão de poro pressão (Bq) e resistência do cone (Q)	42

Figura 4.3 (a) e (b) – Resultado do ensaio de piezocone e perfil do solo	44
Figura 4.4 (a) e (b) – Resultado do ensaio SPT e classificação	46
Figura 4.5 – Dendrograma de agrupamento, utilizando o método de ligação simples e distância euclidiana	48
Figura 4.6 (a) e (b) – Exemplo dos resultados da análise.....	49

RESUMO

O uso do CPTU (Piezocone Penetration Test), quando comparado com outros testes no campo, devido a sua rapidez e precisão tem se tornado popular no meio geotécnico. Assim sendo, entendeu-se necessário descrever uma técnica de interpretação do perfil do solo a partir dos dados obtidos com ensaios, visando uma melhor discretização das camadas que o compõem. É usado um método estatístico de agrupamento hierárquico chamado *cluster analysis*, por meio de grupos similares e a técnica de ligação única (vizinhos mais próximos), relacionando com o cálculo dos dados obtidos plotados no gráfico de Robertson (1990), para classificar o solo. São apresentados resultados de testes realizados em 6 furos localizados no Campus da Uenf e 2 no bairro da Lapa, cidade de Campos, norte do Estado do Rio de Janeiro, possibilitando assim, a classificação das camadas, transições e lentes de solo.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio Piezocone, Comportamento Solo, Análise Dados, Agrupamentos.

ABSTRACT

The CPTU (Piezocone Penetration Test), when compared to other in-situ tests, has become popular in the geotechnical community, due to its quickness and accuracy. Thus, a data interpretation technique for the evaluation of the soil profile is required aiming a good discretization of subsoil layers. For this, a statistical method of hierarchical grouping known as cluster analysis, is performed herein, jointing similar groupings and the single linkage technique (closest neighbors). The result is plotted on Robertson's chart (1990) in order to obtain a soil classification. Results from tests carried out in 6 (six) holes at the UENF Campus and 2 holes (two) in the Lapa borough, Campos dos Goytacazes city, northern region of the State Rio de Janeiro, have been presented. Consequently, the classification of layers, transitions and soil lenses has been available.

KEY-WORDS: Piezocone testing, Soil Behavior, Data Analysis, Clusters.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

An	-	área de superfície da luva de atrito
ASTM	-	Sociedade Americana para Testes e Materiais
At	-	área da base do cone
Be	-	razão de poro pressão efetiva
Bq	-	razão de poro pressão
CPT	-	<i>Cone Penetration Test</i>
CPTU	-	<i>Piezococone Penetration Test</i>
dist (x,y)	-	distância euclidiana
X_j	-	variante Bq e Q
$E(X_j)$	-	valor esperado dos Parâmetros Bq e Q
f_s	-	resistência por atrito lateral
ISSMFE	-	Sociedade Internacional para Mecânica do Solo e Engenharia Geotécnica
NBR	-	Norma Brasileira
prof. (1)	-	profundidade do nível d'água
prof. (2)	-	profundidade do terreno
Q	-	resistência de ponta normalizada
q_c	-	resistência a penetração da ponta
qt	-	resistência total de ponta corrigida
R_f	-	razão de atrito
Rfnrm	-	razão de atrito normalizada
Stddev	-	desvio padrão
TA	-	ângulo de inclinação
Uo	-	poro pressão estática in-situ

U	–	poro pressão medida na base do cone
z_{norm}	–	ferramenta estatística para normalização de variáveis
α	–	relação da área líquida
σ_v	–	tensão vertical total in-situ
σ'_v	–	tensão efetiva in-situ
$\gamma_{\text{água}}$	–	peso específico da água
γ_s	–	peso específico do solo