



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

CURSO DE GEOLOGIA

JAIME REGO DE MENEZES NETO

**ZONEAMENTO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (Nspt) EM SOLOS NA
REGIÃO NORDESTE DA CIDADE DE FORTALEZA/CE**

FORTALEZA

2014

JAIME REGO DE MENEZES NETO

ZONEAMENTO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (N_{spt}) EM SOLOS NA REGIÃO
NORDESTE DA CIDADE DE FORTALEZA/CE

Monografia apresentada ao Curso de Geologia
do Departamento de Geologia da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Profa. Dra. Sônia Maria Silva Vasconcelos

Coorientador: Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo

FORTALEZA

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M511z Menezes Neto, Jaime Rego de.
Zoneamento de resistência à penetração (Nspt) em solos na região nordeste da cidade de Fortaleza/CE /
Jaime Rego de Menezes Neto. – 2014.
54 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências,
Curso de Geologia, Fortaleza, 2014.

Orientação: Profa. Dra. Sônia Maria Silva Vasconcelos.
Coorientação: Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo.

1. Sondagens. 2. Nspt. 3. Zoneamento. I. Título.

CDD 551

JAIME REGO DE MENEZES NETO

ZONEAMENTO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (Nspt) EM SOLOS NA REGIÃO
NORDESTE DA CIDADE DE FORTALEZA/CE

Monografia apresentada ao Curso de Geologia
do Departamento de Geologia da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Aprovada em: 25 / 11 /2014.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Sônia Maria Silva Vasconcelos (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Jorge Luís Queiroz Nogueira
TECNORD – Tecnologia Nordeste de Solos e Fundações LTDA

MSc. Roberto Antonio Cordeiro da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais José Rego de Menezes Neto e Maria Giselia Esmeraldo de Menezes pelo incentivo emocional e financeiro durante toda minha vida.

À TECNORD – Tecnologia Nordeste de Solos e Fundações pela disposição dos dados necessários para a confecção deste trabalho, em especial ao Dr. Luciano, Hermano, Euclides, Jorge, Sérgio, Airton e João.

À Prof(a). Dra. Sônia Maria Silva Vasconcelos, orientadora deste trabalho, e ao Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo, pela oportunidade, atenção e ideias que me foram concedidas.

Aos meus amigos Francisco José, Débora, Phaloma, Marcos Paulo, Almir, Ramon, Felipe, Weber, Carlos e Marco Antônio pela amizade e companheirismo. E ao Prof. Dr. Paulo Thiers pela atenção e pela doação de dados georreferenciados.

RESUMO

A cidade de Fortaleza, como os demais grandes centros, tem sofrido constantemente os reflexos do crescimento econômico e populacional, os quais provocam a verticalização da cidade como também adequações da infraestrutura viária como a construção de pontes, viadutos, metrô e túneis, tornando necessário o incremento do estudo de uso e ocupação do solo, através, principalmente, do conhecimento de suas características pedológicas e geotécnicas, obtidas através da execução de sondagens a percussão, complementadas por sondagens rotativas. Neste trabalho é feito um estudo utilizando dados obtidos à partir de sondagens em uma área delimitada, localizada a nordeste da cidade de Fortaleza, gerando informações sobre o subsolo como o índice de resistência a penetração (Nspt), a carga hidráulica e a capacidade de carga. Essas informações foram tratadas estatisticamente, gerando mapas de zoneamento através do método de krigagem ordinária.

Palavras-chave: Sondagens; Nspt; Zoneamento.

ABSTRACT

Fortaleza, as others big centers, have been suffering constantly the reflections of economic and population growth, in which causes the verticalization of the city, as well as road structures adequacy like bridge, overpass, metro and tunnel buildings, turning necessary the increase of soil use and occupation study, mostly through the knowledge of its pedological and geotechnical attributes, obtained from percussive drilling, complemented by rotary drilling. This paper makes a study using obtained data from drillings in a delimited area, northeast from Fortaleza, generating data about the underground, such as the penetration resistance indicator (Nspt), the hydraulic cargo and cargo capacity. These data received statistical training and created zoning maps, using the ordinary kriging.

Keywords: Drilling; Nspt; Zoning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área de estudo.	13
Figura 2 - Mapa Pedológico de Fortaleza.....	18
Figura 3 - Mapa Geológico de Fortaleza.....	23
Figura 4 – Mapa de Localização dos Pontos de Sondagem	39
Figura 5 – Mapa de Nspt de 8 m	46
Figura 6 – Mapa de Nspt de 12 m	47
Figura 7 – Mapa de Nspt de 16 m	48
Figura 8 – Mapa de Nspt de 20 m	49
Figura 9 – Mapa da Capacidade de Carga Para Hélice Contínua de \varnothing 600 mm a 12 m.....	50
Figura 10 – Mapa da Carga Hidráulica	51
Gráfico 1 – Histograma de Profundidade Máxima.....	40
Gráfico 2 – Histograma do Nspt de 8 m.....	41
Gráfico 3 – Histograma do Nspt de 12 m.....	42
Gráfico 4 – Histograma do Nspt de 16 m.....	42
Gráfico 5 – Histograma do Nspt de 20 m.....	43
Gráfico 6 – Histograma da Capacidade de Carga.....	43
Gráfico 7 – Histograma da Carga Hidráulica.	44
Gráfico 8 – Quantidade de Sondagens que Atingiram o Impenetrável.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela dos Estados de Compacidade e de Consistência.	25
Tabela 2 - Índice de Qualidade de Rocha – RQD.	27
Tabela 3 - Valores de β_1 e β_2 . Modificado de Antunes & Cabral (1996).....	31
Tabela 4 – Tabela Final	34
Tabela 5 - Estatística Descritiva da Profundidade Máxima	40
Tabela 6 – Estatística Descritiva do Nspt de 8, 12, 16 e 20 m e da Capacidade de Carga.....	41
Tabela 7 – Estatística Descritiva da Carga Hidráulica	43

Sumário

1 – INTRODUÇÃO.....	11
1.1 – Justificativa para Realização da Pesquisa.....	11
1.2 – Objetivo	12
1.2.1 – Objetivos Específicos	12
1.3 – Localização e Acesso.....	12
2 – CARACTERIZAÇÃO DA CIDADE DE FORTALEZA	14
2.1 – Aspectos Socioeconômicos	14
2.2 – Aspectos Climáticos	14
2.3 – Aspectos Geomorfológicos	15
2.3.1 – Planície Litorânea	15
2.3.2 – Glacis Pré-Litorâneos	15
2.4 – Aspectos Pedológicos	15
2.4.1 – Argissolos	16
2.4.2 – Gleissolos	16
2.4.3 – Neossolos.....	16
2.5 – Vegetação	19
2.6 – Recursos Hídricos.....	19
3 – CONTEXTO GEOLÓGICO	21
3.1 – Formação Barreiras.....	21
3.2 – Coberturas Colúvio-Eluviais e Depósitos Eólicos Litorâneos	21

3.3 – Depósitos de Praia	21
3.4 – Depósitos Aluviais.....	22
3.5 – Complexo Ceará	22
4 – INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO	24
4.1 – Sondagem a Trado	24
4.2 – Sondagem à Percussão.....	24
4.1.3 – Sondagem Rotativa.....	26
4.1.4 – Sondagem Mista	27
5 - FUNDAÇÕES.....	28
5.1 – Fundações Rasas.....	28
5.2 – Fundações Profundas.....	28
5.3 – Principais Tipos de Estaca em Fortaleza / CE.....	28
5.3.1 – Estaca Metálica.....	29
5.3.2 – Estaca Raiz	29
5.3.3 – Estaca Hélice Contínua.....	29
5.4 – Capacidade de Carga de Fundações Profundas	29
5.4.1 – Métodos Racionais ou Teóricos	30
5.4.2 – Métodos Semiempíricos que Utilizam SPT	30
6 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
7 – RESULTADOS	34
8 – CONCLUSÕES	52

REFERÊNCIAS

1 – INTRODUÇÃO

A cidade de Fortaleza possui aproximadamente 2.315.116 (Dois milhões, trezentos e quinze mil seiscientos e dezesseis) habitantes (FONTE: Censo Demográfico 2010) tornando-se a 5ª maior cidade brasileira em termos de população. Devido a este crescimento, impulsionado, em grande parte, pelo capital estrangeiro, a cidade está em constante mudança, com construções de diversos tipos de obras, públicas ou privadas.

O acelerado crescimento da cidade de Fortaleza aumentou a demanda de construções, principalmente no que diz respeito a grandes obras, como edifícios, túneis e viadutos. A implantação destas obras tem exigido a realização de investigações geotécnicas para orientação dos projetos e execução das obras de fundação.

O principal meio de investigação do subsolo é a sondagem, onde a sondagem a percussão com determinação da resistência à penetração das camadas é o principal objeto de estudo neste trabalho.

Os resultados aqui obtidos devem contribuir para o conhecimento geológico e geotécnico da região nordeste de Fortaleza de grande utilidade para planejamento de uso e ocupação do solo.

1.1 – Justificativa para Realização da Pesquisa

A implantação de obras de grande porte exige a realização de investigações geotécnicas para orientação e execução das fundações. O planejamento e análise dos resultados destas investigações pode ser otimizado com o conhecimento gerado sobre as características do subsolo de Fortaleza.

A previsão da capacidade de carga de fundações requer conhecimentos das propriedades do solo e da maneira como as cargas se comportam no subsolo. Existem diversos métodos empíricos e semiempíricos para calcular a capacidade de carga, sendo o método de Antunes & Cabral (1994) o escolhido para este trabalho.

Os resultados obtidos através do zoneamento de resistência à penetração e da capacidade de carga poderão ser utilizados também como estimativa para projetos de prova de carga.

1.2 – Objetivo

Investigar as possíveis correlações entre as características geotécnicas e litológicas e elaborar mapas de zoneamento de resistência à penetração (Nspt) .

A implantação deste trabalho se relaciona, além do aspecto acadêmico, ao fato de fornecer o conhecimento da variação espacial da resistência à penetração, visando contribuir para a realização de futuros projetos de fundações, fornecendo uma indicação do valor de capacidade de carga de solos presentes ao longo da área em estudo.

1.2.1 – Objetivos Específicos

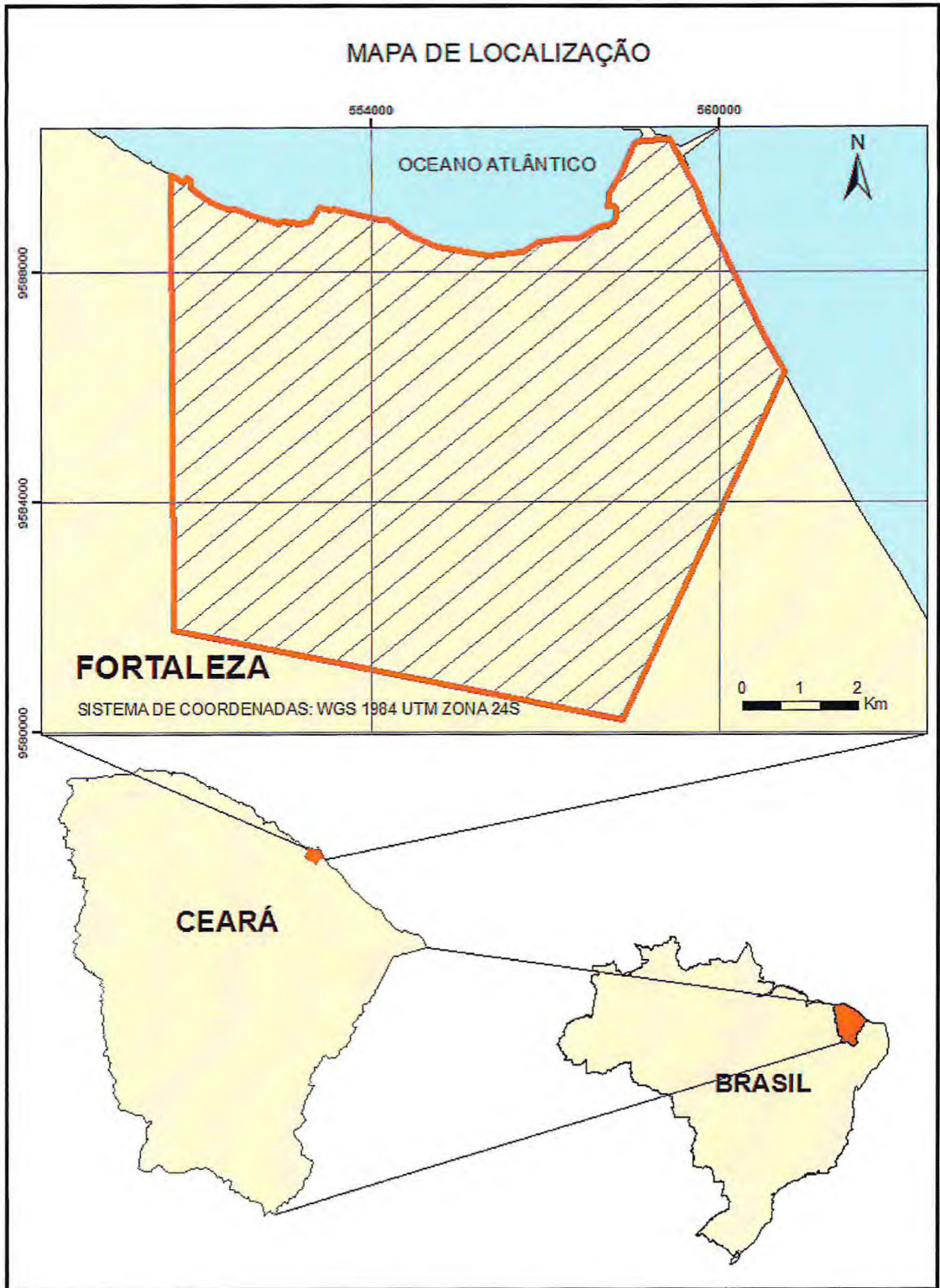
Nesse contexto, torna-se necessário considerar as características geológicas, hidrogeológicas e geotécnicas expressas através dos seguintes objetivos:

- Elaborar mapas de zoneamento de resistência à penetração (Nspt) nas profundidades 8, 12, 16 e 20 m;
- Elaborar mapas de zoneamento de carga hidráulica;
- Calcular a Capacidade de Carga utilizando método semiempírico de Antunes & Cabral para estaca do tipo hélice de Ø 600 mm e elaborar mapa de zoneamento.

1.3 – Localização e Acesso

A área está localizada na porção nordeste da Cidade de Fortaleza, Estado do Ceará, englobando os bairros Meireles, Papicu, Aldeota, Praia de Iracema, Benfica, Fátima, Centro, Dionísio Torres, Joaquim Távora, José Bonifácio, Guararapes, Dunas, Praia do Futuro, Mucuripe, Montese, Vila União, Aeroporto, Salinas, Engenheiro Luciano Cavalcante, Edson Queiroz e Cidade 2000, totalizando 76,146 km² (Figura 1).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



2 – CARACTERIZAÇÃO DA CIDADE DE FORTALEZA

Neste tópico serão descritos os aspectos socioeconômicos e os aspectos geoambientais, como o clima, o relevo, o solo, a vegetação e a hidrologia presentes na área da cidade de Fortaleza.

2.1 – Aspectos Socioeconômicos

Segundo dados do IBGE (2011), a cidade de Fortaleza é a 5ª maior capital do Brasil em termos de população, em uma área de 314,930 km², e está em 9ª lugar no ranking de maior PIB do Brasil.

Os setores da indústria, de serviços e de agropecuária são as principais atividades econômicas de Fortaleza.

O setor da indústria engloba os subsetores da mineração, têxtil, produtos alimentícios, metalúrgica, gráfico e imobiliário. O comércio atacadista e varejista tem grande expressão, sendo o ramo de automóveis, de alimentos, de eletrônicos e de vestuário os mais destacados.

O setor de serviços está relacionado aos subsetores de construção, saneamento, limpeza urbana, transportes, administração, gerência, conservação e manutenção da cidade. O turismo possui importante função na geração de emprego e renda, sendo responsável por quase 73% do PIB municipal.

O setor agropecuário é destacado pelas atividades de agricultura, com as culturas de castanha, mandioca, coco, manga, banana, cana-de-açúcar, milho, feijão e arroz. A pecuária é destacada pela produção de aves, porém em menor ocorrência, a produção de bovinos, suínos, ovinos e caprinos.

2.2 – Aspectos Climáticos

O clima do Ceará é influenciado pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sendo principal responsável pelo regime pluvial, frentes frias e pelo centro de vortacidade ciclônica formado sobre o Atlântico Sul. Esse regime climático gera a ocorrência de precipitações concentradas apenas no primeiro semestre do ano (Lima & Silva, 2003).

Em virtude da baixa latitude e conseqüente proximidade com a linha do equador, o território cearense apresenta um regime térmico bastante uniforme (Freitas, 2009).

Com clima Tropical, Fortaleza possui um índice pluviométrico médio anual de 1.200 a 1.400 mm e é caracterizado por dois períodos distintos: um de grande intensidade chuvosa (janeiro a julho) e outro escasso (agosto a dezembro). A temperatura é suavizada por ser uma região litorânea, com valor médio anual da ordem de 26 a 27°C (Cavalcante & Quesado, 2000).

2.3 – Aspectos Geomorfológicos

A geomorfologia da área de Fortaleza é constituída, basicamente, pela Planície Litorânea e Glacis Pré-litorâneos, cujos limites sofrem influência da homogeneidade das formas de relevo, altimetria, estrutura geológica e das características de solo e vegetação.

De acordo com Cavalcante & Quesado (2000), os aspectos geomorfológicos são descritos como:

2.3.1 – Planície Litorânea

É caracterizada por altitudes de no máximo 200 m, compreendendo os campos de dunas (Praia do Futuro, Cidade 2.000 e Barra do Ceará), praias e as planícies flúvio-marinhas (associadas aos estuários dos rios Cocó, Ceará e Pacoti/Lagoa da Precabura). As dunas são representadas por cordões quase contínuos paralelos à linha de costa, sendo interrompidos, em alguns locais, por cursos d'água, planícies fluviais, flúvio-marinhas e pela Formação Barreira

2.3.2 – Glacis Pré-Litorâneos

Compreendem taludes de fracos declives e são formados pelos sedimentos pré-litorâneos da Formação Barreiras e é distribuído como uma faixa de largura variável que acompanha a linha de costa.

2.4 – Aspectos Pedológicos

Os solos da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) apresentam boa diversificação, predominando caracteristicamente, solos rasos ou medianamente profundos, com grande incidência de afloramentos rochosos (Brandão, 1995a).

De acordo com Batista (2010), a distribuição e diferenciação dos solos são influenciadas pelas características litológicas, relevo, vegetação e clima da região. No caso da Região Metropolitana de Fortaleza, os Argissolos correspondem à litotipos graníticos. Os Gleissolos ocorrem nas planícies flúvio-marinhas; os Neossolos Quartzarênicos, nos campos de dunas; os Neossolos Flúvicos, nas planícies fluviais; os Neossolos Litólicos, aos Tabuleiros Pré-litorâneos; os Planossolos, à terrenos do Complexo Gnáissico-Migmatítico e a Depressão Sertaneja. Há também manchas isoladas e dispersas de outras associações como os Vertissolos, Plintossolos e Luvissolos.

De acordo com a Nova Classificação Brasileira de Solos (2008-2009), os solos do município de Fortaleza (Figura 2) são descritos como:

2.4.1 – Argissolos

Solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou alta conjugada com saturação por bases baixa. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Luvissolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos.

2.4.2 – Gleissolos

Solos hidromórficos, constituídos por material mineral, que apresentam horizonte glei dentro de 150cm da superfície do solo, imediatamente abaixo de horizontes A ou E (com ou sem gleização), ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos; não apresentam textura exclusivamente areia ou areia franca em todos os horizontes dentro dos primeiros 150cm da superfície do solo ou até um contato lítico, tampouco horizonte vértico, ou horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei ou qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei. Horizonte plúntico, se presente, deve estar a profundidade superior a 200cm da superfície do solo.

2.4.3 – Neossolos

Solos constituídos por material mineral, não hidromórficos, ou por material orgânico pouco espesso, que não apresentam alterações expressivas em relação ao material

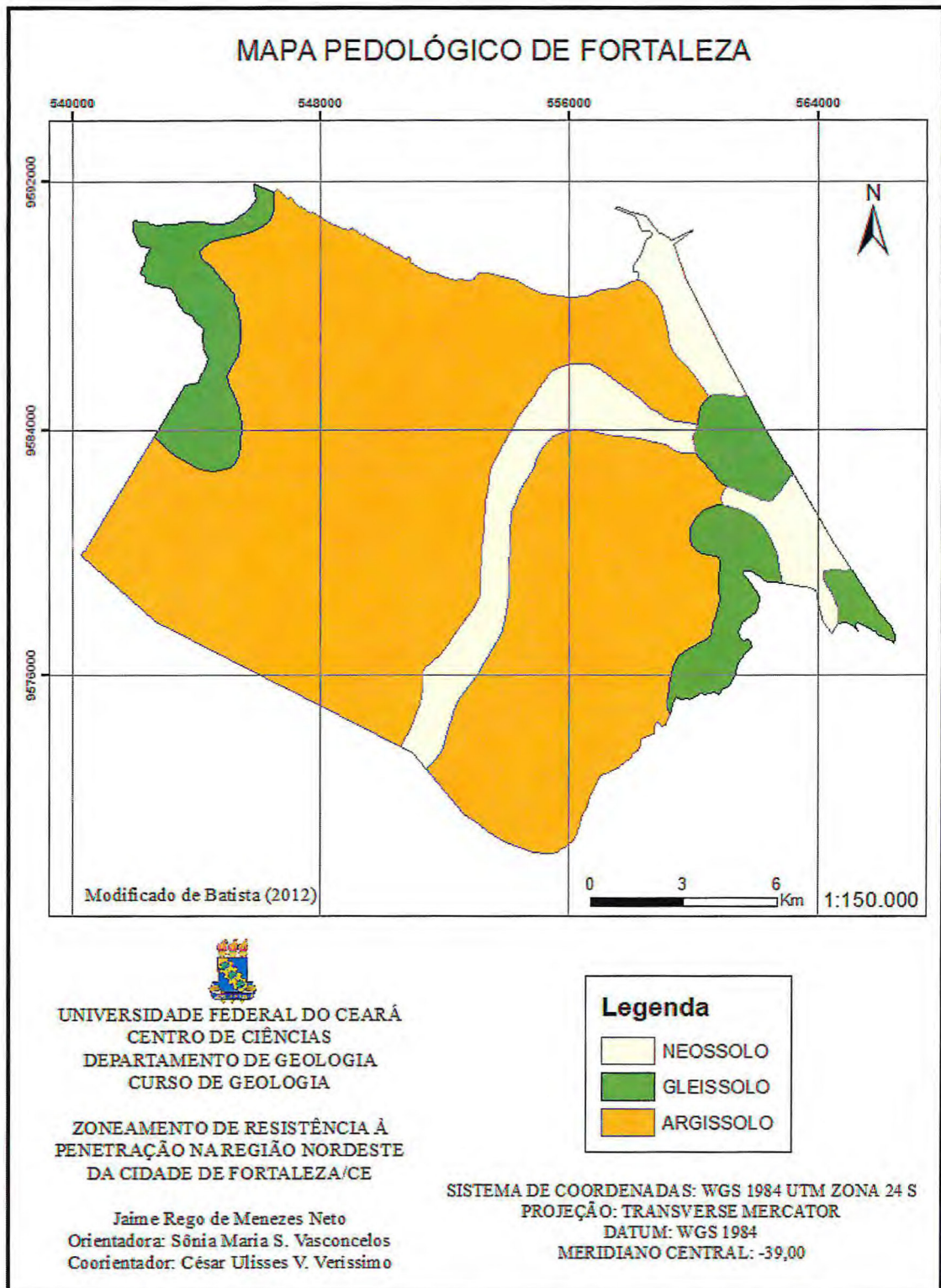
originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos. São solos pouco desenvolvidos que não apresentam horizonte B diagnóstico. Possuem seqüência de horizontes A-R, A-C-R, A-Cr-R, A-Cr, A-C, O-R ou H-C sem atender os requisitos estabelecidos para serem identificados nas classes dos Chernossolos, Vertissolos, Plintossolos, Organossolos ou Gleissolos.

Os Neossolos Litólicos são solos com horizonte A ou hístico, assente diretamente a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume), ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm (cascalhos, calhaus e matações) e que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50 cm da superfície do solo.

Os Neossolos Flúvicos são solos derivados de sedimentos aluviais com horizonte A assente sobre horizonte C constituído de camadas estratificadas, sem relação pedogenética entre si.

Os Neossolos Quartzarênicos são solos com seqüência de horizontes A-C, sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, apresentando textura areia ou areia franca nos horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico; essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala, e praticamente ausência de minerais primários alteráveis.

Figura 2 - Mapa Pedológico de Fortaleza.



2.5 – Vegetação

De acordo com Brandão (1998), a vegetação da Região Metropolitana de Fortaleza é composta pelas unidades: complexo de vegetação litorânea, floresta subperenifólia tropical plúvio-nebular, florestas subcadicifólia tropical pluvial, transição caatinga/cerrado, caatinga, mata ciliar e lacustre.

O complexo de vegetação litorânea é subdividido em tabuleiros litorâneos, dunas e mangues. Os tabuleiros ocorrem em terrenos planos com declividade muito suave na zona pré-litorânea. Dentre as espécies encontradas, estão o cajueiro, caraíba, freijó e angelim.

A floresta subperenifólia tropical plúvio-nebular é encontrada em zonas mais elevadas. As principais espécies são babaçu, jatobá, pijoá, tuturubá e potumuju. É característica desse tipo de vegetação árvores com até 30 m de altura.

A floresta subcadicifólia tropical pluvial recobre os relevos cristalinos mais baixos e é menos favorecido pelas chuvas. As espécies encontradas na região são: angico, aroeira, mulungu, gonçalo e sipaúba.

A transição caatinga/cerrado é composta por vegetação tanto da caatinga como do cerrado. As principais espécies são: cajuí, sambaíba, barbatimão, paraíba, pau-terra e marfim.

A caatinga ocupa a maior parte da RMF, em regiões de rochas cristalinas, e é caracterizada por solos rasos e deficiência hídrica. As espécies mais comuns são: jurema, marmeleiro, mandacaru e sabiá.

A vegetação lacustre ocorre nas planícies fluviais dos rios. A principal espécie é a carnaúba, porém pode vir associada a outros tipos de vegetação, como juazeiro, oiticica e munlungu.

2.6 – Recursos Hídricos

De acordo com Melo (2012), a Bacia Hidrográfica Metropolitana apresenta uma área de 15.085 km² incluindo 15 municípios, com capacidade de armazenamento de 1.117.386.002 m³ e é composta por 14 açudes. A bacia se estende do município de Paracuru até o município de Fortim, estendendo-se para interior do estado até o município de Choró. Os principais afluentes da bacia hidrográfica metropolitana são Rio Jaguaribe, Rio Pacoti e

Riacho Choró, tendo grande relevância os açudes Castanhão, Pacoti, Riachão e Acarape do Meio.

De acordo com Brandão (1998), a RMF possui 9 bacias hidrográficas: São Gonçalo, Cauípe, Juá, Ceará, Maranguape, Cocó, Pacoti, Catu e Caponga Funda. As 4 unidades aquíferas da região são representadas pelos campos de dunas/paleodunas, Formação Barreiras, aluviões e meio cristalino.

3 – CONTEXTO GEOLÓGICO

Os aspectos geológicos de Fortaleza são bastante diversificados. Há presença de laterita em profundidades que variam de 8 a 30 m, desde a zona mais costeira até zonas mais interioranas da cidade. De acordo com o Mapa Geológico do Estado do Ceará (CPRM, 2003), a geologia da cidade de Fortaleza (Figura 3) é caracterizada como:

3.1 – Formação Barreiras

É composta por arenitos argilosos, de cor avermelhada a amarelada, com níveis conglomeráticos e concreções lateríticas. A matriz é argilosa caulínica, com cimento argiloso ou silicoso, desenvolvendo horizontes mosqueados. Os constituintes da Formação Barreiras são interpretados como pertencentes à fácies de leques aluviais e sistemas fluviais, depositados por processos de tração ou gravitacionais, condicionados a um regime de fluxo de alta energia, em ambiente continental. A espessura pode chegar até 60 m, com um afinamento em direção à costa (CAVALCANTE & QUESADO, 2000)

3.2 – Coberturas Colúvio-Eluviais e Depósitos Eólicos Litorâneos

De acordo com Cavalcante & Quesado (2000), são depósitos detríticos semi-consolidados a incoerentes, argilosos, com seixos clásticos, de cores avermelhada e alaranjada, que recobrem parte das unidades mais antigas. Possuem matriz caulínica, com cimento argiloso ou ferruginoso. Constituem-se de grãos de quartzo, feldspato, micas e opacos alterados. Essas coberturas caracterizam a porção superior de formas de relevo rebaixadas, constituindo tabuleiros aplainados.

3.3 – Depósitos de Praia

São corpos alongados, podendo aflorar tanto na zona de estirâncio como na zona de arrebentação. É composto por arenitos conglomeráticos com bioclastos, cimentado por carbonato de cálcio e magnésio. Formam um depósito contínuo, alongado por toda a costa, desde a linha de maré baixa até a base das dunas móveis. Também são encontrados rochas de praia em diversos trechos.

De acordo com Brandão (1995b), os depósitos são compostos de areias de granulometria média a grossa, por vezes cascalhos próximos a rios, ricos em matéria orgânica e minerais pesados.

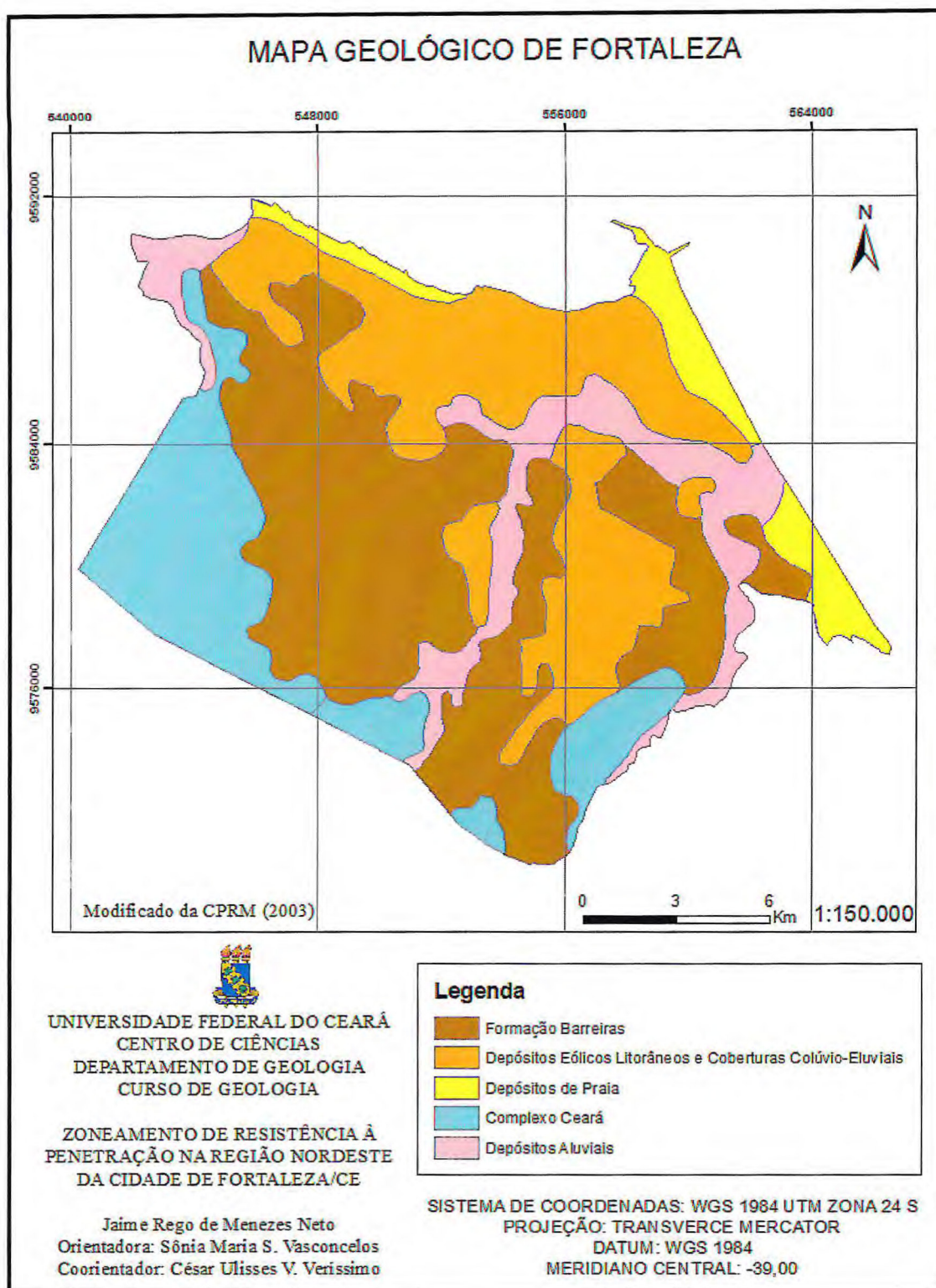
3.4 – Depósitos Aluviais

São depósitos alongados e sinuosos que preenchem calhas e planícies dos cursos fluviais, lacustrinos ou estuarinos recentes sendo composto por cascalhos, areias, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica. Apresentam-se semiconsolidados, mal selecionados e com matriz areno-argilosa. Os mangues estão associados a materiais pelíticos e de matéria orgânica, são quase sempre alagados na preamar (CAVALCANTE & QUESADO, 2000).

3.5 – Complexo Ceará

Inclui unidades litoestratigráficas que se distribuem por todo o Domínio Ceará Central. A idade de deposição dos sedimentos é considerada paleoproterozóica. Em Fortaleza, a unidade aflorante é a Unidade Canindé, que é composta essencialmente por paragnaisses.

Figura 3 - Mapa Geológico de Fortaleza.



4 – INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO

Neste capítulo serão apresentados os principais processos de investigação do subsolo na região de Fortaleza para fins de projeto de fundação, dando ênfase a sondagem à percussão, que é tema deste trabalho.

Velloso & Lopes (2011) descrevem os processos de investigação do subsolo e as principais informações obtidas de ensaios *in situ* a seguir.

Existem diversos métodos para investigação do subsolo, como poços, ensaio de cone (CPT), ensaio pressiométrico (PMT), entre outros. Na região do município de Fortaleza, os métodos mais utilizados são: sondagem a trado, sondagem à percussão com SPT, sondagens rotativas e sondagens mistas.

De acordo com Velloso & Lopes (2011), os processos de investigação do subsolo são descritos a seguir.

4.1 – Sondagem a Trado

São perfurações executadas com um dos tipos de trado manuais. A profundidade também está limitada à profundidade do nível d'água, e as amostras retiradas são deformadas.

4.2 – Sondagem à Percussão

São perfurações capazes de ultrapassar o nível d'água e atravessar os solos relativamente compactos ou duros. O furo é revestido quando há risco de desmoronamento; caso se apresente estável, a perfuração pode prosseguir sem revestimento, eventualmente adicionando-se um pouco de bentonita à água. A perfuração avança na medida em que o solo, desagregado com auxílio do trépano, é removido por circulação de água (lavagem).

As sondagens à percussão não ultrapassam matacões e blocos de rochas (e são detidas às vezes por pedregulhos) e tem dificuldade de atravessar saprólitos (solos residuais jovens) muito compactos ou alterações de rocha. No caso de encontrar grande dificuldade de perfuração, a sondagem é suspensa.

Na sondagem a percussão é realizado o ensaio de penetração dinâmica SPT que tem uma primeira utilidade na indicação da compacidade de solos granulares (areias e siltes

arenosos) e da consistência de solos argilosos (argilas e siltes argilosos). A classificação do solo, sua compactidade ou consistência do solo está descrito na tabela 1.

Tabela 1 - Tabela dos Estados de Compactidade e de Consistência.

Solo	Índice de Resistência à Penetração (N)	Designação
Areias e Siltes Arenosos	≤ 4	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco Compacta(o)
	9 a 18	Medianamente Compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito Compacta(o)
Argilas e Siltes Argilosos	≤ 2	Muito Mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	> 19	Dura(o)

Fonte: NBR 6484

O ensaio SPT também é utilizado para obtenção da propriedade de deformação dos solos, que está associada a métodos semiempíricos para estimativa de recalques de fundações superficiais.

O ensaio SPT é realizado a cada metro na sondagem à percussão. O ensaio consiste na cravação de um amostrador normatizado, chamado originalmente de Raymond-Terzaghi, por meio de golpes de um peso de 65 kgf caindo de 75 cm de altura. Anota-se o número de golpes necessários para cravar os 45 cm do amostrador em 3 conjuntos de golpes para cada 15 cm. O índice de resistência à penetração (N_{spt}) é o número de golpes necessários para cravar os 30 cm finais (desprezando os 15 cm iniciais).

A amostra retirada com o amostrador Raymond-Terzaghi é deformada. Quando é necessário retirar amostras indeformadas para ensaios de laboratório, são empregados amostradores especiais. Após a amostras ser retirada, faz-se a classificação tátil-visual.

Outras informações muito importantes fornecidas pela sondagem são as condições da água subterrânea. Inicialmente, deve-se perfurar o terreno com trado até que se encontre água, para que se faça uma determinação da profundidade do nível do lençol freático não influenciado pela sondagem. Quando se passa ao processo de circulação de água, devem ser

anotadas as profundidades onde ocorrem elevações/rebaixamentos no nível d'água no revestimento, o que indica artesianismo/perdas d'água. Terminada a sondagem e retirado o revestimento, o nível d'água deve ser observado até que se estabilize (ou num período mínimo de 24 horas). Quando se deseja conhecer com mais precisão o nível piezométrico de uma dada camada, pode-se aproveitar o furo de sondagem para instalar um piezômetro. Para se conhecer com mais precisão o nível freático, pode-se aproveitar o furo de sondagem para instalar um medidor de água.

4.1.3 – Sondagem Rotativa

Na ocorrência de elementos de rochas que precisem ser ultrapassados no processo de investigação, ou que precisem ser caracterizados, utilizam-se as sondagens rotativas. O processo de perfuração consiste basicamente em fazer girar as hastes (pelo cabeçote de perfuração) e em forçá-las para baixo (em geral, por um sistema hidráulico). No topo das hastes, há um acoplamento que permite a ligação da mangueira de água com as hastes que estão girando.

Durante o processo de sondagem rotativa, é utilizada uma ferramenta tubular chamada barrilete, para corte e retirada de amostras de rocha (testemunhos). Esta ferramenta tem em sua extremidade inferior uma coroa, que pode ser de pastilhas de tungstênio ou diamante. A ferramenta completa de corte e amostragem é composta de coroa, calibrador com mola retentora e barrilete.

As sondagens rotativas são executadas em cinco diâmetros básicos (EX, AX, BX, NX, HX). Esses diâmetros foram concebidos de tal maneira que, na impossibilidade de se avançar em um determinado diâmetro, a perfuração pode prosseguir no diâmetro imediatamente inferior.

Uma indicação da qualidade de rocha é o RQD (Rock Quality Designation), que consiste num cálculo de porcentagem de recuperação em que apenas os fragmentos maiores que 10 cm são considerados. Na determinação do RQD, apenas barriletes duplos com diâmetro NX (75,3 mm) ou maior podem ser utilizados. A classificação da rocha de acordo com o RQD está na Tabela 2.

Tabela 2 - Índice de Qualidade de Rocha – RQD.

RQD	Qualidade do Maciço Rochoso
0 - 25%	Muito Fraco
25 - 50%	Fraco
50 - 75%	Regular
75 - 90%	Bom

Fonte: Velloso & Lopes (2011)

4.1.4 – Sondagem Mista

As sondagens mistas são uma combinação de um equipamento de sondagem rotativa com um equipamento de sondagem à percussão. Há uma alternância de método. Quando na sondagem à percussão se encontra uma camada impenetrável (solos muito compactos ou rocha), utiliza-se a sondagem rotativa. Quando ultrapassa esta camada, volta a ser utilizado o método de sondagem à percussão. Essa alternância pode ocorrer várias vezes até atingir a profundidade desejada.

5 - FUNDAÇÕES

De acordo com Mattos (2011), fundação é o elemento estrutural, base natural ou preparada, destinada a suportar estruturas de qualquer tipo, como edifícios, barragens, pontes, tanques de armazenamento de líquidos, etc.

A fundação é indispensável para a existência de qualquer tipo de obra de engenharia, sendo garantia de suas condições de estabilidade e da conservação da estética.

As fundações são convencionalmente separadas em dois grandes grupos: fundações superficiais (ou diretas ou rasas) e fundações profundas (VELLOSO & LOPES, 2011).

5.1 – Fundações Rasas

De acordo com a NBR 6122, são elementos de fundação em que a carga é transmitida ao terreno, predominantemente pelas pressões distribuídas sob a base da fundação, e em que a profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente é inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação. Incluem-se neste tipo de fundação as sapatas, os blocos, os radiers, as sapatas associadas, as vigas de fundação e as sapatas corridas.

5.2 – Fundações Profundas

A NBR 6122 descreve como: elemento de fundação que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, e que está assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3 m, salvo justificativa. Neste tipo de fundação incluem-se as estacas, tubulões e os caixões.

5.3 – Principais Tipos de Estaca em Fortaleza / CE

Os principais tipos de fundações encontradas na cidade de Fortaleza são as do tipo estaca metálica, estaca raiz e estaca hélice contínua.

5.3.1 – Estaca Metálica

Pode ser encontrado tanto em forma de perfis laminados ou soldados quanto em forma de tubos. É resistente à corrosão devido seu material ser de aço ou por ter tratamento adequado. Os perfis podem ser utilizados isolados ou múltiplos.

São fáceis de manipular e transportar devido seu baixo peso, resistentes devido seu material ser de aço e são fabricados em várias formas e dimensões, permitindo uma boa adaptabilidade.

5.3.2 – Estaca Raiz

É uma estaca concretada *in loco*. Possui uma elevada capacidade de carga e é baseada na resistência por atrito lateral do terreno.

Indicada para locais de difícil acesso, pois seu maquinário, em geral, é pequeno em relação aos outros, pode ser executado tanto na vertical como inclinado e há ferramentas que permitem superar obstáculos como blocos de rocha ou peças de concreto.

5.3.3 – Estaca Hélice Contínua

De acordo com a NBR 6122, é um tipo de fundação profunda constituída por concreto, moldada *in loco* e executada por meio de trato contínuo e injeção de concreto pela própria haste do trado.

Pode ser utilizada em área populosa, pois o ruído e vibrações são baixos. Propicia uma maior segurança, devido o concreto ser bombeado para o interior da perfuração ao mesmo tempo em que se retira a hélice, evitando, assim, o desmoronamento das paredes de perfuração. Pode resultar em economia, pois é uma máquina relativamente rápida, antecipando a conclusão da obra, aumentando, assim, a produtividade.

5.4 – Capacidade de Carga de Fundações Profundas

A determinação da capacidade de carga de ruptura de fundações profundas tem como objetivo evitar o colapso ou o escoamento do solo que lhe confere sustentação. O cálculo é feito baseado em dois fatores principais:

- a) O tipo de material que compõe a fundação;

b) Característica do solo que será suporte à fundação.

De acordo com Velloso & Lopes (2011), a determinação da capacidade de carga pode ser feita por métodos racionais (ou teóricos) e semiempíricos, além do método empírico que por ser pouco utilizado não será descrito.

5.4.1 – Métodos Racionais ou Teóricos

Utilizam soluções teóricas de capacidade de carga e parâmetros de solo. Podem ser de dois tipos: resistência de ponta ou base e resistência lateral.

A resistência de ponta ou base é baseada na Teoria da Plasticidade, e suas soluções possuem diferentes mecanismos de ruptura. As principais soluções são: de Terzaghi, de Meyerhof, de Berezantzev e de Vesic.

O tratamento teórico para a determinação da resistência (atrito) lateral é, em geral, análogo ao usado para analisar a resistência ao deslizamento. Os métodos são utilizados para solos granulares e para solos argilosos saturados.

5.4.2 – Métodos Semiempíricos que Utilizam SPT

É baseado em ensaios *in situ* de penetração (SPT). Existem vários métodos, como o de Meyerhof, de Aoki-Velloso, de Décourt-Quaresma, de Velloso, de Teixeira, de Alonso, entre outros. Neste trabalho, será utilizado o método de Antunes & Cabral, expresso pelo cálculo:

$$Q_t = (\beta_1 \cdot N_{SPT} \cdot A_l) + (\beta_2 \cdot N_{SPTP} \cdot A_p)$$

Em que: β_1 e β_2 são fatores empíricos que variam com o tipo de solo (Tabela 3); N_{SPT} é o índice de resistência à penetração; A_l e A_p são a área lateral da base da estaca (m^2); N_{SPTP} é o valor de SPT próximo à base da estaca.

Tabela 3 - Valores de β_1 e β_2 . Modificado de Antunes & Cabral (1996)

Tipo do Solo	Sigla	B ₁	B ₂
Argila - Siltosa	CM	2	1
Argila	CM	2	1
Argila - Arenosa	CS	3,5	1,5
Silte	M	2,5	1
Silte - Argiloso	MC	2	1
Silte - Arenoso	MS	3,5	2
Areia	S	5	2,5
Areia - Argilosa	SC	4	2
Areia - Siltosa	SM	4	2

Modificado de Antunes & Cabral (1996)

6 – MATERIAIS E MÉTODOS

Os perfis de sondagens utilizadas foram cedidas pela TECNORD – Tecnologia Nordeste de Solos e Fundações LTDA. Foram selecionadas 206 sondagens que ocupam a área nordeste da cidade de Fortaleza, todas realizadas no período de 2004 a 2014.

Depois de selecionadas, as sondagens foram organizadas em planilhas com os campos: coordenadas UTM (datum WGS 1984), cota da boca do furo, profundidade máxima de cada sondagem (m), se atingiu o impenetrável ou não, profundidade do nível d'água (m), carga hidráulica (m), os 4 níveis de índice de resistência à penetração (8, 12, 16 e 20 m) e a capacidade de carga (ton.f) calculada pelo método de Antunes & Cabral.

O nível do lençol freático é de grande importância para o planejamento de obras de fundação, e o fluxo de água subterrânea é controlado pelo potencial hidráulico. A carga hidráulica pode ser medida em qualquer ponto de um meio onde ocorre escoamento.

A carga hidráulica é obtida por:

$$h = c - a$$

Em que: **h** é a carga hidráulica; **c** é a cota altimétrica; e **a** é a profundidade do nível d'água. Com os valores de carga hidráulica foi elaborado o mapa de contorno com as linhas de fluxo.

O Gradiente Hidráulico indica a direção e o sentido da perda de carga hidráulica no espaço, portanto indica a direção de fluxo. O fluxo ocorre geralmente de regiões de maior para regiões de menor potencial. Este fluxo é controlado pela carga total, ou seja, pela carga de pressão **e** pela carga de posição. Em um meio isotrópico em relação à condutividade hidráulica, as trajetórias das partículas de água (fluxo) são perpendiculares às equipotenciais no sentido decrescente de potencial. Quando a abordagem é hidráulica, o fluxo é horizontal, bidimensional, a aceleração da gravidade não varia no espaço, então o potencial hidráulico é confundido com a carga hidráulica. Desta forma, o fluxo pode ser obtido a partir das linhas de contorno da carga hidráulica.

A estatística descritiva foi feita para as variáveis considerando: valor máximo, valor mínimo, amplitude total, média, mediana, variância, desvio padrão e assimetria.

A partir do índice de resistência à penetração nas profundidades 8, 12, 16 e 20 m, foi calculada a capacidade de carga para a profundidade 12 m de cada sondagem. O Nspt das profundidades abaixo da camada impenetrável foi considerado com valor 70. Os valores da profundidade máxima de cada sondagem foram arredondados para cima no que diz respeito somente ao Nspt. Sendo assim, o Nspt da camada 13,2 m é considerado como 14 m. O valor máximo atingido pelo Nspt foi considerado 70, logo qualquer valor acima disto será considerado como 70. Com estes resultados, foram gerados os 5 mapas de zoneamento, sendo 4 para resistência à penetração e 1 para capacidade de carga.

Os mapas foram confeccionados no programa ArcGIS 10.2 e Surfer 12, utilizando o método de Krigagem Ordinária para interpolação dos pontos.

7 – RESULTADOS

Os dados disponíveis foram organizados e estão apresentados na Tabela 4. O mapa de localização dos pontos está inserido no mapa litológico da cidade (Figura 4).

Tabela 4 – Tabela Final

Tabela de Sondagens											
Ref. TCC	Coordenada X	Coordenada Y	Cota	Prof. (m)	Impenetrável	Nível D'água	Carga hidráulica	Nspt 8m	Nspt 12m	Nspt 16m	CC 12m
SP-01	557554,90	9583396,08	17,88	13,45	NÃO	2	15,88	5	40	-	174
SP-02	558204,42	9583416,00	16,22	13,45	NÃO	4,9	11,32	8	28	-	198
SP-03	557727,00	9581271,00	15,88	18,3	SIM	4,3	11,58	22	56	33	182
SP-04	557947,72	9581167,43	18,56	12,45	NÃO	2,35	16,21	37	40	-	232
SP-05	557400,69	9584322,20	9,28	10,19	SIM	1,2	8,08	35	70	70	-
SP-06	557548,00	9582135,00	18,96	14,45	NÃO	3,86	15,1	4	63	-	225
SP-07	557777,09	9580752,53	18,69	18,45	NÃO	6,34	12,35	6	9	55	103
SP-08	557768,67	9583437,82	18,85	16,25	NÃO	7,35	11,5	4	7	70	112
SP-09	557868,24	9580527,14	20,52	15,44	NÃO	5,42	15,1	2	30	70	195
SP-10	557545,00	9583760,00	17,81	15,98	SIM	4,2	13,61	4	36	55	177
SP-11	556786,69	9586922,84	15,96	15,45	NÃO	6,55	9,41	18	33	37	293
SP-12	554694,51	9588522,21	4,86	15,45	NÃO	4	0,86	70	70	25	462
SP-13	554725,65	9585834,88	37,42	16,45	NÃO	-	-	9	9	72	115
SP-14	555835,00	9587928,00	13,5	14,19	SIM	5,72	7,78	6	5	70	94
SP-15	555166,00	9588369,00	5,43	16,45	SIM	4,05	1,38	16	39	58	320
SP-16	556071,91	9587473,89	25,29	16,8	SIM	-	-	11	19	35	212
SP-17	552650,76	9588440,83	16,9	17,45	NÃO	8,12	8,78	22	29	17	303
SP-18	557569,73	9586033,51	22,76	15,45	SIM	-	-	14	33	61	302
SP-19	555264,48	9588317,19	4,87	24,45	NÃO	3,1	1,77	70	22	60	357
SP-20	557780,77	9588580,82	5,43	14,63	SIM	2,66	2,77	15	14	70	168
SP-21	556049,52	9588175,99	8,76	15,39	SIM	2,34	6,42	10	20	70	241
SP-22	555451,73	9588200,76	8,85	8,7	SIM	0,8	8,05	70	70	70	-
SP-23	555586,01	9588131,84	11,6	15,77	SIM	11,02	0,58	20	70	70	290
SP-24	554465,64	9587414,17	22,6	20,45	NÃO	10,2	12,4	11	15	51	175
SP-25	556925,86	9586617,11	18,67	29,45	NÃO	8,7	9,97	17	37	43	277
SP-26	554363,39	9587462,29	22,4	18,56	SIM	7,19	15,21	15	24	70	216
SP-27	553400,84	9587731,13	17,69	22,28	SIM	4,25	13,44	8	5	13	70
SP-28	560380,26	9585595,28	43,66	12,1	SIM	-	-	45	70	70	515
SP-29	558482,40	9586062,19	21,71	24,1	SIM	5,36	16,35	18	5	8	140
SP-30	560579,43	9585564,98	31,5	22,4	SIM	8,68	22,82	34	5	5	189
SP-31	555202,95	9585461,72	26,64	14,85	SIM	13,85	12,79	11	11	70	150
SP-32	555858,81	9587363,88	27,6	11,55	SIM	-	-	9	9	70	-
SP-33	555788,05	9587288,60	24,9	16,26	SIM	14,4	10,5	10	8	30	133
SP-34	555307,73	9585813,00	37,41	23,45	NÃO	18,15	19,26	10	23	23	187
SP-35	555490,85	9586362,33	36,7	13,85	SIM	-	-	12	11	70	147
SP-36	554761,91	9588321,95	10,8	18,1	NÃO	4,1	6,7	3	70	70	-

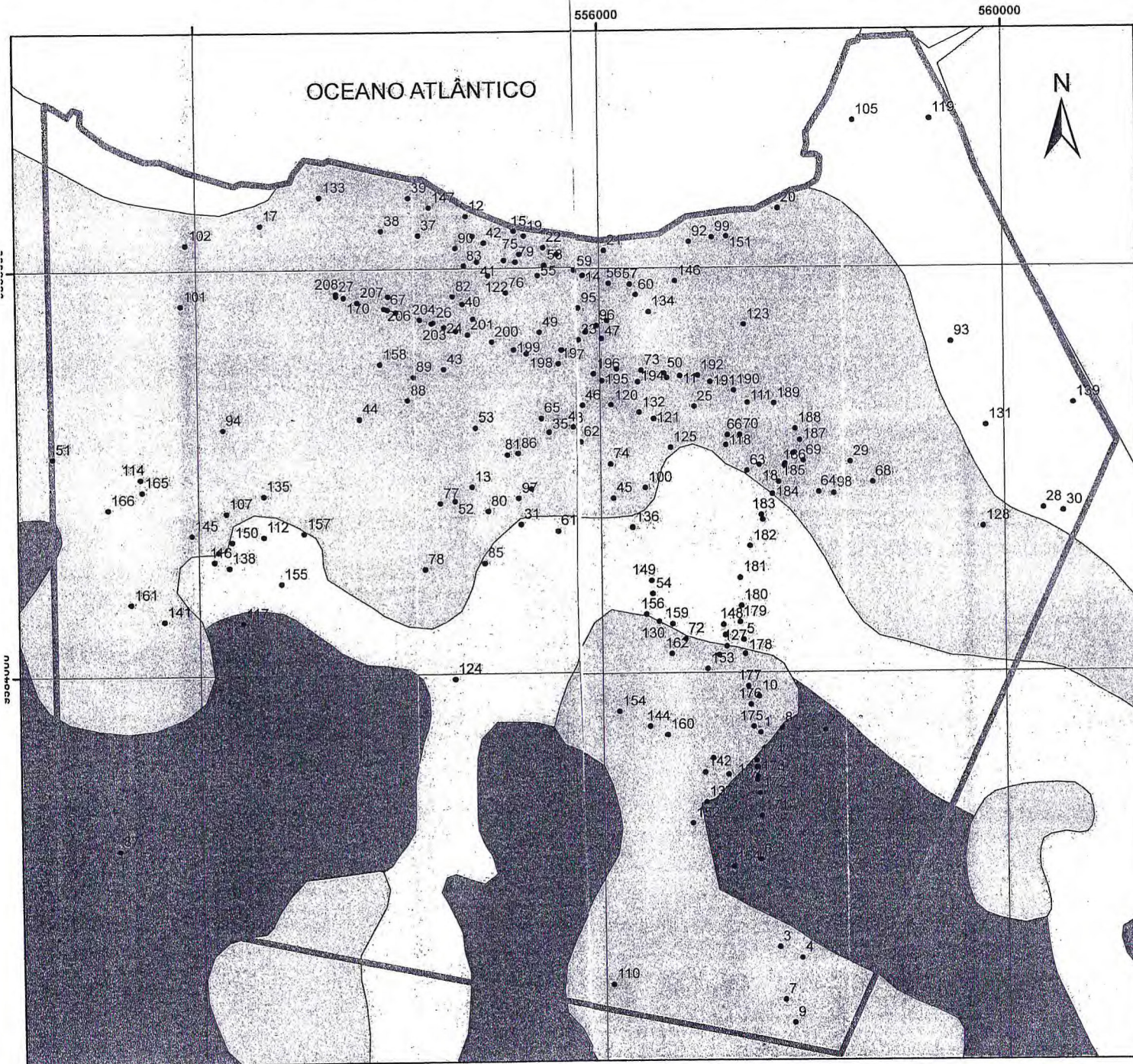
Tabela de Sondagens											
Ref. TCC	Coordenada X	Coordenada Y	Cota	Prof. (m)	Impenetrável	Nível D'água	Carga hidráulica	Nspt 8m	Nspt 12m	Nspt 16m	CC 12m
SP-37	554222,48	9588332,35	17,96	18,19	SIM	10,14	7,82	20	5	5	142
SP-38	553857,07	9588380,02	16,78	15,21	SIM	5,35	11,43	5	15	70	143
SP-39	554129,37	9588707,72	4,46	8,45	NÃO	2,41	2,05	16	-	-	-
SP-40	554648,71	9587645,00	24,6	23,45	NÃO	12,75	11,85	20	33	8	251
SP-41	554803,59	9588063,06	13,4	20,04	SIM	12,9	0,5	12	12	12	161
SP-42	554868,71	9588253,11	21,45	18,45	NÃO	7,15	14,3	22	13	70	127
SP-43	554460,24	9586996,68	21,14	16,13	NÃO	3,8	17,34	9	15	40	152
SP-44	553624,51	9586511,08	30,12	15,45	NÃO	11,6	18,52	18	37	8	292
SP-45	556119,74	9585721,75	27,48	23,7	SIM	-	-	18	19	20	223
SP-46	555824,22	9586639,09	33,87	18,16	SIM	-	-	7	36	7	337
SP-47	556019,59	9587298,57	24,6	14,05	NÃO	-	-	12	10	-	120
SP-48	555727,31	9586413,67	35,9	18,45	NÃO	-	-	12	12	14	160
SP-49	555405,12	9587355,20	33,5	16,11	SIM	-	-	2	11	53	120
SP-50	556633,43	9586948,53	16,18	22,18	SIM	10,5	5,68	17	33	9	257
SP-51	550562,76	9586144,67	17,33	10,5	SIM	3,16	14,17	23	70	70	-
SP-52	554554,48	9585697,17	38,47	19,34	NÃO	17,2	21,27	8	14	24	138
SP-53	554765,18	9586414,61	30,21	13,07	SIM	-	-	5	11	70	80
SP-54	556500,00	9584777,00	3,67	17,65	SIM	1,55	2,12	13	15	15	117
SP-55	555394,87	9587922,03	27,4	11,15	SIM	-	-	21	70	70	281
SP-56	556094,47	9587848,48	14,7	15,45	NÃO	10,7	4	28	16	20	252
SP-57	556300,20	9587838,93	12,2	16,23	SIM	-	-	16	5	7	120
SP-58	555460,23	9588023,97	17,43	8,55	SIM	-	-	21	70	70	-
SP-59	555750,80	9587970,93	11,44	9,63	SIM	10,05	1,39	3	70	70	-
SP-60	556356,30	9587731,78	17,2	22,32	SIM	9,75	7,45	11	34	4	191
SP-61	555566,84	9585396,10	18,67	17,86	NÃO	6,8	11,87	5	15	29	99
SP-62	555805,25	9586276,53	35,76	21,25	SIM	-	-	20	20	20	182
SP-63	557448,11	9585980,07	21,32	17,45	NÃO	14,2	7,12	17	23	55	225
SP-64	558161,56	9585769,07	26,39	28,22	SIM	11,7	14,69	32	21	18	332
SP-65	555415,36	9586499,75	36,28	17,64	SIM	-	-	11	21	60	134
SP-66	557253,89	9586332,93	18,78	16,45	SIM	11,6	7,18	16	35	47	278
SP-67	553913,35	9587594,23	23,06	8,45	NÃO	-	-	8	-	-	-
SP-68	558704,23	9585860,75	3,84	20,45	NÃO	3,2	0,64	7	11	8	155
SP-69	558009,76	9586075,28	30,03	20,45	NÃO	10,5	19,53	16	9	9	144
SP-70	557380,66	9586334,06	19,32	16,3	SIM	-	-	23	42	70	361
SP-72	556820,74	9584332,28	8,12	10,45	NÃO	3	5,12	17	-	-	-
SP-73	556404,84	9586980,88	19,49	20,57	SIM	13,57	5,92	15	9	7	139
SP-74	556097,34	9586056,27	31,4	20,45	NÃO	-	-	15	33	14	228
SP-75	555214,65	9588135,36	18,84	11,12	NÃO	4,2	14,64	8	70	-	260
SP-76	555079,78	9587752,00	26,9	14,6	SIM	13,4	13,5	10	19	70	215
SP-77	554409,98	9585676,08	38,67	12,15	SIM	-	-	8	70	70	157
SP-78	554254,60	9585031,86	24,23	12,26	SIM	-	-	7	11	70	119
SP-79	555179,83	9588058,22	25,91	13,92	SIM	-	-	70	39	70	316
SP-80	554881,10	9585593,47	36,1	19,11	SIM	14,94	21,16	7	9	9	110
SP-81	555075,76	9586148,23	36,77	12,22	SIM	-	-	9	15	70	175
SP-82	554555,39	9587721,71	22,9	30,45	NÃO	12,55	10,35	25	21	12	284

Tabela de Sondagens											
Ref. TCC	Coordenada X	Coordenada Y	Cota	Prof. (m)	Impenetrável	Nível D'água	Carga hidráulica	Nspt 8m	Nspt 12m	Nspt 16m	CC 12m
SP-83	554669,78	9588025,58	21,76	20,45	NÃO	13,2	8,56	16	16	13	196
SP-85	554840,38	9585087,91	22,22	19,75	SIM	15,1	7,12	7	10	8	93
SP-86	555181,56	9586160,05	38,54	14,22	SIM	-	-	11	6	70	92
SP-87	551175,37	9582269,23	18,85	10,45	NÃO	6,2	12,65	5	-	-	-
SP-88	554098,51	9586691,69	26,09	14,2	SIM	7,8	18,29	8	8	70	125
SP-89	554160,49	9586924,18	22,97	21,53	SIM	6,1	16,87	3	11	13	120
SP-90	554587,70	9588203,00	20,58	19,45	NÃO	16,1	4,48	16	17	5	163
SP-91	559042,91	9585823,90	20,78	22,4	SIM	4,3	16,48	23	21	5	265
SP-92	556890,38	9588256,71	10,56	7,41	SIM	0,57	9,99	70	70	70	-
SP-93	559481,28	9587245,00	50,91	8,4	NÃO	-	-	31	-	-	-
SP-94	552250,99	9586412,94	17,09	13,2	NÃO	2,4	14,69	4	21	-	216
SP-95	555788,14	9587603,38	28,5	15,25	NÃO	-	-	9	16	-	177
SP-96	555969,33	9587428,63	25,2	15,45	NÃO	-	-	10	21	-	197
SP-97	555181,88	9585720,08	31,54	18,34	SIM	-	-	15	16	15	195
SP-98	558311,88	9585754,16	22,91	21,45	NÃO	8,16	14,75	14	16	5	192
SP-99	557116,44	9588298,00	14,46	14,55	SIM	12,1	2,36	28	41	70	405
SP-100	556436,82	9585820,86	15,07	12,45	NÃO	-	-	20	16	-	248
SP-101	551844,31	9587647,22	20,18	15,45	NÃO	3,7	16,48	3	4	-	59
SP-102	551901,26	9588251,69	17,68	8,45	NÃO	3,9	13,78	10	-	-	-
SP-103	557599,79	9585496,37	6,1	16,41	SIM	5,3	0,8	10	51	28	219
SP-104	555620,33	9587175,03	28,5	16,7	SIM	-	-	15	23	18	218
SP-105	558535,44	9589445,34	5,06	15,11	SIM	1,7	3,36	7	70	70	289
SP-106	557908,11	9586148,33	19,88	17,38	SIM	7,45	12,43	13	5	38	116
SP-107	552275,79	9585593,09	20,33	18,42	NÃO	6,08	14,25	2	7	41	72
SP-108	557233,03	9582984,38	13,55	13,42	SIM	3,1	10,45	4	70	70	224
SP-109	557826,58	9586043,66	20,78	22,45	NÃO	10,8	9,98	12	5	4	152
SP-110	556069,27	9580913,74	18,24	11,06	SIM	1,96	16,28	20	70	70	235
SP-111	557458,93	9586653,03	15,68	18,45	NÃO	6,1	9,58	16	29	55	223
SP-112	552647,67	9585362,43	13,38	17,3	NÃO	5,22	8,16	16	18	27	195
SP-113	555067,26	9588077,86	24,79	15,13	SIM	-	-	9	11	70	140
SP-114	551427,47	9585937,90	18,76	10,45	NÃO	6,03	12,73	2	-	-	-
SP-115	552189,31	9585215,81	13,5	15,09	NÃO	5,75	7,75	12	70	70	205
SP-116	552149,94	9585119,20	7,54	11,12	NÃO	4,24	3,3	13	70	-	225
SP-117	552431,06	9584516,70	10,12	9,1	NÃO	0,81	9,31	55	-	-	-
SP-118	557239,68	9586235,03	16,69	17,45	NÃO	10,6	6,09	11	25	25	204
SP-119	559293,06	9589457,13	5,88	12,22	SIM	0,73	5,15	45	70	70	363
SP-120	556108,38	9586640,59	29,38	19,1	NÃO	-	-	8	11	9	115
SP-121	556524,04	9586498,30	23,92	15,84	SIM	-	-	14	18	70	201
SP-122	554906,72	9587923,85	23,6	18,15	NÃO	8,4	15,2	10	6	70	109
SP-123	557427,15	9587425,78	12,4	17,1	NÃO	3,65	8,75	13	26	70	228
SP-124	554533,51	9583945,71	4,16	11,5	NÃO	1,8	2,36	53	70	-	284
SP-125	556689,27	9586214,05	24,71	22,87	NÃO	12,8	11,91	15	22	45	217
SP-126	557151,00	9584173,00	13,91	13,68	SIM	4,52	9,39	8	15	70	113
SP-127	557227,92	9584257,47	13,41	14,32	SIM	4,42	8,99	16	11	70	99
SP-128	559783,72	9585418,49	37,62	15,27	NÃO	-	-	37	32	70	421

Tabela de Sondagens											
Ref. TCC	Coordenada X	Coordenada Y	Cota	Prof. (m)	Impenetrável	Nível D'água	Carga hidráulica	Nspt 8m	Nspt 12m	Nspt 16m	CC 12m
SP-129	557077,62	9583144,45	17,58	16,1	NÃO	5,3	12,28	3	14	70	112
SP-130	556559,60	9584503,08	6,12	12,45	NÃO	3	3,12	28	14	-	249
SP-131	559818,72	9586413,56	59,63	8,45	NÃO	-	-	70	-	-	-
SP-132	556381,72	9586562,43	25,37	18,76	SIM	17,63	7,74	11	12	4	127
SP-133	553249,13	9588716,89	3,72	8,45	NÃO	2,2	1,52	6	-	-	-
SP-134	556483,01	9587559,50	18,3	14,64	SIM	-	-	4	13	70	120
SP-135	552650,72	9585762,31	14,46	15,45	NÃO	2,74	11,72	17	70	35	235
SP-136	556307,25	9585431,82	12,08	20,3	SIM	6,4	5,68	12	35	25	260
SP-137	557006,86	9582709,62	15,41	15,1	NÃO	2,46	12,95	5	28	70	209
SP-138	552298,30	9585062,33	11,22	15,45	SIM	7,9	3,32	17	70	70	256
SP-139	560685,27	9586632,39	6,82	13,25	NÃO	3,26	3,56	26	69	-	256
SP-140	557214,26	9584369,80	11,76	17,67	SIM	2,93	8,83	22	28	52	166
SP-141	551644,37	9584540,00	11,41	13,43	SIM	2,38	9,03	21	70	70	304
SP-142	556998,28	9583008,14	16,82	12,15	SIM	1,75	15,07	4	38	70	205
SP-143	554753,98	9587496,84	22,9	23,17	SIM	11,4	11,5	16	5	17	95
SP-144	556459,68	9583466,44	19,85	18,3	NÃO	6,13	13,72	3	24	70	188
SP-145	551924,37	9585380,33	10,5	16,45	NÃO	3	7,5	10	61	50	211
SP-146	556745,82	9587866,76	16,8	9,07	NÃO	-	-	70	-	-	-
SP-147	554330,11	9588609,52	6,63	16,4	SIM	0,48	6,15	70	70	70	332
SP-148	557195,85	9584471,70	8,86	17,39	SIM	2,9	5,96	22	22	70	176
SP-149	556491,16	9584908,20	4,15	17,5	SIM	1,55	2,6	11	28	12	155
SP-150	552328,85	9585313,13	18,96	15,06	SIM	8,35	10,61	5	40	70	171
SP-151	557262,14	9588306,67	12,91	19,07	SIM	9,5	3,41	25	29	23	300
SP-152	556871,89	9582501,00	19,47	20,1	NÃO	2,4	17,07	5	25	29	125
SP-153	557035,76	9584035,18	12,41	14,05	NÃO	4,35	8,06	16	50	-	211
SP-154	556157,04	9583619,19	15,84	19,25	SIM	0,7	15,14	70	52	70	272
SP-155	552820,21	9584902,21	5,43	10,1	SIM	1,12	4,31	28	70	70	-
SP-156	556434,76	9584576,85	5,61	20,15	NÃO	0,72	4,89	32	20	50	166
SP-157	553056,22	9585391,00	7,62	10,1	NÃO	0,37	7,25	40	-	-	-
SP-158	553831,87	9587051,20	18,03	11,4	SIM	2,66	15,37	18	70	70	179
SP-159	556694,25	9584480,88	6,91	23,41	NÃO	4,2	2,71	24	25	15	230
SP-160	556630,94	9583380,04	15,93	10,35	SIM	2,4	13,53	3	70	70	-
SP-161	551321,41	9584712,91	17,46	14,29	NÃO	5,3	12,16	14	70	-	252
SP-162	556682,24	9584187,71	11,2	14,12	SIM	4,2	7	31	35	70	307
SP-163	556163,63	9586997,70	21,51	17,17	SIM	-	-	13	14	6	136
SP-164	557274,75	9582068,46	20,22	22,21	SIM	8,92	11,3	4	5	58	107
SP-165	551440,89	9585812,57	20,12	17,45	SIM	4,98	15,14	7	43	65	212
SP-166	551106,45	9585639,10	10,5	8,1	SIM	0,75	9,75	70	70	70	-
SP-167	553917,86	9587725,21	21,85	27,3	SIM	11,25	10,6	17	4	11	122
SP-168	557525,59	9583053,75	14	22,1	SIM	3,68	10,32	4	15	40	121
SP-169	557518,07	9582925,61	11,73	19,2	SIM	2,4	9,33	15	33	38	188
SP-170	553477,31	9587714,12	18,25	22,66	SIM	5,85	12,4	8	5	7	78
SP-171	557560,30	9582569,69	12,57	18	SIM	5,65	6,92	12	38	26	211
SP-172	557541,34	9582793,02	9,2	16,1	SIM	1,2	8	20	28	70	266
SP-173	557527,32	9582958,16	11,96	30,08	SIM	2,88	9,08	16	15	42	121

Tabela de Sondagens											
Ref. TCC	Coordenada X	Coordenada Y	Cota	Prof. (m)	Impenetrável	Nível D'água	Carga hidráulica	Nspt 8m	Nspt 12m	Nspt 16m	CC 12m
SP-174	557515,63	9583117,75	13,4	30,24	SIM	5,4	8	10	38	70	193
SP-175	557487,39	9583457,30	18,3	30,03	SIM	3,38	14,92	4	8	22	87
SP-176	557463,65	9583678,79	17,73	30,09	SIM	5,65	12,08	4	2	27	51
SP-177	557440,77	9583861,41	17,7	30,05	SIM	4,85	12,85	4	21	49	150
SP-178	557415,69	9584182,72	15,06	30,08	SIM	4,85	10,21	9	22	26	147
SP-179	557366,77	9584493,78	11,14	17,75	SIM	6,05	5,09	25	58	31	279
SP-180	557381,15	9584654,00	7,24	17,05	SIM	3,38	3,86	26	12	49	110
SP-181	557371,84	9584928,29	4,8	13,15	SIM	2,7	2,1	2	8	70	97
SP-182	557473,08	9585238,86	5,25	16,05	SIM	3,71	1,54	5	2	70	70
SP-183	557585,60	9585544,68	5,1	15,03	SIM	2,6	2,5	4	27	70	215
SP-184	557700,37	9585751,29	14,1	16,1	SIM	8,1	6	18	31	46	206
SP-185	557764,20	9585869,37	21,6	23,3	SIM	14,1	7,5	24	35	12	312
SP-186	557820,75	9586027,00	20,2	22,42	SIM	10,3	9,9	18	9	12	162
SP-187	557978,15	9586279,40	19,1	23,19	SIM	9,05	10,05	14	4	7	126
SP-188	557931,10	9586391,57	18,35	30,05	NÃO	6,85	11,5	13	5	12	77
SP-189	557721,94	9586644,67	14,15	26,08	SIM	5,42	8,73	15	32	23	234
SP-190	557321,24	9586778,08	13,9	24,37	SIM	6,25	7,65	14	13	50	181
SP-191	557084,64	9586860,55	14,6	16,98	SIM	8,1	6,5	20	27	36	256
SP-192	556964,41	9586925,69	14,66	26,11	SIM	9,8	4,86	30	17	19	223
SP-193	556658,02	9586905,03	16,1	21,43	SIM	6,1	10	18	21	9	226
SP-194	556371,36	9586869,39	19,6	15,11	SIM	8,82	10,78	13	70	70	247
SP-195	556017,91	9586882,23	24,39	22,82	SIM	17,15	7,24	9	10	14	80
SP-196	555936,03	9586949,34	24,87	11,4	SIM	16,1	8,77	17	70	70	296
SP-197	555588,25	9587039,83	24,9	20,62	SIM	14,3	10,6	15	21	40	135
SP-198	555273,59	9587143,95	29,5	13,75	SIM	16,2	13,3	14	14	70	103
SP-199	555150,11	9587184,46	30,4	12,5	SIM	15,9	14,5	11	9	70	123
SP-200	554937,47	9587263,10	26,2	14,28	SIM	11,2	15	27	5	70	154
SP-201	554699,90	9587339,06	22,9	13,62	SIM	8,4	14,5	27	14	70	220
SP-202	554582,42	9587377,54	22,8	19,68	SIM	5,6	17,2	14	35	70	244
SP-203	554346,03	9587455,27	22,38	19,45	SIM	7,45	14,93	17	24	35	248
SP-204	554230,49	9587493,55	23,3	17,18	SIM	6,97	16,33	19	40	22	241
SP-205	553994,64	9587566,23	24,8	30,1	NÃO	7,5	17,3	12	3	14	77
SP-206	553878,82	9587603,89	23,06	30,08	SIM	7,25	15,81	12	6	12	83
SP-207	553615,27	9587668,30	19,41	30,04	SIM	6,86	12,55	10	8	14	92
SP-208	553398,97	9587754,77	17,85	18,25	SIM	3,38	14,47	8	7	17	70

MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE SONDAGEM



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GEOLOGIA

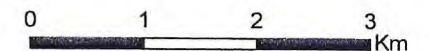
ZONEAMENTO DE RESISTÊNCIA À
PENETRAÇÃO NA REGIÃO NORDESTE
DA CIDADE DE FORTALEZA/CE

Jaime Rego de Menezes Neto
Orientadora: Sônia Maria S. Vasconcelos
Coorientador: César Ulisses V. Verfssimo

Legenda

- Pontos de Sondagem
- Delimitação da Área
- Formação Barreiras
- Depósitos Eólicos Litorâneos
- Depósitos de Praia
- Depósitos Aluviais

1:40.000



SIST. DE COORD.: WGS 1984 UTM ZONA 24S
PROJEÇÃO: TRANSVERSE MERCATOR
DATUM: WGS 1984
MERIDIANO CENTRAL: -39,00

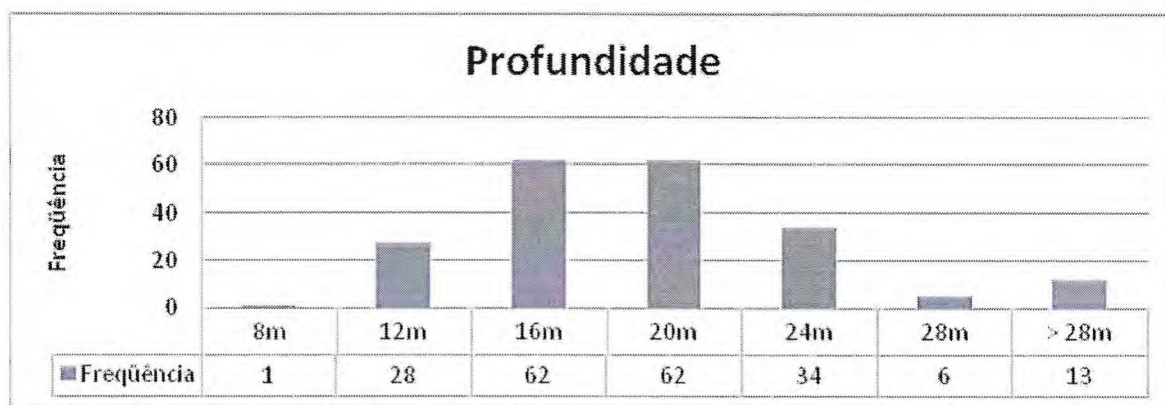
Os resumos descritivos das estatísticas e histogramas de profundidade das sondagens, dos índices de penetração (Nspt), da capacidade de carga e da carga hidráulica obtida estão apresentados em tabelas e gráficos.

A grande maioria das sondagens não ultrapassa a profundidade de 20 m e pode-se observar o comportamento dos dados tendendo à normalidade (Tabela 5 e Gráfico 1).

Tabela 5 - Estatística Descritiva da Profundidade Máxima

Resumo Estatístico	
Nº de dados	206
Média	17,21
Mediana	16,43
Variância	27,51
Desvio Padrão	5,24
Assimetria	0,44
Valor Máximo	30,45
Valor Mínimo	7,41

Gráfico 1 - Histograma da Profundidade Máxima



O histograma do Nspt de 8 m apresenta uma assimetria positiva, sendo evidenciado na Tabela 6 e no Gráfico 2, o mesmo comportamento pode ser observado no histograma do Nspt de 12 m, porém neste último já se têm o registro de aumento de frequência na última classe (Tabela 6 e Gráfico 3).

Tabela 6 – Estatística Descritiva do Nspt de 8, 12, 16 e 20 m e da Capacidade de Carga.

	Nspt 8 m	Nspt 12 m	Nspt 16 m	Nspt 20 m	Cap. de Carga
Nº de Dados	206	194	177	152	183
Média	17,24	28,68	43,74	59,4	193,33
Mediana	14	21	49	70	189
Variância	227,72	484,56	655,05	367,71	6598,74
Desvio Padrão	15,09	22,01	25,59	19,18	81,23
Assimetria	0,64	1,05	-0,62	-1,66	0,16
Valor Máximo	70	70	70	70	515
Valor Mínimo	2	2	4	7	51

Gráfico 2 – Histograma do Nspt de 8 m

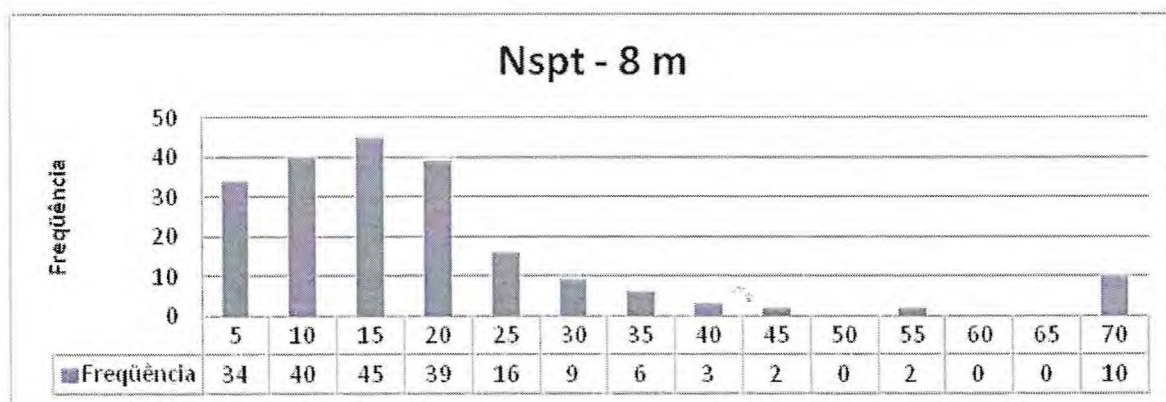
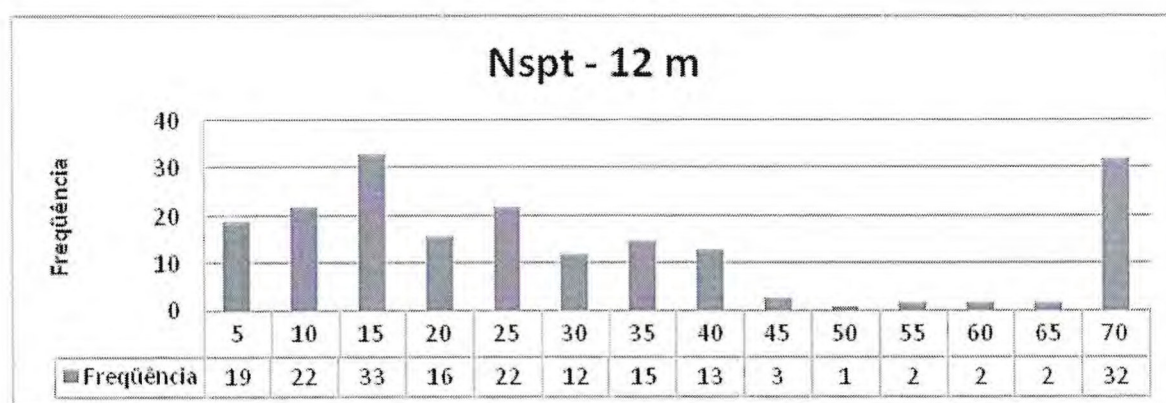


Gráfico 3 – Histograma do Nspt de 12 m



O histograma do Nspt de 16 m tem assimetria negativa (Tabela 6 e Gráfico 4), diferentemente dos dados de Nspt de 8 e 12 m. Esta assimetria apresenta-se ainda mais negativa para os dados do Nspt de 20 m, refletindo o aumento de frequência na classe de

maior valor de Nspt devido ao fato de que o valor de Nspt nas profundidades abaixo da camada impenetrável foi considerado com valor 70 (Tabela 6 e Gráfico 5).

Gráfico 4 – Histograma do Nspt de 16 m

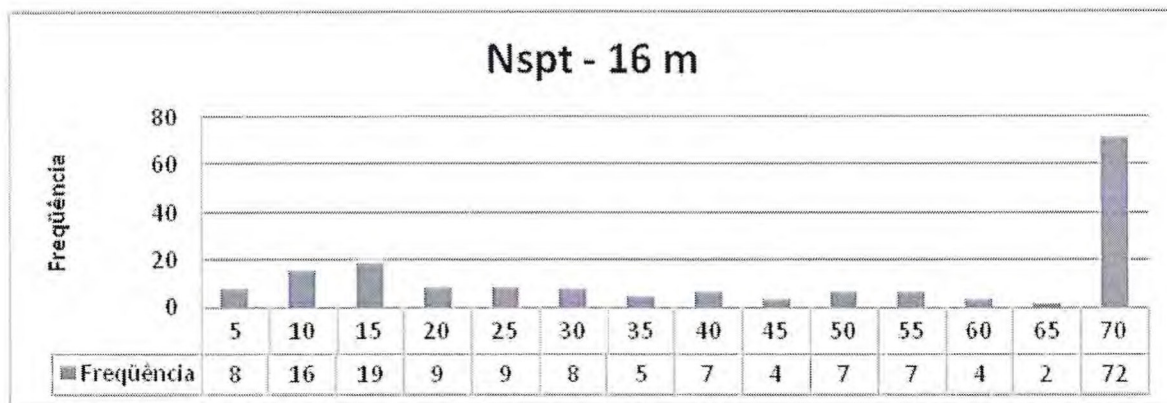
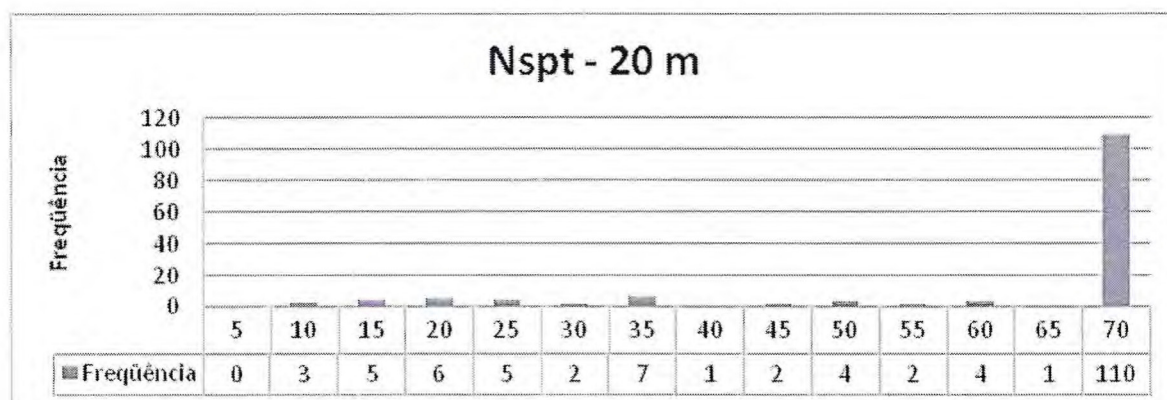
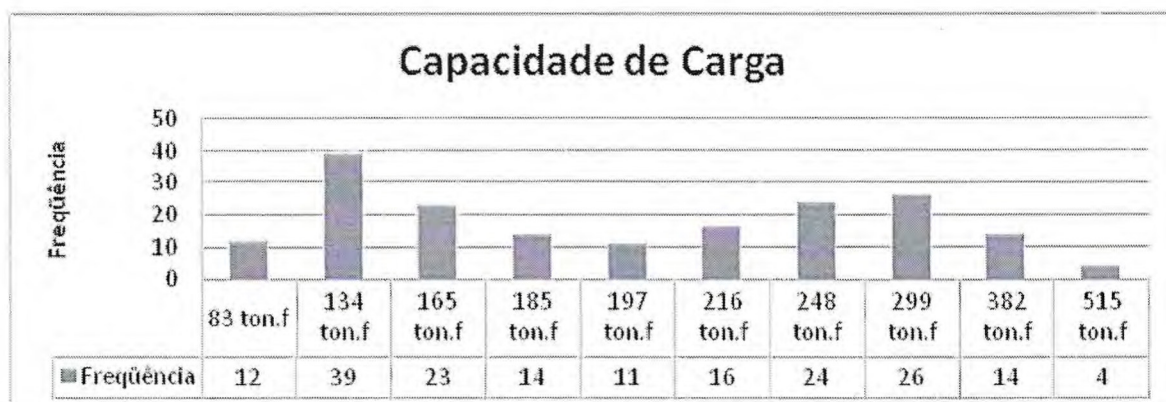


Gráfico 5 – Histograma do Nspt de 20 m



Os dados da Capacidade de Carga apresentam uma oscilação de frequência que pode ser um reflexo da diferenciação nas características das camadas em subsuperfície. (Tabela 6 e Gráfico 6).

Gráfico 6 – Histograma da Capacidade de Carga

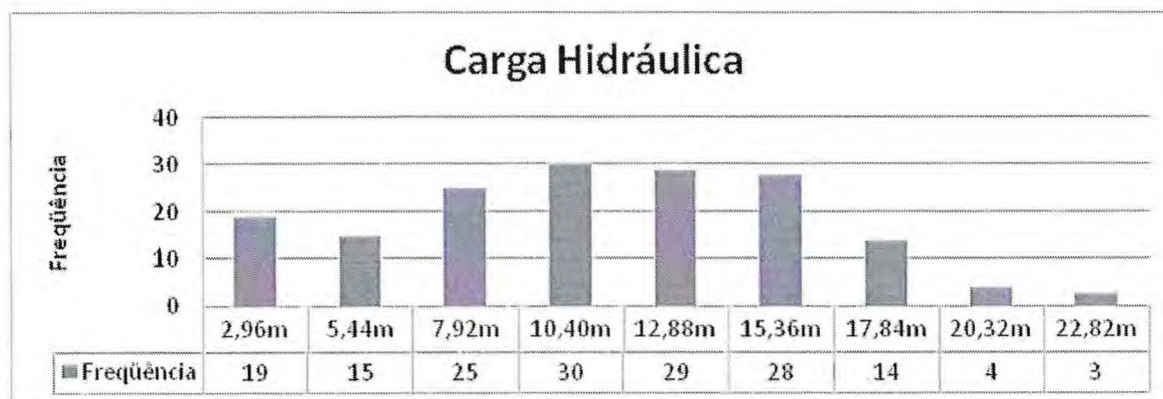


Os dados da carga hidráulica tendem à normalidade, tendo sua maior frequência entre os intervalos de 7,93 a 12,89 m (Tabela 7 e Gráfico 7).

Tabela 7 – Estatística Descritiva da Carga Hidráulica

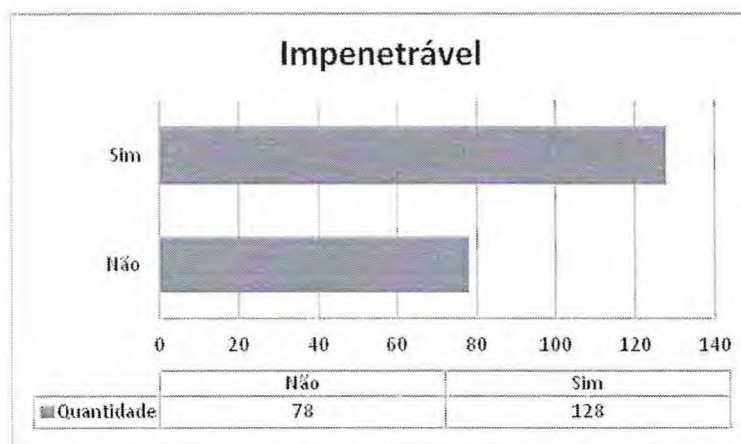
Resumo Estatístico	
Nº de dados	167
Média	9,93
Mediana	9,99
Variância	24,85
Desvio Padrão	4,98
Assimetria	-0,04
Valor Máximo	22,82
Valor Mínimo	0,5

Gráfico 7 - Histograma da Carga Hidráulica



Grande parte das sondagens conseguiram atingir a camada impenetrável, como mostra o Gráfico 8.

Gráfico 8 – Quantidade das Sondagens que Atingiram o Impenetrável



No mapa de Nspt de 8 m (Figura 5), observa-se uma predominância de baixos índices de penetração, concentrando 76,70% dos dados entre os valores de Nspt de 2 a 20. As zonas de maiores índices estão na região do bairro Meireles, Praia do Futuro e Aeroporto.

O mapa de Nspt de 12 m (Figura 6) apresenta um solo mais compacto que o de Nspt de 8 m, tendo 78,35% de sua distribuição entre os valores de Nspt de 2 a 40, ou seja, de forma quase uniforme. As regiões de maiores índices estão localizadas nos bairros Meireles, Cais do Porto, Luciano Cavalcante e Vila União.

No mapa de Nspt 16 m (Figura 7), confirma-se a tendência de aumento de compacidade do solo com a profundidade. Os valores apresentam maior uniformidade do que nos mapas de Nspt anteriores, sendo 59,32% de sua distribuição entre os valores de Nspt de 2 a 65. Os maiores Nspt estão localizados nas regiões dos bairros Meireles, Aldeota, Luciano Cavalcante, Guararapes, Água Fria e Cidade 2000.

No mapa Nspt de 20 m (Figura 8), pode-se observar 72,37% dos dados de Nspt no valor de 70. Isto comprova que quanto maior a profundidade, mais o solo tende a ser compacto, resultando, assim, num índice de resistência à penetração maior do que em profundidades mais rasas. As regiões com maiores Nspt são as mesmas do Nspt de 16 m, porém em maior proporção e com mais espalhamento.

Pode-se observar que há uma relação direta entre profundidade e resistência do solo, no entanto, são observadas exceções: em alguns pontos a resistência nos mapas de Nspt de menores profundidades é maior que aquela dos mapas de Nspt maiores profundidades. Isto é devido a camadas argilosas e siltosas estarem localizadas abaixo das camadas arenosas, onde as camadas arenosas tendem a ter um índice de penetração superior (Tabela 1).

Pode-se observar que os maiores índices de capacidade de carga para hélice contínua de Ø 600 mm a 12 m (Figura 9) ocorrem na região norte (Meireles), nordeste (Papicu e Cais do Porto) e leste (Praia do Futuro I e II) do polígono. O mapa da capacidade de carga na profundidade 12 m está coincidindo somente em parte com o mapa do Nspt de 12 m. Isto é devido à alternância das camadas de solo. No método de cálculo da capacidade de Antunes & Cabral, as camadas anteriores tem influência no cálculo das camadas posteriores, enquanto o Nspt é calculado para cada camada independente. Logo, devido esta alternância de solo, a capacidade de carga final pode ser inferior ou superior a esperada pelo Nspt.

O gradiente hidráulico, representado pelos vetores no mapa da carga hidráulica (Figura 10), mostra como o fluxo de água se comporta na área. As regiões costeiras funcionam como exutório das águas subterrâneas, fato confirmado pelo fluxo direcionado das regiões mais interiores para a zona de menor carga hidráulica. Observa-se que no centro do mapa há também uma zona de baixo valor de carga hidráulica, mostrando que o rio que passa no local (Rio Cocó) também funciona como exutório.

Figura 5 – Mapa de Nspt de 8 m

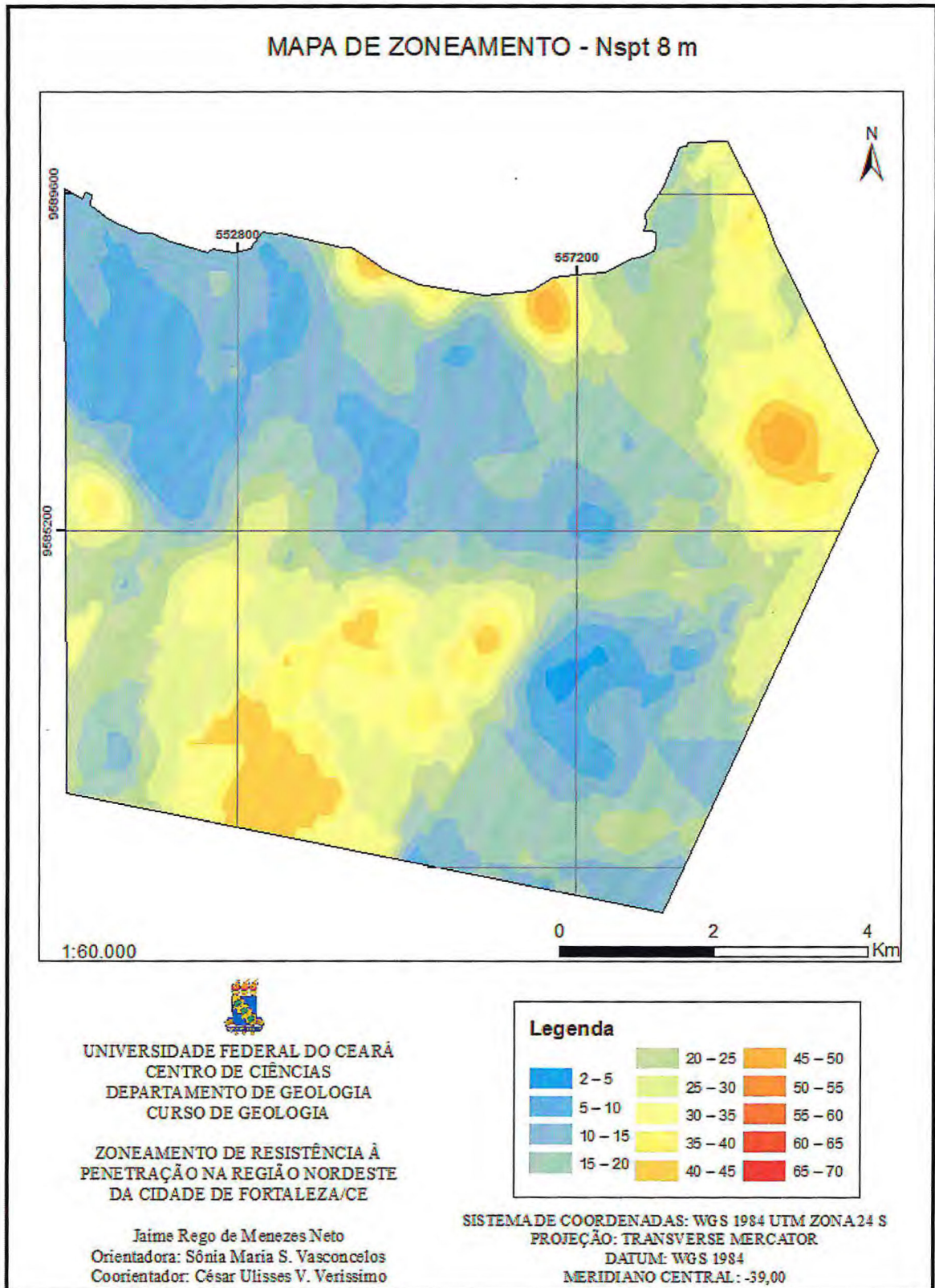


Figura 6 – Mapa de Nspt de 12 m

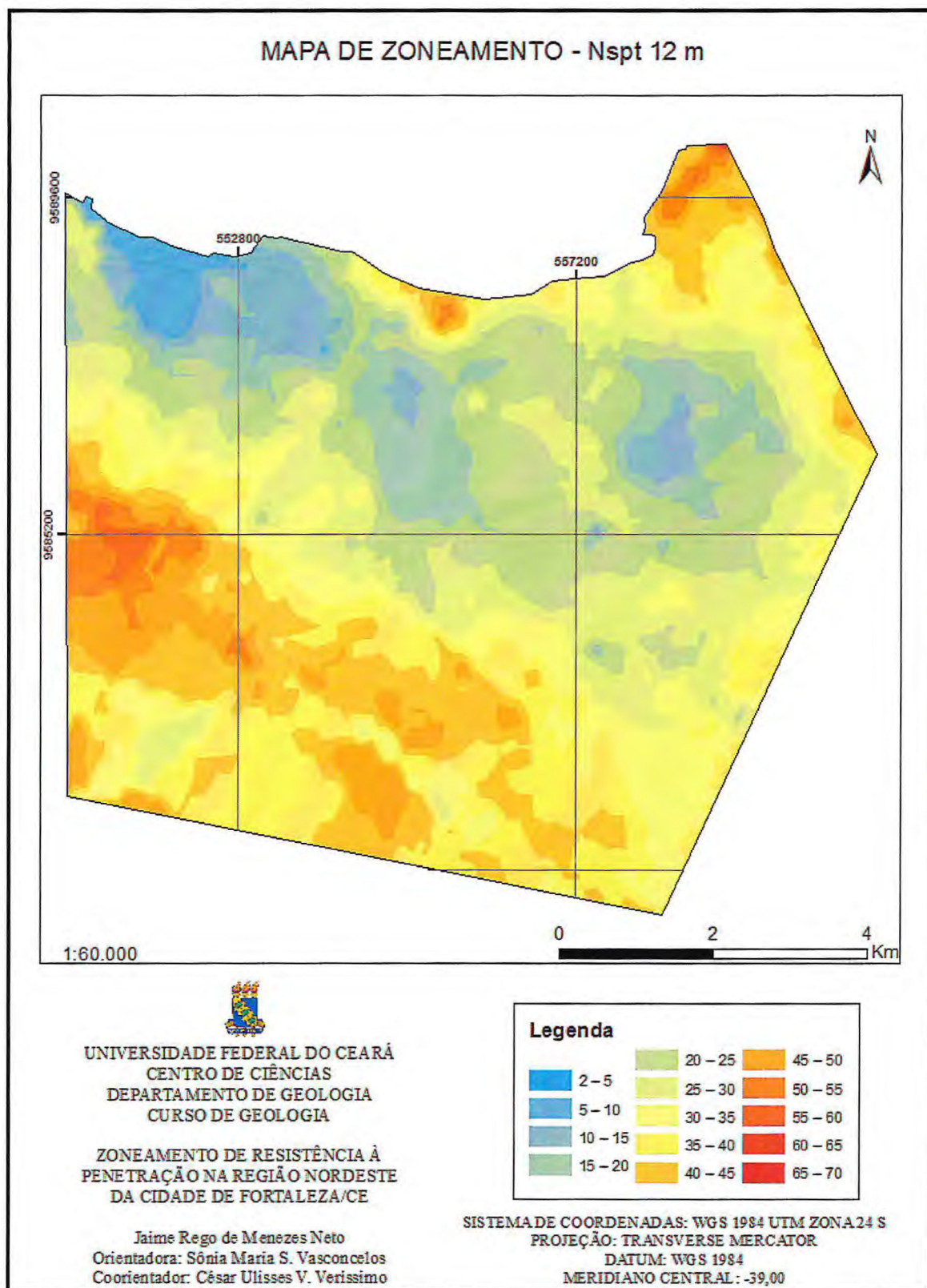


Figura 7 – Mapa de Nspt de 16 m

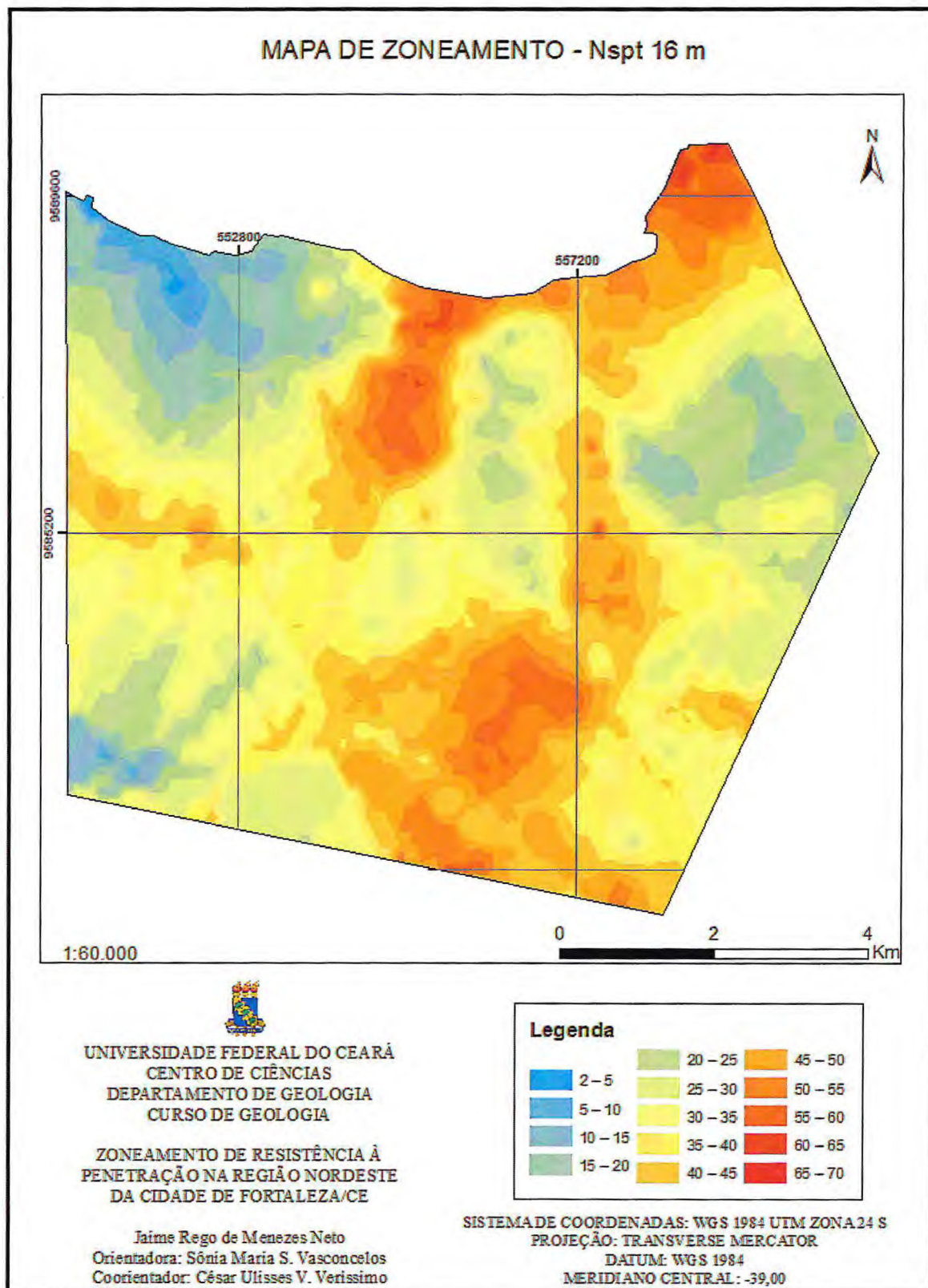


Figura 8 – Mapa de Nspt de 20 m

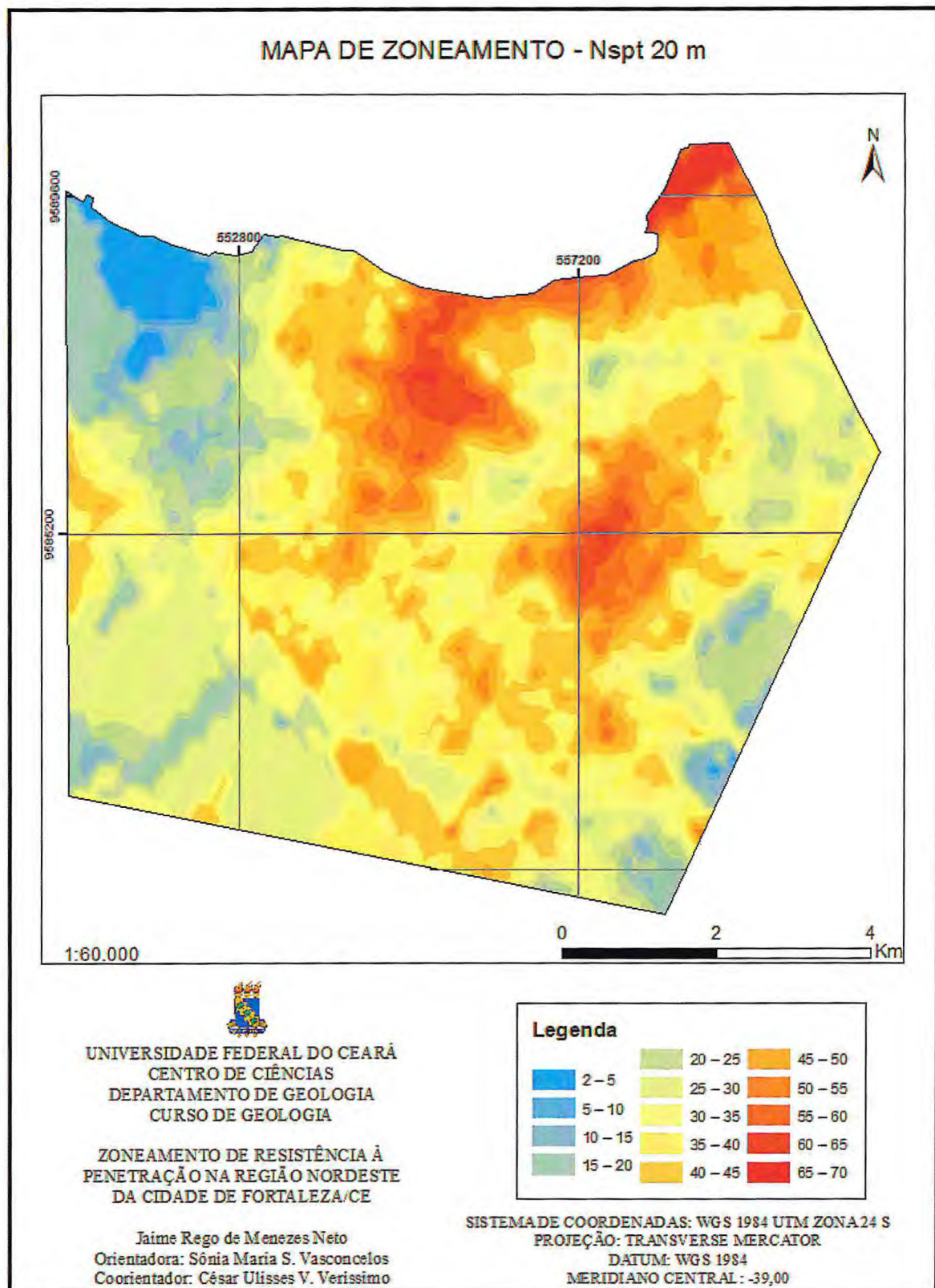


Figura 9 – Mapa da Capacidade de Carga Para Hélice Contínua de \varnothing 600 mm a 12 m

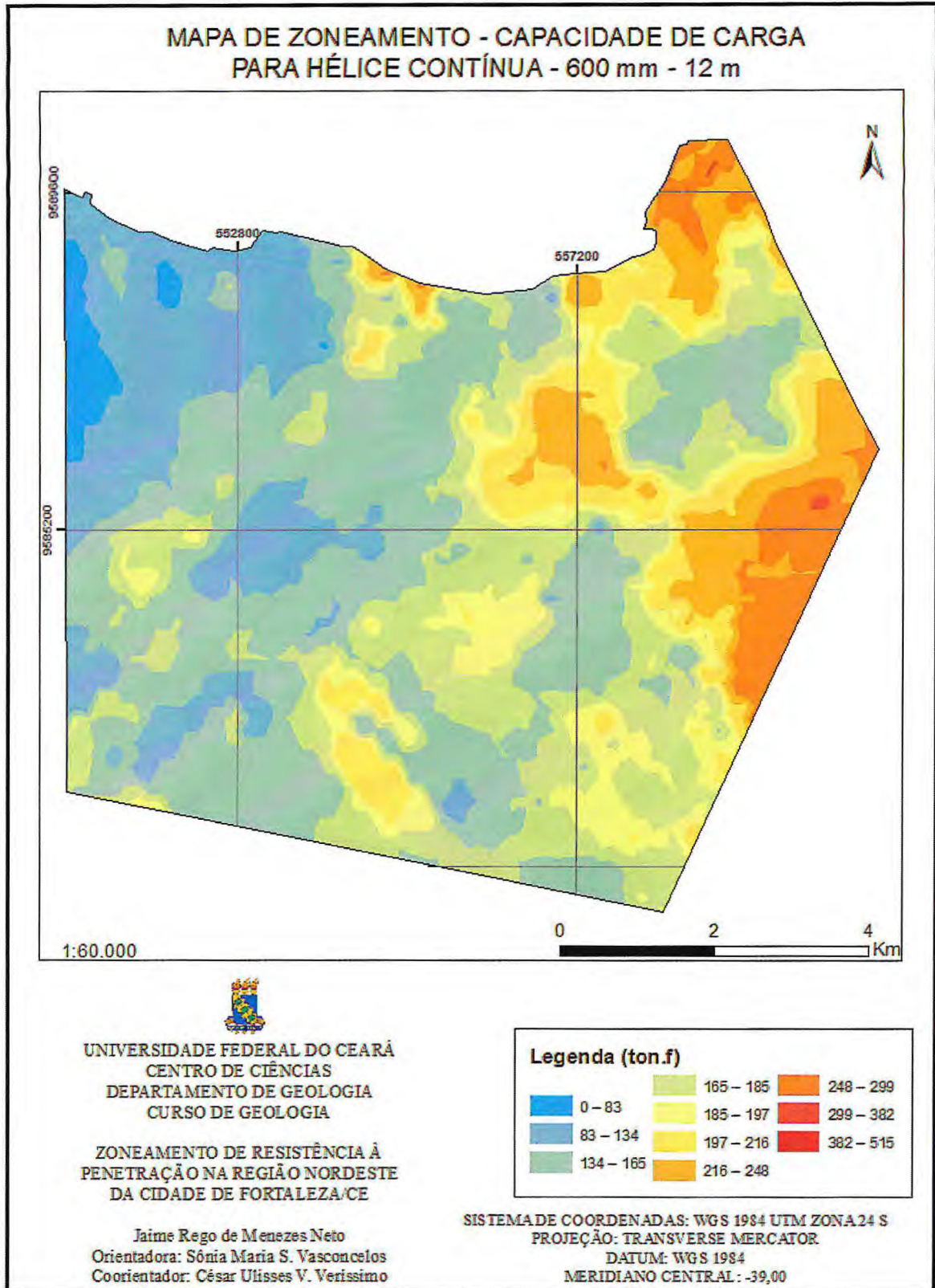
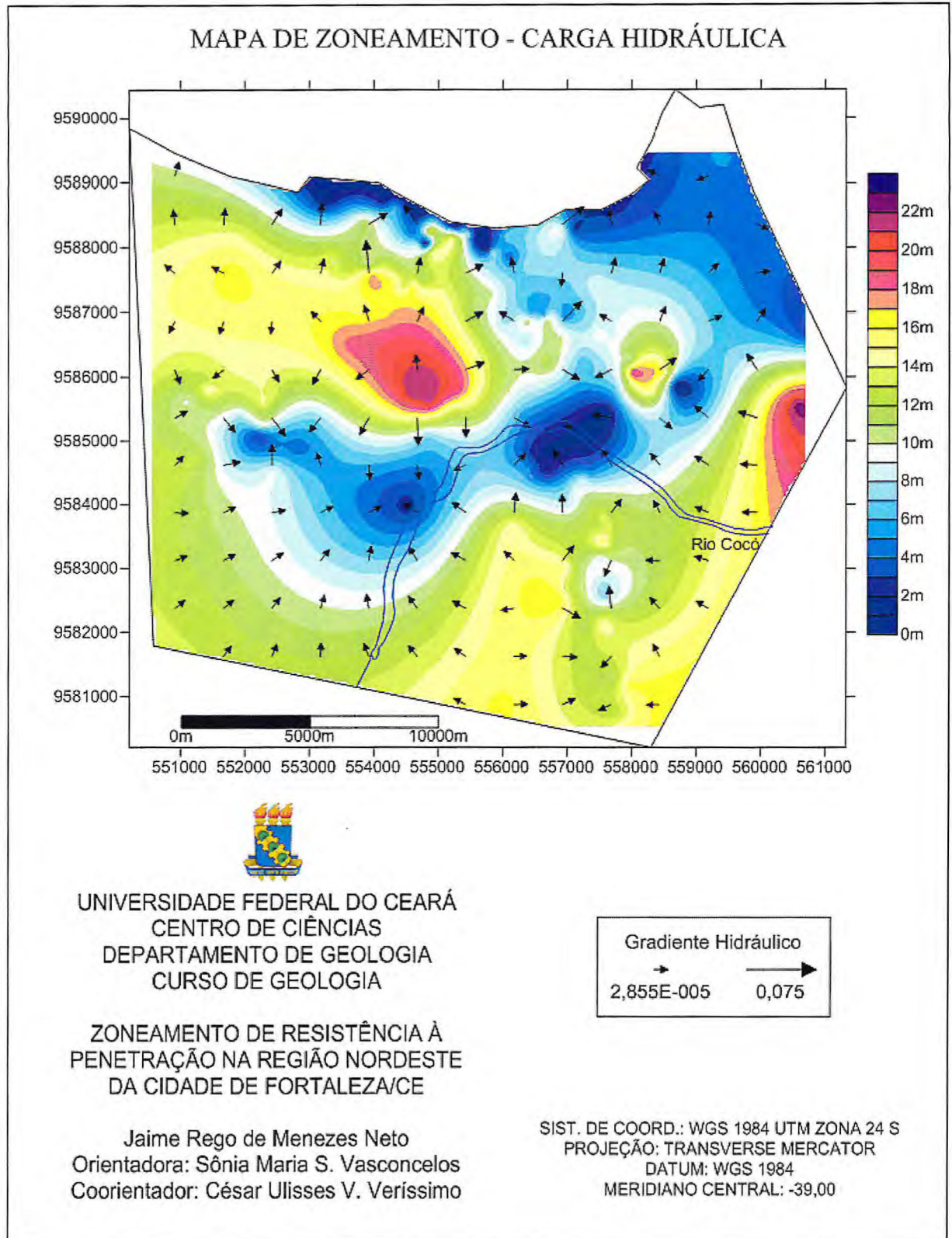


Figura 10 – Mapa da Carga Hidráulica



8 – CONCLUSÕES

Há uma relação direta entre profundidade e resistência do solo com algumas exceções onde o Nspt de menores profundidades é maior que o Nspt de maiores profundidades.

O mapa da capacidade de carga não apresenta plena correlação com Nspt à mesma profundidade, como mostrado para 12 m devido à alternância das camadas de solo. De fato, a capacidade de carga estabelece apenas uma previsão da resistência do solo à sobrecarga, para ter certeza é necessária a execução da prova de carga *in loco*.

O mapa de Carga Hidráulica indica o sentido de fluxo da água subterrânea convergindo para a drenagem superficial, para o mar ou para o rio.

Comparando os mapas de Nspt (Figuras 5, 6, 7 e 8) com mapa de localização dos pontos de sondagem na base litológica (Figura 4), nota-se que a região de Depósitos de Praia e da Formação Barreira concentram os maiores índices de Nspt. Isto devido à sua composição essencialmente constituída de sedimentos quartzosos tanto na Formação Barreira como nos Depósitos de Praia. Na região dos Depósitos Aluviais e dos Depósitos Eólicos Litorâneos se encontram os menores valores de Nspt, devido sua litologia ser baseada predominantemente por sedimentos mais finos (siltes e argilas), excetuando-se alguns setores localizados onde ocorre a presença de uma camada laterítica a poucos metros de profundidade.

REFERÊNCIAS

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<http://cidades.ibge.gov.br>[Acessado em 29 de setembro de 2014]
- NBR 6484 – Solo – Sondagens de Simples Reconhecimento com SPT – Método de Ensaio
- NBR 6122 – Projeto e Execução de Fundações
- ANTUNES, W. R & CABRAL, D. A. **Capacidade de Carga em Estacas Hélice Contínua**. 3º Seminário de Engenharia de Fundações e Geotecnia. São Paulo, 2: 105-109, 1996.
- BARROSO, S. H. A. **Estudo dos Solos da Região Metropolitana de Fortaleza Para Aplicação na Engenharia Rodoviária**. USP, 2002.
- BATISTA, C. T. **A Mineração de Agregados na Região Metropolitana de Fortaleza: Impactos Ambientais e Conflitos de Uso e Ocupação do Solo**. UFC, 2010.
- BRANDÃO, R. L. **Projeto SINFOR – Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza**. Texto Explicativo: CPRM. 34pp, 1995b.
- BRANDÃO, R. L. (1998). **Sistema de Informações para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR: Diagnóstico Geoambiental e os Principais Problemas de Ocupação do Meio Físico da Região Metropolitana de Fortaleza**. CPRM. 88 p. Fortaleza, Ceará, 1998.
- CAVALCANTE, I. N.; QUESADO, N. J. **Hidrogeologia do Município de Fortaleza, Ceará – Brasil**. XI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2000.
- COLARES, J. Q. DOS S. **Mapeamento Geotécnico Preliminar da Região Metropolitana de Fortaleza (CE) – Escala 1:100.000**. Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1995.
- FREITAS, C. B. **Qualidade das Águas Subterrâneas – Área do Município de Caucaia, Região Metropolitana de Fortaleza – Ceará**. UFC, 2009.
- GOMES, M. da C. R. **Aspectos Hidrogeológicos do Município de Fortaleza-CE**. Monografia. Curso de Especialização em Gestão Hídrica. UFPA. 81p, 2008.
- JACOMINE, P. K. T. **A Nova Classificação Brasileira de Solos**. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica, Recife, vols. 5 e 6, p.161-179, 2008-2009.
- LIMA, E. M. S., SILVA, E. V.– **Sensoriamento Remoto e Análise de Impactos Ambientais: Estuário do Rio Ceará – CE**. 2003. In: VI Congresso de Ecologia do Brasil. Fortaleza. Anais do VI Congresso de Ecologia do Brasil. Fortaleza, v. 1.
- MATTOS, E. F. O; **Introdução ao Estudo de Fundações**. Universidade Católica de Salvador. Escola de Engenharia, 2011.

MELO, P. V. M. P. **Caracterização Geológica/Geotécnica para Fundações do Ramal VLT Parangaba-Murucipe do Metrô de Fortaleza – Metrofor, no Município de Fortaleza / CE.** UFC,2012.

MOURA, A. S. **Caracterização Geotécnica Para Projetos de Fundações de Edifícios em Fortaleza – CE.** Dissertação de Mestrado. UNB. Brasília, 1997

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações – Edição Completa.** Oficina de Texto, 2011