



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DO MUNICÍPIO DE LUÍS EDUARDO
MAGALHÃES-BA A PARTIR DE ENSAIOS SPT

CÁSSIA KATIELLE CARVALHO DE OLIVEIRA

BARREIRAS-BA
DEZEMBRO-2022

CÁSSIA KATIELLE CARVALHO DE OLIVEIRA

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DO MUNICÍPIO DE LUÍS EDUARDO
MAGALHÃES-BA A PARTIR DE ENSAIOS SPT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do
Oeste da Bahia, como requisito à obtenção do grau de
Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Dr. Luís Gomes Carvalho

Co-Orientador: Prof. Dr. Vinícius de Oliveira Kühn

BARREIRAS-BA

DEZEMBRO-2022

FICHA CATALOGRÁFICA

O48 Oliveira, Cássia Katielle Carvalho de.

Mapeamento geotécnico do município de Luís Eduardo Magalhães-BA a partir de ensaios SPT. / Cássia Katielle Carvalho de Oliveira. – 2022.

71f.

Orientador: Prof. Dr. Luís Gomes Carvalho.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) –
Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das
Tecnologias. Barreiras, BA, 2022.

1. Levantamentos de solo. 2. Mapeamento geotécnico. 3. Sondagem SPT. 4. Luís
Eduardo Magalhães-BA. I. Carvalho, Luís Gomes. II. Universidade Federal do
Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624.1517

Biblioteca Universitária de Barreiras - UFOB

CÁSSIA KATIELLE CARVALHO DE OLIVEIRA

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DO MUNICÍPIO DE LUÍS EDUARDO
MAGALHÃES-BA A PARTIR DE ENSAIOS SPT**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do
Oeste da Bahia, como requisito à obtenção do grau de
Engenheira Civil.

Aprovada em 12 de dezembro de 2022.

Banca Examinadora

Orientador: _____

Dr. Luís Gomes Carvalho
Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Dr. Elias Isler
Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias
Universidade Federal do Oeste da Bahia

Dr. José Cláudio Viégas Campos
Departamento de Engenharia Ambiental
Universidade Federal do Triângulo Mineiro

*Dedico este trabalho a minha avó
Maria da Conceição Lima dos Santos (In Memoriam).*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela sua providência e intercessão nos momentos difíceis da minha trajetória durante o curso.

Aos professores Dr. Luís Gomes Carvalho e Dr. Vinícius de Oliveira Kühn pela atenção, paciência, apoio e esclarecimentos prestados durante a realização deste trabalho.

Aos professores Dr. Elias Isler e Dr. José Cláudio Viégas Campos que tão nobremente aceitaram compor a banca, gratidão.

Ao meu pai, João da S. Oliveira e aos meus irmãos pelo carinho e incentivo.

Ao meu noivo Leandro T. de Andrade pela compreensão, companheirismo, apoio e incentivo.

As minhas amigas de curso Aline P. da Silva, End Layne S. Martins, Thamyres M. da Silveira que sempre me apoiaram e proporcionaram momentos de felicidades em meio às situações difíceis. Gratidão meninas.

A todos os meus amigos de curso pela parceria, em especial a Alan Marques, Aleff Rodrigues, Aléson M. Barreto, Aline P. da Silva, Anna Flávia Marques, End Layne S. Martins, Fernando Silva, Luane Moreira, Mateus Leão, Miguel Figueiredo, Priscila Zaquini, Thamyres M. da Silveira.

Aos meus colegas de trabalho da Unidade Regional de Barreiras do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) pelo incentivo e apoio.

A todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica, em especial aos Prof. Dr. Vinícius de Oliveira Kühn, Prof. Dr. Pedro Cláudio dos S. Vieira, Prof. Dr. Elier Pavón de La Fé, Prof. Dr^a. Oysi Hernandez Menendez, Prof. Dr. Luís Gomes Carvalho, Prof. Dr. Luís Gustavo H. do Amaral e Prof. Dr. Juarez Hoppe Filho.

As empresas que forneceram os Boletins de Sondagem SPT e a Prefeitura de Luís Eduardo Magalhães por meio da Secretaria de Infraestrutura pela contribuição para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), por ter proporcionado condições de desenvolver este trabalho.

RESUMO

O presente trabalho resulta da análise das características geotécnicas do município de Luís Eduardo Magalhães, situado na região Oeste do estado da Bahia, provenientes de boletins de Sondagem de Simples Reconhecimento (*Standard Penetration Test* - SPT). A área de estudo abrange aproximadamente 169 km², que corresponde a sede do município. A metodologia utilizada para a caracterização da área foi o mapeamento por meio do software *QGIS*, a partir da análise dos dados cedidos pelas empresas de sondagens da região, construtoras no ramo da Engenharia Civil e pela Secretaria de Infraestrutura do município. Foram selecionados os furos de sondagem que permitiram o seu geoprocessamento na área de interesse, com a coleta de valores do Índice de Resistência à Penetração do Solo (Nspt), nível d'água, tipo de solo e cota do impenetrável. A análise dos dados adquiridos e dos mapas elaborados mostraram que a cidade de Luís Eduardo Magalhães possui solos predominantemente arenosos com porções de argila e em menor grau de silte, onde 61,23% das amostras do material coletado foram classificadas como areia, 30,43% em argila, 8,19% em silte e 0,16% de pedregulho. Foi verificado também que o solo apresenta baixa resistência nas camadas iniciais com valores de Nspt inferiores a 10 golpes. O pequeno número de furos que registraram o nível d'água, encontram-se próximos as drenagens naturais, estas ocorrências sugerem que o nível freático no perímetro urbano se encontra a maiores profundidades. A análise estatística das sondagens realizada apontou que nas profundidades iniciais (até 4 metros) ocorre pouca variabilidade dos valores da resistência do solo, que variam no entorno de Nspt igual a 4 e à medida que aumenta a profundidade, constata-se uma maior presença de valores discrepantes (*outliers*). Em se tratando de um estudo pioneiro no município, este trabalho reúne informações geotécnicas importantes, cujo banco de dados pode ser ampliado à medida que novas SPTs sejam registradas. As informações registradas até o momento podem ser empregadas estrategicamente no direcionamento de novas SPTs ou como subsídio a locação de novas construções realizadas pela Prefeitura de Luís Eduardo Magalhães, por outros órgãos públicos e empresas do setor privado.

Palavras-chave: Mapeamento Geotécnico; Sondagem SPT; Luís Eduardo Magalhães-BA.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO	10
2.1.1 Metodologias para o Mapeamento Geotécnico	11
2.2 SONDAGEM SPT	17
2.2.1 Sondagem SPT (Breve Histórico)	17
2.2.2 SPT no Brasil	18
2.2.3 O Ensaio SPT normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.....	19
2.2.4 Aplicabilidade e Correlação	21
2.2.5 Aplicações de Dados SPT em Estudos Recentes.....	22
2.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISE ESTATÍSTICA..	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	26
3.1.1 Geologia.....	27
3.1.2 Geomorfologia	29
3.1.3 Pedologia	31
3.2 COLETA DE ENSAIOS E TRATAMENTO DE DADOS.....	32
3.2.1 Mapas	32
3.2.2 Sondagens SPT	32
3.2.3 Estatística Descritiva.....	34
3.2.4 Avaliação e Mapeamento dos N_{spt} ao longo das profundidades	35
3.2.5 Mapeamento dos tipos de solos	35
3.2.6 Análise e mapeamento dos dados de impenetrável	36
3.2.7 Análise dos dados de nível d'água	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA	39
4.2 MAPEAMENTO DO N_{spt} NA CIDADE DE LEM	43
4.3 MAPEAMENTO DOS TIPOS DE SOLOS	48
4.4 MAPEAMENTO DO IMPENETRÁVEL	52
4.5 MAPEAMENTO DO NÍVEL FREÁTICO	53
5. CONCLUSÕES.....	55
REFERÊNCIAS	57
APÊNDICE A - VALORES DO N_{spt} PARA AS PROFUNDIDADES ONDE FOI REALIZADO O MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.	63
APÊNDICE B - TIPOS DE SOLOS PARA AS PROFUNDIDADES QUE FOI REALIZADO O MAPEAMENTO GEOTÉCNICO.	65
APÊNDICE C – SONDAJENS QUE ATINGIRAM À IMPENETRABILIDADE. ..	68
APÊNDICE D - FUROS QUE FORAM ENCONTRADOS O NÍVEL D'ÁGUA NAS SONDAJENS SPT.....	69
APÊNDICE E - ANÁLISE ESTATÍSTICA DESCRITIVA DOS 111 FUROS OBTIDOS NAS SONDAJENS.....	70

1. INTRODUÇÃO

O município de Luís Eduardo Magalhães (LEM) está situado no extremo oeste baiano, região média do rio São Francisco, e integra a região econômica do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), apresentando uma das mais pujantes economias do estado da Bahia. Com população estimada em 92.671 habitantes (IBGE, 2021) em somente 22 anos de emancipação, se tornou a segunda maior cidade do oeste da Bahia. Essa ascensão populacional se deu pelo município ser um dos mais importantes polos do agronegócio e da agroindústria do Brasil.

Esse crescimento populacional em um curto intervalo de tempo, reforça a necessidade de estudos voltados ao conhecimento prévio das áreas destinadas à ocupação urbana, principalmente dos solos que recebem as cargas provenientes das construções.

O conhecimento do comportamento do solo de um determinado local é fundamental para a elaboração de projetos e a execução das obras de engenharia, uma vez que, as características geotécnicas impactarão diretamente nos coeficientes de segurança, qualidade e economia das mesmas.

Um dos ensaios de campo mais populares no Brasil para investigação geotécnica é o de Sondagem de Simples Reconhecimento (SPT - *Standard Penetration Test*), que permite obter o perfil do terreno e a resistência do solo nas camadas analisadas ao longo do furo, bem como a possível existência de nível d'água (ODEBRECHT, 2003; SCHNAID, 2000).

Neste contexto, o presente trabalho consiste na análise geotécnica a partir de informações registradas em boletins de SPTs realizadas no perímetro urbano da cidade de Luís Eduardo Magalhães-BA, organizadas e processadas no Sistema de Informação Geográfica (SIG) *Quantum GIS* (QGIS).

Até a presente data, a cidade de LEM, não dispõe de um trabalho de mapeamento geotécnico, o que justifica a realização desta pesquisa pela integração das sondagens de SPT com a finalidade de elaboração do mapa geotécnico preliminar. Nesse sentido, espera-se que este mapa geotécnico preliminar sirva como guia e subsídio na realização de novas sondagens, bem como em novas propostas de pesquisas acadêmicas, contribuindo estrategicamente na elaboração de projetos futuros, reduzindo, tempo, custos e sirva como instrumento para a gestão da política de uso e ocupação do solo do município.

OBJETIVOS:

Geral:

O objetivo geral deste trabalho é identificar e caracterizar geotecnicamente o solo da área urbana do município de Luís Eduardo Magalhães-BA com base na análise de perfis de Sondagem de Simples Reconhecimento – SPT.

Específicos:

- Obter e organizar informações geotécnicas pré-existentes sobre a área de estudo com base em ensaios SPT;
- Mapear os furos de sondagem e as respectivas cotas de níveis de água;
- Verificar a variabilidade entre as camadas de mesma zona quanto ao tipo de solo e resistência encontrada;
- Gerar mapas temáticos no software QGIS observando as características apresentadas nas sondagens SPT;

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MAPEAMENTO GEOTÉCNICO

O mapeamento geotécnico é uma ferramenta multidisciplinar utilizada no gerenciamento e planejamento territorial, ele proporciona dados da região, que subsidiam o estabelecimento de diretrizes no controle do uso e ocupação do solo, estudos ambientais e de engenharia, sendo um instrumento essencial para o gestão pública (VALENTE, 1999; ZUQUETTE, 1987). As informações qualitativas e quantitativas georreferenciadas são inseridas em banco de dados de um SIG no qual são geradas as cartas geotécnicas que facilitam a tomada de decisão por parte dos gestores (OLIVEIRA E BRITO, 1998).

O mapeamento geotécnico, no sentido restrito, surgiu no ano de 1913 com a publicação dos primeiros documentos de Langen, na Alemanha. Estes arquivos eram um conjunto de plantas de algumas cidades alemãs, com o intuito de demarcar as áreas sujeitas as inundações, mudanças de nível d'água e possíveis áreas para exploração de insumos para construção civil (ZUQUETTE, 1993). No Brasil, teve seu primeiro registro com a confecção de um mapa geológico, no ano de 1907, aplicado ao prolongamento da Estrada de Ferro Nordeste do Brasil e, após as pesquisas precursoras, outros pesquisadores criaram diversos métodos para tentar mapear, compreender e mensurar o comportamento dos solos (HIGASHI, 2002).

Essa metodologia representa, por meio de mapas, as características geomecânicas e geológicas do solo, sendo um mecanismo que pode sinalizar potenciais e atuais problemas inerentes a exploração das unidades geotécnicas (HIGASHI, 2006; IAEG, 1976; MAFRA JÚNIOR, 2007).

Desenvolvido a partir do conhecimento do meio físico (geomorfologia, pedologia, geologia, hidrologia e hidrogeologia) com suas interações naturais e as intervenções antrópicas, o mapeamento geotécnico é amplamente aplicado a prevenção de acidentes e na busca pelo entendimento das ocorrências naturais e antrópicas (ANDRADE, 2005; ZUQUETTE, 1987).

Para a execução de mapas a serem utilizados no planejamento do meio físico regional, devem ser adotadas escalas na ordem (1:25.000 ou 1:10.000) pois, elas permitem uma melhor avaliação dos parâmetros e atributos geotécnicos (DE MIO E GANDOLFI, 1995; PEJON E ZUQUETTE, 1995).

2.1.1 Metodologias para o Mapeamento Geotécnico

Diversos pesquisadores desenvolveram metodologias com o intuito de realizar o mapeamento dos solos. Mafra Júnior (2007) e Caraméz (2017) concordam que apesar das particularidades de cada metodologia desenvolvida, ambas convergem para um único objetivo, o mapeamento geotécnico. Alguns destes métodos estão listados a seguir:

a) Metodologia PUCE (*Patterns, Units, Components and Evaluation*)

Com a utilização de mapas do meio físico da região (geológicos, topográficos, solos, vegetação, e feições de relevo e drenagem), essa metodologia, originada na Austrália e desenvolvida por Aitchinson e Grant (1976), permite a classificação de terrenos para uso no desenvolvimento urbano e regional (HIGASHI, 2006).

Quatro classes compõem esse sistema de classificação dos terrenos: Província que corresponde a uma área demarcada a partir de características geológicas constantes; Padrão que é determinado com base nos parâmetros geomorfológicos (relevo, drenagem e densidade) e atributos paisagísticos uniformes; Unidade de terreno que é definida pela associação de solos com a vegetação formando feições distintas e o Componente que leva em consideração as propriedades local do solo (tipo, uso e cobertura do solo, ângulo de escorregamento de encostas, litologia do substrato rochoso etc) (ZUQUETTE, 1987; MIRANDA, 2005; HIGASHI, 2006; ROQUE, 2016).

b) Metodologia IAEG (*Internacional Association of Engineering Geology*)

Os resultados dessa metodologia foram apresentados em 1970 a partir da formação de uma comissão composta por alguns membros da IAEG (*Internacional Association of Engineering Geology*), em 1968. Ela objetiva adequar socioeconomicamente e tecnicamente a construção do mapeamento para a maioria dos países (HIGASHI, 2006).

Para a utilização dessa metodologia deve-se levar em consideração as propriedades do local (solos e rochas, geomorfologia e hidrogeologia), e observar a classificação dos mapas geotécnicos conforme a sua finalidade (especial e multifinalidade), conteúdo (analítico e compreensivo) e escala (grandes, intermediárias e pequenas) e que permitem a caracterização do meio com a utilização de atributos específicos ou variados (ZUQUETTE, 1993; SOUZA, 2002).

c) Metodologia Espanhola

Essa metodologia surgiu nos anos de 1950 com a elaboração da cartografia geotécnica. Ela propõe quatro tipos de mapas geotécnicos (geral, básico, seletivo e específico), que servem para auxiliar no planejamento e trazerem informações sobre qualquer tipo de construção, abrangendo desde projetos em grandes áreas (nível nacional ou regional) até pequenas escalas (nível local) (ZUQUETTE, 1987).

d) Metodologia Francesa

A metodologia francesa é resultado do levantamento e análise dos trabalhos de mapeamento geotécnico existentes na França e em outros países, realizado por SANEJOUAND e publicado em 1972. Podendo ser utilizada tanto para fins regionais como para situações específicas, os atributos utilizados neste método dão origem a um conjunto de documentos básicos (cartas de documentação do substrato rochoso, dos materiais, de cobertura hidrogeológica e geomorfológica,) que ao serem analisados, resultam nas cartas de aptidão voltadas para fundações, vias de transporte, materiais de construção etc (ZUQUETTE, 1993; MIRANDA, 2005).

e) Metodologia de Mapeamento Geotécnico proposta por ZUQUETTE (1987)

A metodologia de Zuquette (1987) baseia-se na análise crítica dos métodos de mapeamento geotécnico existentes e, segundo Andrade (2005), fornece alternativas para aquisição de informações (atributos) do meio físico (rochas, materiais inconsolidados, águas, relevo e suas relações) mais apropriadas, que atenda as condições socioeconômicas brasileiras, adequando-se a uma diversidade de escalas (1:250.000 a 1:100.000 e 1:50.000 a 1:10.000).

O objetivo principal desta proposta é a confecção de documentos que irão auxiliar a implantação de formas de ocupação, sem que o meio físico sofra consequências desastrosas. Os atributos são essenciais para definir se as áreas são homogêneas ou heterogêneas para uma determinada finalidade (ZUQUETTE, 1987).

Quatro categorias compõe as classes de documentos com as informações (atributos) que devem ser levantadas e analisadas para a elaboração deste mapeamento geotécnico: mapas

básicos fundamentais (topográficos, geológicos, de materiais inconsolidados, das águas), mapas opcionais: (pedológicos, geofísicos, geomorfológicos, climáticos, de ocupação atual ou prevista), mapas auxiliares (de natureza documental) e cartas derivadas e interpretativas (fruto da análise dos dados das outras classes de mapas).

f) Metodologia IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo)

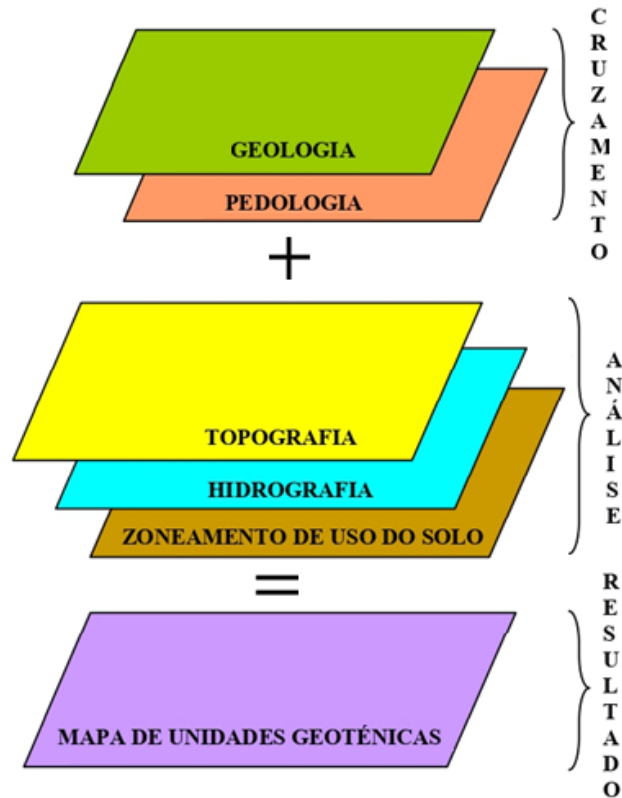
Os primeiros trabalhos realizados pelo IPT foram em 1980 os mapas do morro de Santos e morro de São Vicente, em 1984 a carta da Região Metropolitana de São Paulo e em 1989 da Região Metropolitana de Guarujá (ROSA, 2020).

Os produtos gerados (cartas geotécnicas) pelo emprego dessa metodologia permitem a identificação de problemas (existentes ou previstos) e direcionam para busca de soluções e para a ocupação correta da área (ZAINE, 2000; MAFRA JÚNIOR, 2007).

g) Metodologia de mapeamento geotécnico proposta por Davison Dias (1995)

Em 1995, Davison Dias propôs a criação de um mapa de estimativas comportamentais para solos brasileiros, onde foi realizado o cruzamento de informações do substrato geológico com as características pedológicas e correlacionando-as com a topografia, a hidrologia e observações em campo, conforme Figura 1 (ZAINE, 2000; HIGASHI, 2006; MAFRA JÚNIOR, 2007).

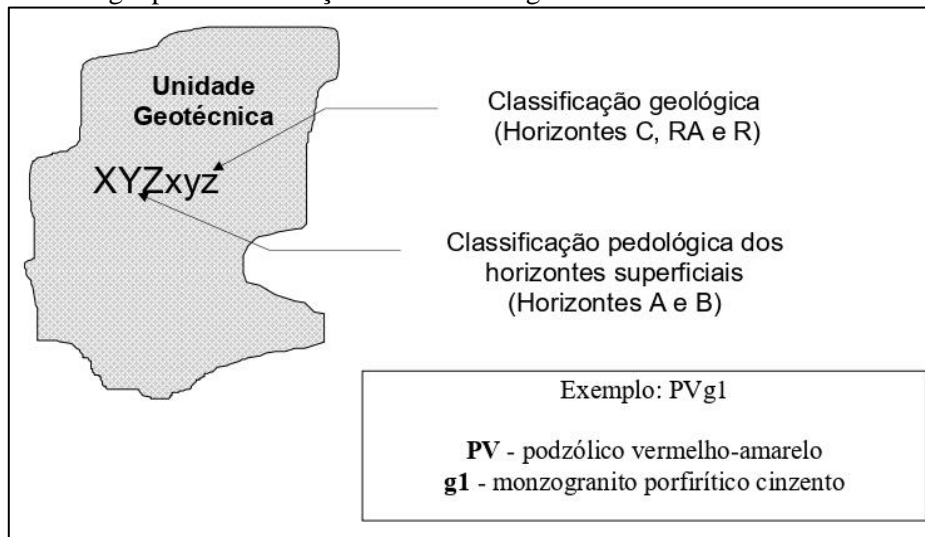
Figura 1 - Princípio básico da metodologia de mapeamento adotada.



Fonte: Mafra Júnior (2007).

Assim, é possível realizar a identificação das unidades geotécnicas por meio da simbologia “XYZxyz”, onde as letras maiúsculas correspondem à classificação pedológica do perfil, enquanto as letras minúsculas xyz representam a geologia, caracterizando os horizontes C (horizonte onde a rocha matriz começa a intemperizar-se), RA (rocha alterada) e R(rocha sã) (Figura 2) (VALENTE, 1999).

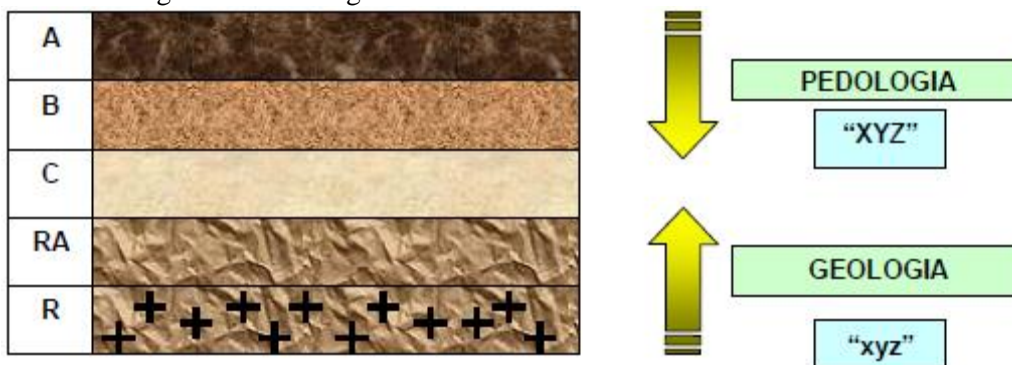
Figura 2 - Simbologia para identificação das unidades geotécnicas.



Fonte: Dias (1995).

A Figura 3 traz uma melhor visualização da simbologia para identificação das unidades geotécnicas, onde o perfil do solo segue uma ordem pedológica de cima para baixo e geológica de baixo para cima (HIGASHI, 2002).

Figura 3 - Simbologia de unidades geotécnicas.



Fonte: Dias (1995), retirado de Higashi (2002).

Segundo Higashi (2002), os dados apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3, foram utilizadas por Davison Dias (2001) para representar as classes pedológicas, seus horizontes e geologia, no trabalhos desenvolvidos no sul do Brasil.

Tabela 1 - Simbologia simplificada das classes pedológicas.

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
A	Aluviais	P	Podzois Indiscriminados
AQ	Areias Quartzosa	PB	Podzólico Bruno-Acinzentado
B	Brunizem	PE	Podzólico Vermelho-Escuro
BT	Brunizem Vértico	PL	Planossolo
C	Cambissolo	PLV	Planossolo Vértico
CB	Cambissolo Bruno	PLP	Planossolo Plíntico
GH	Glei	PT	Plintossolo
HO	Solo Orgânico	PV	Podzólico Vermelho-Amarelo
LA	Latossolo Amarelo	R	Litólico
LB	Latossolo Bruno	TR	Terra Roxa Estruturada
LBC	Latossolo Bruno Cambico	TB	Terra Bruna-Estruturada
LBR	Latossolo Bruno-Roxo	TBR	Terra Bruna-Roxa
LE	Latossolo Vermelho-Escuro	TBV	Terra Bruna Podzólica
LR	Latossolo Roxo	V	Vertissolo
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo		

Fonte: Dias (2001) retirada de Higashi (2002).

Tabela 2 - Identificação de espessura de horizonte.

Espessura de Horizonte (m)	Classificação
0 - 0.30	Sem horizonte (se)
0.30 – 2.00	Pouco Espesso (pe)
2.00 – 5.00	Medianamente Espesso (mde)
5.00 – 10.00	Espesso (e)
>10.00	Muito Espesso (me)

Fonte: Dias (2001) retirada de Higashi (2002).

Tabela 3 - Geologia Simplificada.

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
a	Arenito	g	Granito
ag	Argilito	gl	Granulito
na	Andesito	gn	Gnaisse
ar	Ardósia	gd	Granitoide
b	Basalto	ma	Mármore
br	Brecha	p	Pelito
c	Conglomerado	q	Quartzito
ca	Calcáreo	r	Riolito
cm	Complexo metamórfico	si	Sienito
cr	Carvão	s	Siltito
d	Diorito	sq	Sedimentos quaternários
da	Dacito	st	Sedimentos terciários
f	Folhelho	x	Xisto

Fonte: Dias (2001) retirada de Higashi (2002).

2.2 SONDAGEM SPT

Uma investigação do solo com a obtenção dos parâmetros geotécnicos, permitem a elaboração de projetos de engenharia civil seguros, econômicos e evitam dificuldades em sua execução, bem como permitem a seleção de alternativas e resolução de problemas de fundação e propicia um melhor gerenciamento nas atividades de uso e ocupação racional do solo (VALENTE, 2000; SILVA, 2014; KNAPPETT, J. A.; CRAIG, 2018).

A sondagem a percussão é um procedimento geotécnico de campo, capaz de amostrar o solo. A partir dele é possível obter a resistência do solo (N) ao longo da profundidade perfurada, conhecer o tipo de solo por meio da identificação tátil-visual das diferentes camadas a partir da amostra deformada recolhida no amostrador-padrão, indicar a densidade de solos granulares e consistência de solos coesivos e a posição do nível d'água, quando encontrados durante a perfuração (SCHNAID, 2000; HACHICH *et al.*, 1998;).

As vantagens deste ensaio com relação aos demais são: simplicidade do equipamento, baixo custo e obtenção de um valor numérico de ensaio que pode ser relacionado com regras empíricas de projeto (SCHNAID, 2000).

2.2.1 Sondagem SPT (Breve Histórico)

A história do ensaio SPT pode ser subdividida em quatro fases: a primeira, quando se inicia a utilização do amostrador, correspondendo ao período que vai de 1902 até meados dos anos 1920; a segunda fase que inicia nos anos de 1927 e vai até o final da década de 1940 com a publicação do livro de Terzaghi & Peck (1948); a terceira que se inicia com a supracitada publicação e se estende até a segunda metade dos anos de 1970, período onde foram realizadas as primeiras tentativas oficiais de normatização do ensaio, abrindo passagem para a quarta fase, a partir do ano de 1977, quando se deu início as preocupações com a condições e técnicas de interpretação dos dados (CARVALHO, 2012).

A primeira fase do ensaio de Sondagem de Simples Reconhecimento (SPT) surge com o desenvolvimento do primeiro amostrador de 1" (25,4 mm) de diâmetro, 12" (30 cm) de comprimento e com ponta biselada, apresentado em 1902 pelo engenheiro Charles R. Gow. Com o auxílio de um peso de 50kg esse amostrador era cravado no solo dinamicamente, objetivando um melhoramento no processo de reconhecimento do subsolo (FOLLE, 2002).

Em 1927, a Raymond Concrete Pile Company e The Gow Company, esta última subsidiária da primeira de 1922, desenvolveram o amostrador composto de três partes (cabeça, corpo bipartido com 51 mm de diâmetro externo e 35 mm de diâmetro interno e sapata biselada), do tipo Raymond. Com a utilização desse amostrador, houve um melhoramento no processo de retirada do solo, o que permitiu um importante avanço na aquisição de amostras que preservasse as características do material em seu estado natural (ODEBRECHT, 2003; CARVALHO, 2012).

No início dos anos trinta Fletcher e Mohr apresentaram as primeiras especificações da sondagem e o processo de cravação do amostrador é concretizado como ensaio. Já em 1948, Terzaghi e Peck divulgam em seu livro o procedimento para execução de sondagem por meio de circulação de água, no qual foi dado o nome de Standard Penetration Test (SPT), como é conhecido atualmente (BELINCANTA, 1998; ODEBRECHT, 2003).

As primeiras tentativas de regulamentação do ensaio SPT marcam o ano de 1954, resultado da proposta de James D. Parson, que sugere que o número de golpes para cada um dos três intervalos de 152 mm de penetração do amostrador deve ser registrado. Em 1958, foi publicada a primeira norma ASTM (D1586-58T) especificando o que foi sugerido por James D. Parson para os segundo e terceiros segmentos da cravação, mas somente após a edição desta norma, em 1963 (D1586-63), é deixado claro o que seria a resistência a penetração (N) (BELINCANTA, 1998; FOLLE, 2002).

A quarta fase na história ensaio SPT, inicia-se por volta do ano de 1970 com uma pausa nas discussões sobre qual o intervalo de assentamento do amostrador e volta-se, provocadas principalmente pelos esforços da University of Florida (USA), para a questão da energia efetiva atingida pelo amostrador e segue até os dias atuais. Vários trabalhos foram publicados após o início desse período, como de Palacios (1977), Schmertman (1976, 1978, 1979), Schmertman & Palacios (1979). (CARVALHO, 2012).

2.2.2 SPT no Brasil

A porta de entrada para as primeiras Sondagens de Simples Reconhecimento (SPT) no Brasil foi a criação, em 1935, da Seção de Estruturas e Fundações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT). Influenciado por H. A. Mohr, após um curso realizado em Harvard University em 1936, o engenheiro Odair Grillo impulsionou a realização de sondagens com amostragem, utilizando o diâmetro do tubo de revestimento de 51mm (BELINCANTA, 1998).

O ano de 1944 marca o início da utilização do amostrador Mohr pela empresa Goetécnica S. A., fundada pelo engenheiro Odair Grillo. O referido amostrador possuía dimensões de 41,2 mm e 25mm de diâmetro externo e interno e foi trazido pelo Engenheiro Mohr quando visitou o Brasil. E, em 1947, a Geotécnica começou a utilizar o amostrador do tipo Raymond que tinha 63,5 mm de diâmetro para o revestimento (ODEBRECHT, 2003).

O ensaio SPT sofria muitas críticas no início da década de 1970 no Brasil, fato este impulsionado pela falta de padronização na metodologia e aparelhos utilizados. Todos estes fatores, mobilizaram a comunidade geotécnica a discutir em eventos técnicos, em especial no V Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e engenharia das fundações, realizado em São Paulo, em 1974, as propostas de normalização do ensaio SPT (CARVALHO, 2012).

A proposta apresentada no referido congresso pelo engenheiro Alberto Henrique Teixeira, após ser discutida e aprovada, foi enviada a ABNT em 1977, tornando-se a primeira norma brasileira de sondagem em 1979, denominada MB121179 com numeração posterior para 6484/1980 (ODEBRECHT, 2003).

2.2.3 O Ensaio SPT normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

A NBR 6484 (ABNT, 2020) divide a execução da sondagem de simples reconhecimento em três processos: locação do furo, processo de perfuração e amostragem.

Na etapa de locação, os furos devem ser marcados com a cravação de um piquete de material apropriado, em que deve ter gravada a identificação destes furos, servindo de referência de nível para a execução da sondagem e posterior determinação de cota por meio de nivelamento topográfico.

A etapa de perfuração, segundo a NBR 6484 (ABNT, 2020), deve ser iniciada com o uso do trado-concha ou cavadeira manual até alcançar 1 metro de profundidade. A seguir, deve-se instalar o primeiro segmento do tubo de revestimento dotado de sapata cortante.

Nas fases subsequentes da perfuração, intercaladas pelo ensaio de amostragem, é necessário utilizar o trado helicoidal até atingir o nível freático. Nos casos que forem utilizados outros tipos de trados, deve-se constar a justificativa no relatório final e garantir a eficiência quanto a limpeza do furo e à não perturbação do solo no ponto do ensaio.

Quando o avanço da perfuração com emprego do trado helicoidal for menor a 50 mm após 10 minutos de operação deve-se utilizar o método de perfuração por circulação de água (lavagem).

Na operação de lavagem é utilizado o trépano/peça de lavagem, onde o material escavado é removido por meio da circulação da água, ativado por um sistema motor bomba. Este procedimento consiste na elevação da composição de perfuração em cerca de 300 mm do fundo do furo e na sua queda, que deve ser acompanhada de movimentos de rotação alternados (vai-vem), aplicados manualmente pelo operador. Recomenda-se que essa altura seja progressivamente diminuída à medida que o trépano for se aproximando da cota de ensaio e amostragem.

Atingida essa cota de ensaio e amostragem, a composição da perfuração deve ser interrompida a uma altura de 200 mm do fundo do furo e a circulação da água deve ser mantida por tempo suficiente, até que todos os resíduos da perfuração sejam removidos do interior do furo. Os comprimentos das hastes e revestimentos devem ser medidos todas as vezes que for descida a composição de perfuração com o trépano ou quando for instalado novo segmento de tubo de revestimento.

Durante a perfuração, precisam ser anotadas as profundidades de transições de camadas detectadas por exame tátil-visual bem como as das mudanças de coloração de materiais trazidos à boca do furo. Além disso, deve ser mantido o nível d'água no interior do furo em cota igual ou superior ao nível do nível freático encontrado.

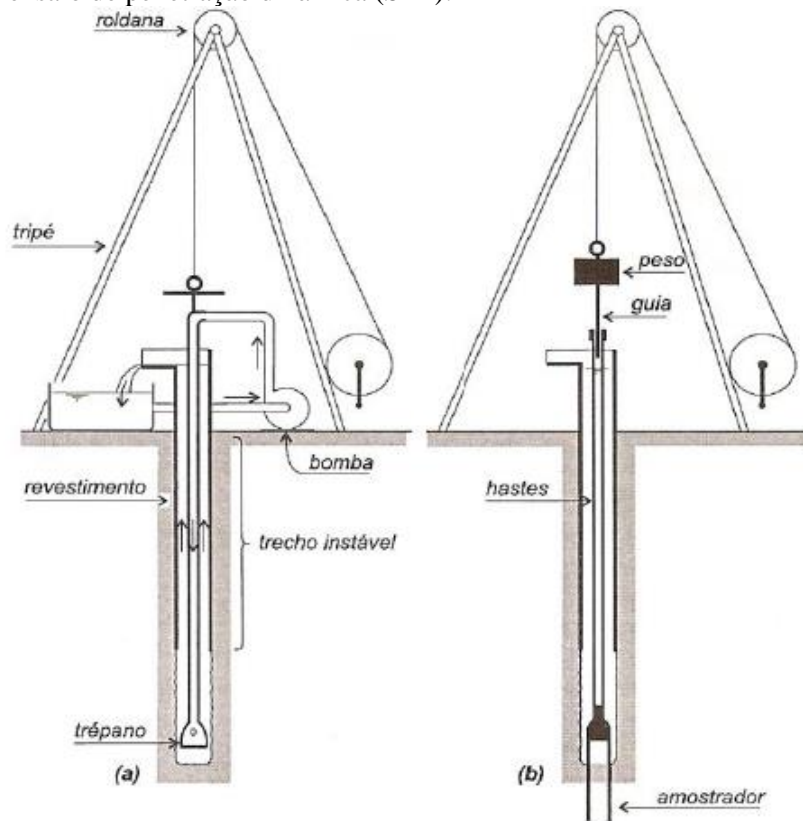
Já na etapa de amostragem, de acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2020), é determinado que o solo obtido pelo trado no primeiro metro perfurado, deve ser coletado para exame posterior, procurando identificar a espessura da camada com presença significativa de raízes, quando for o caso.

A cada metro de perfuração seguinte precisam ser coletadas amostras dos solos por meio do amostrador-padrão, com execução do SPT, e estas acondicionadas em recipientes herméticos e de dimensões tais que permitam receber pelo menos um cilindro de solo colhido do bico do amostrador-padrão.

Cada recipiente de amostra deve ser etiquetado na qual devem constar a designação ou número do trabalho, o local da obra, o número da sondagem, o número e profundidade da amostra e o número de golpes e respectivas penetrações do amostrador.

A Figura 4 apresenta as etapas para a execução do ensaio a percussão, com o avanço da sondagem por desagregação e lavagem e por penetração dinâmica.

Figura 4 - Etapas na execução de sondagem a percussão: (a) avanço da sondagem por desagregação e lavagem e (b) ensaio de penetração dinâmica (SPT).



Fonte: Velloso e Lopes (2004).

2.2.4 Aplicabilidade e Correlação

Para a cravação de cada segmento de 15 cm do amostrador-padrão são anotados o número de golpes do martelo. O número de Resistência à Penetração do Solo (N_{SPT}) é um índice de resistência gerado pelo número de golpes necessários para cravar os últimos 30 cm do amostrador-padrão e, de acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2020), esse índice pode ser correlacionado para obtenção das propriedades do solo, conforme descrito no Quadro 1:

Quadro 1 - Compacidade das areias e a consistência das argilas com os valores N_{SPT} NBR 6484/20.

SOLO	Índice de resistência à penetração N_{SPT}	Designação
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacto
	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)
	20 a 30	Muito rija (o)
	> 30	Dura (o)

Fonte: NBR 6484 (ABNT, 2020).

2.2.5 Aplicações de Dados SPT em Estudos Recentes

Há vários registros de estudos com o objetivo de representar os parâmetros do solo por meio dos dados obtidos nos ensaios do tipo SPT como em países como Austrália, Iraque, Índia, Bangladesh, além do Brasil. Al-Ani *et al.* (2014) confeccionaram uma carta de isovalores de N_{spt} , a partir de 35 laudos de sondagem, para a localidade de Surfers Paradise, na Austrália. Al-Jabban (2013) desenvolveu um trabalho de caracterização do solo, utilizando 110 sondagens SPT na cidade de Hilla, no Iraque.

Sharma e Rahman (2016) realizaram o mapeamento do valor N_{spt} e da profundidade do nível freático na cidade de Guwahati, na Índia, a partir de 200 furos SPT, abrangendo uma área de 262 km². Humyra *et al.* (2012), utilizando 73 pontos de sondagens, desenvolveram uma carta de isovalores de N_{spt} , com o intuito de auxiliar na elaboração de projetos de fundações de pequeno porte e baixo custo na cidade de Rajshahi, em Bangladesh.

No Brasil, Fonteles (2003) fez a caracterização geotécnica do subsolo da porção nordeste do município de Fortaleza (CE), utilizando 126 relatórios de sondagens SPT compreendendo uma área de 44 km², onde foram elaborados mapas de superfície freática, impenetrável e do índice de resistência a penetração N_{spt} . Soares (2011) elaborou, para a cidade de João Pessoa (PB), cartas de impenetrável à percussão, tensão admissível, isovalores de N_{spt} , aptidão para fundações (tubulão e estacas), além de uma análise temporal da superfície freática, de forma a refletir a sazonalidade de períodos chuvoso e seca. Tanaka (2015) realizou um trabalho de contribuição ao mapeamento geotécnico da cidade de Barreiras/BA por meio de boletins de sondagem do tipo SPT e sua contribuição para análise preliminar em fundações. No mesmo ano Pimentel (2015) desenvolveu uma carta preliminar de fundações de uma parte da região centro-norte da cidade de Fortaleza (CE), utilizando-se de 395 furos de sondagens à percussão. No qual, foram realizadas cartas de isovalores de N_{spt} para três diferentes profundidades e nível freático

Ainda em âmbito nacional, Santos (2016) gerou cartas da superfície do impenetrável a percussão, da superfície freática, assim como de isovalores de N_{spt} com a utilização de 507 laudos de SPT para o Campus sede da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) situado em Florianópolis. No mesmo ano Júnior (2016) realizou a caracterização geotécnica do município de Arapiraca/AL por meio da análise de perfis de sondagem SPT. Maia (2019) com a utilização de ensaios SPT realizou a caracterização do subsolo do bairro da Ribeira às

margens do Rio Potengi em Natal/RN. Morossino (2021) elaborou cartas de aptidão para fundações utilizando sondagem SPT para o bairro de Jurerê em Florianópolis/SC.

Diante disso, verifica-se que estudos relacionando dados de sondagens SPT com o mapeamento de áreas de interesse são mundialmente realizados, o que resultam em dados de aplicabilidade em termos prático e acadêmico.

2.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

No SIG (Sistema de Informações Geográficas) se realiza o processamento de informações gráficas e não gráficas (alfanuméricas), com ênfase na análise espacial e modelagem de superfícies, a manipulação, sintetização, pesquisa, edição e visualização de dados (DPI/INPE, 1991; FERREIRA, 2006), com múltiplas aplicações no mapeamento geotécnico, permitindo a confecção de mapas temáticos, modelagem de terrenos para estudos das áreas de risco, avaliação geotécnica e gestão ambiental (HIGASHI, 2002).

Preliminarmente, a etapa de utilização do SIG deve-se realizar uma análise estatística dos parâmetros obtidos nos ensaios SPT. Nesse sentido a estatística básica descritiva apresenta grande número de mecanismos (média aritmética, mediana, variância, desvio padrão) que permite conhecer o comportamento dos dados (SILVA, 2008). Uma ferramenta complementar que é utilizada para desenvolver uma perspectiva sobre o comportamento dos dados estatísticos é o diagrama de caixa/boxplot (OLIVEIRA, 2022).

a) Média Aritmética

É o valor que indica somente a tendência dentro da amostra e é obtido a partir do cálculo do somatório dos valores das observações pela divisão do quantitativo dessas observações, conforme Equação (1).

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

\bar{X} : média aritmética;

n: número de eventos;

X: valores da variável em estudo.

b) Mediana

A mediana é uma medida de tendência central que divide um conjunto quantitativo ordenado de dados em duas partes iguais, 50% acima e 50% abaixo dela.

c) Variância e Desvio Padrão

A variância é dada pela média dos quadrados dos desvios e representa uma medida de dispersão e serve para verificar o quanto a média (\bar{X}) representa a população analisada, e é calculada conforme Equação 2.

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (2)$$

Em que:

S^2 = variância;

X_i = Valores assumidos pela variável em estudo

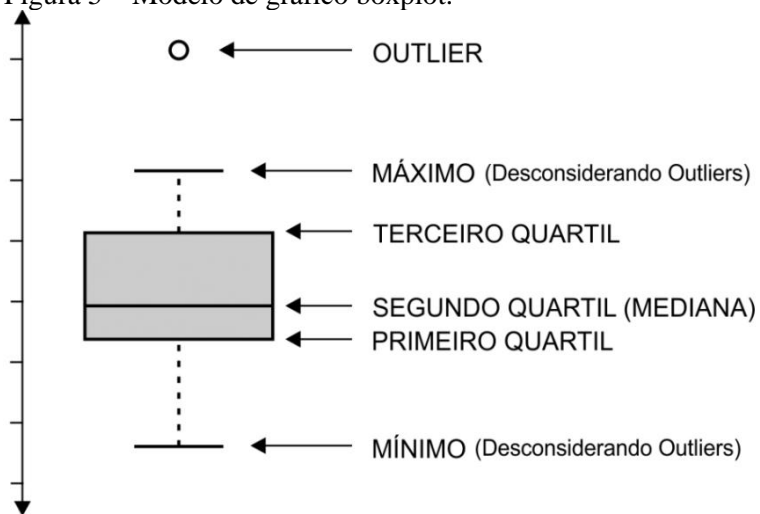
n =número de componentes

O desvio padrão é o uma medida de dispersão dada pela raiz quadrada da variância, isto é: $\sqrt{S^2}$. O desvio padrão possui a mesma unidade de medida da média o que representa uma facilidade de seu uso em relação a variância.

d) Diagrama de caixa/boxplot

O diagrama de caixa/boxplot se trata de uma ferramenta gráfica que permite uma boa visualização das distribuições e valores discrepantes (*outliers*) dos dados. Nele são inseridos os valores de mínimo, máximo, mediana, primeiro (Q1) e terceiro quartil (Q3). A Figura 5 ilustra um exemplo desse diagrama, onde o retângulo central possui três linhas horizontais, a do centro (interna) que representa a mediana dos dados, a de baixo que indica o primeiro quartil e a linha superior do retângulo que indica o terceiro quartil. Os pontos, que às vezes aparecem no gráfico, indicam os *outliers*. De maneira geral, são considerados *outliers* todos os valores inferiores $L_i = Q1 - 1,5dq$ ou os superiores a $L_s = Q3 + 1,5dq$, em que dq é dado pela diferença entre o terceiro e primeiro quartil (Q1-Q3).

Figura 5 – Modelo de gráfico boxplot.



Fonte: (OLIVEIRA, 2022).

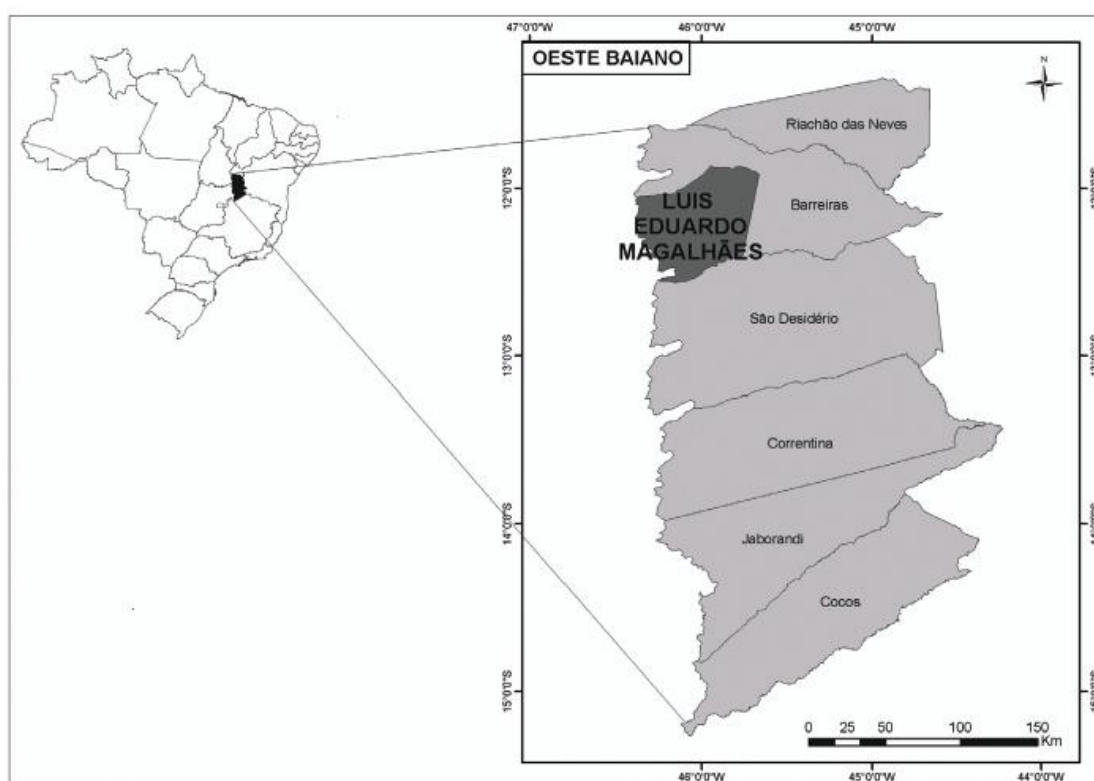
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Luís Eduardo Magalhães (LEM) está situado no extremo oeste da Bahia e integra a região do médio rio São Francisco. Sua área territorial é de 4.036 km², com população estimada de 92.671 habitantes (IBGE, 2021).

Localizado entre as coordenadas de referência: 11°51'8'' e 12°33'50'' de Latitude Sul e 45°37'50'' e 46°23'35'' de Longitude Oeste, o município de LEM limita-se a oeste com o estado de Tocantins, ao norte e leste com o município de Barreiras e ao sul com o município de São Desidério (Figura 6).

Figura 6 - Localização do Município de Luís Eduardo Magalhães.



Fonte: Castro *et al* (2010).

Luís Eduardo Magalhães está em pleno desenvolvimento, se destacando no cenário nacional pelo agronegócio e pela agroindústria, possuindo o 7º maior PIB *per capita* do estado da Bahia, com R\$ 69.761,10 (IBGE, 2019).

A área de estudo deste trabalho (Figura 7) é composta pela zona urbana de LEM, conforme determinado no zoneamento do Plano de Desenvolvimento Urbano (PDU) do município, composta por 169 km².

Figura 7 – Área de estudo.



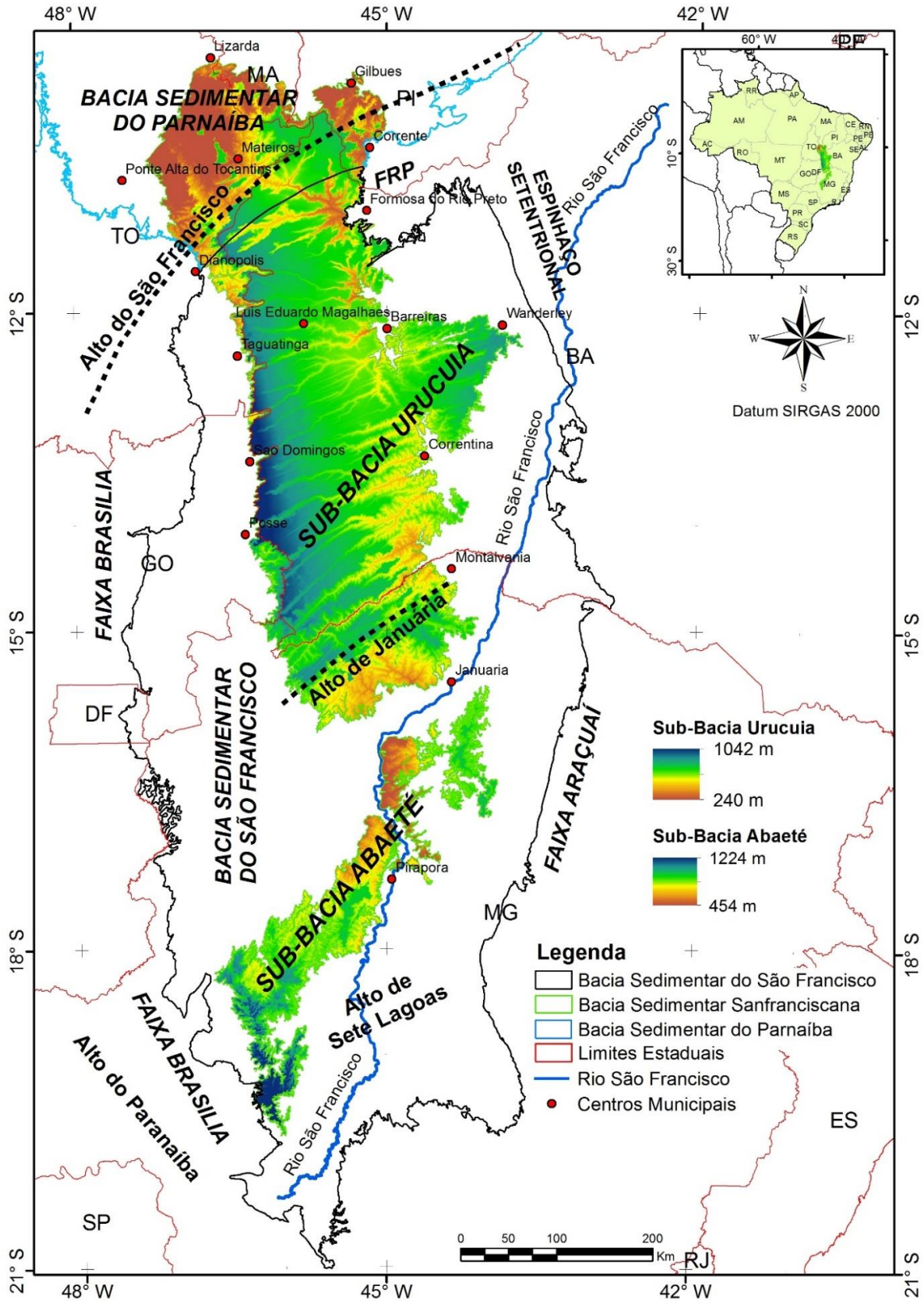
Fonte: Modificado da Prefeitura de LEM pela Autora (2022).

3.1.1 Geologia

Geologicamente, o município de Luís Eduardo Magalhães está inserido na Bacia Sanfranciscana que representa a cobertura fanerozóica do Cráton do São Francisco. A Figura 8, traz o mapa de contextualização tectônica da Bacia Sanfranciscana destacando as suas duas sub-bacias: Urucuia a norte e Abaeté ao sul (CARVALHO, 2022).

O Grupo Urucuia, depositado na Sub-Bacia Urucuia, porção norte da Bacia Sanfranciscana, é composto pelas formações Posse (Fácies 1 e 2) na base e Serra das Araras no topo. A sedimentação cenozoica (aluvionar, coluvionar e eluvionar) da Formação Chapadão, identificadas em voçorocas, cortes de estradas e vales das drenagens, recobre as formações anteriores (CAMPOS E DARDENNE, 1997).

Figura 8 - Mapa de contextualização tectônica da Bacia Sanfranciscana destacando as suas duas sub-bacia: Urucuiua a norte e Abaeté ao sul sobre Modelo Digital de Elevação das Imagens SRTM. FRP - Faixa Rio Preto.



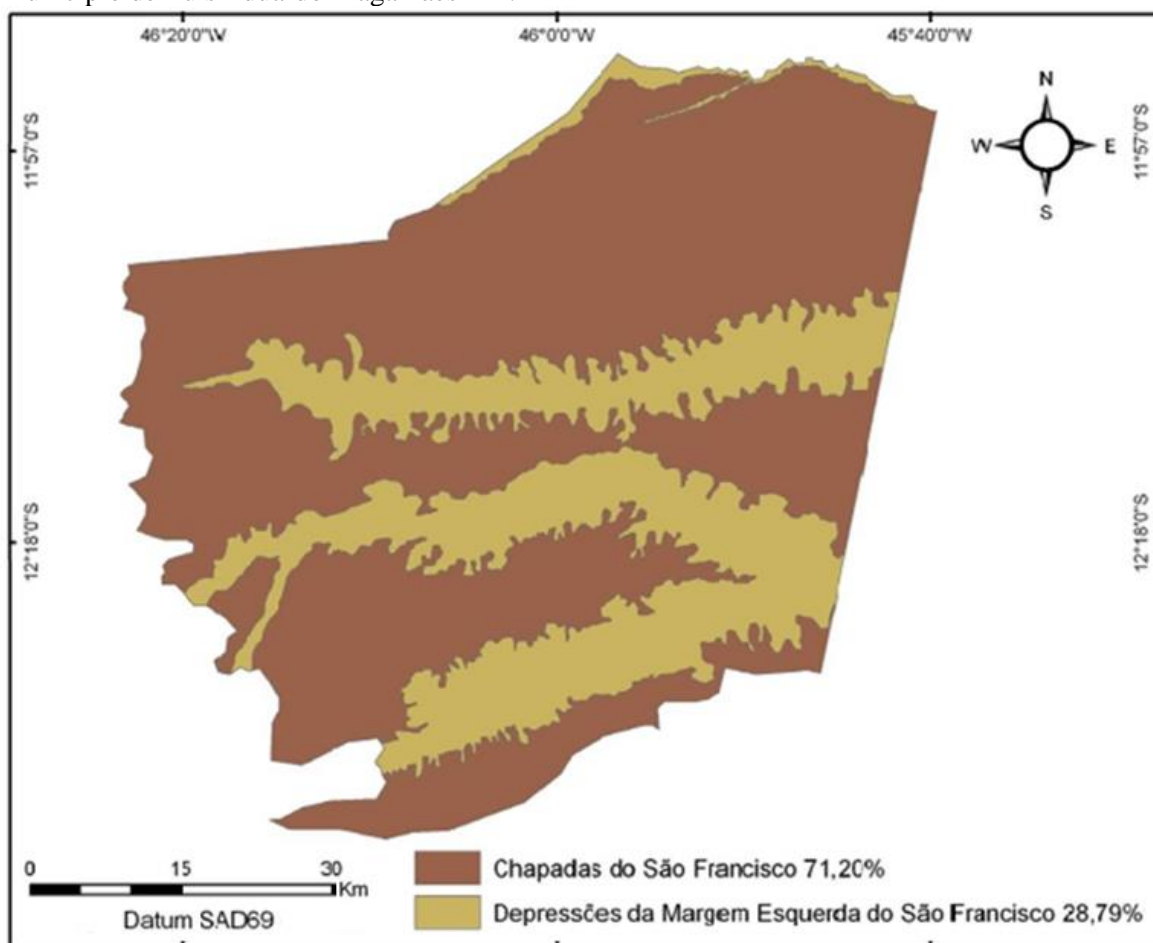
Fonte: Modificado de ANA (2017a) por CARVALHO (2022).

A Fácies I da Formação Posse é composta por arenitos que apresentam granulometria que varia de muito fina, fina e média, bem maduros do ponto de vista textural e mineralógico, podendo ocorrer lentes e níveis conglomeráticos, de cimentação geralmente silicosa, cuja sedimentação geralmente é associada ao sistema eólico de campos de dunas, em qualquer posição estratigráfica, enquanto que a Fácies 2 é caracterizada por arenitos feldspáticos e quartzo-arenitos, de coloração esbranquiçada, granulometria fina, podendo ser argilosos ou não, bem selecionados e com grau de maturidade inferior aos da fáceis 1. Contém ainda, em sua mineralogia feldspatos, epitodo, zircão, turmalina e opacos como minerais acessórios. Essa Fácies é resultado de um sistema de sedimentação fluvial entrelaçado psamítico. A Formação Serra das Araras é composta por arenitos (polimodais, silicificados, vermelhos e com níveis amarelados), de maturidade composicional e imaturidade textural, por argilitos e por conglomerados finos e grossos com coloração avermelhada, intercalados em bancos plano-paralelos com espessuras que variam de 50 cm a 2 metros (CAMPOS E DARDENNE, 1997).

3.1.2 Geomorfologia

A área do município de Luís Eduardo Magalhães (LEM) apresenta-se no contexto geomorfológico no domínio morfoestrutural da Cobertura Sedimentar do Rio São Francisco em seu primeiro nível taxonômico de classificação. Ela é composta por chapadões com baixa declividades formadas no Fanerozóico, distribuídos em escala regional e agrupados. Em um segundo nível de classificação taxinômica, LEM exibe duas regiões geomorfológicas: as Chapadas de São Francisco que compreendem 71,3% do município e caracterizam-se por apresentarem superfícies de formas aplanadas, e as Depressões da Margem Esquerda do São Francisco que compreendem 28,7% da área do município e compõem-se de sistemas planos inclinados e levemente côncavos, conforme ilustra a Figura 9 (CASTRO *et al.*, 2010).

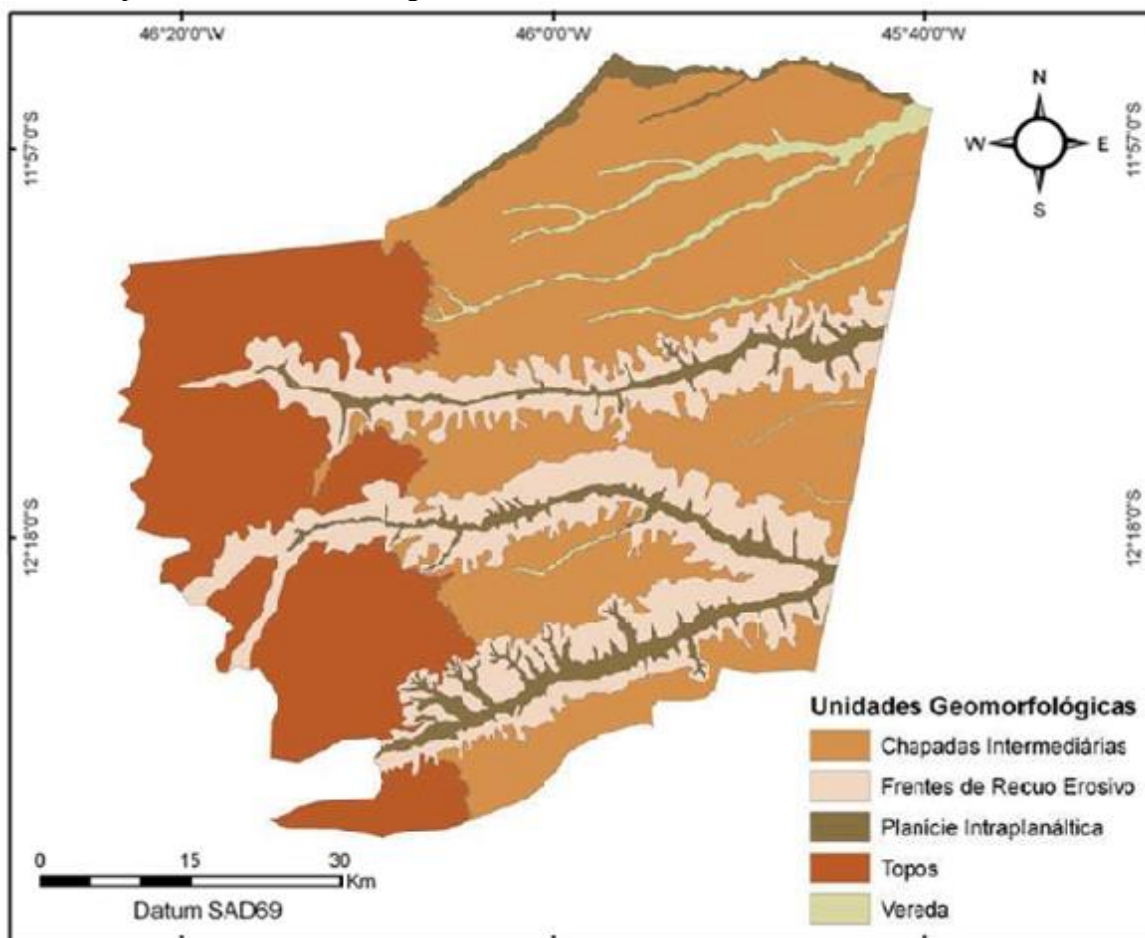
Figura 9 - Classificação taxonômica geomorfológica (segundo nível): regiões geomorfológicas do Município de Luís Eduardo Magalhães-BA.



Fonte: Modificado de Castro *et al* (2010).

Já segundo os mesmos autores, as unidades geomorfológicas (terceiro nível) existentes no município dividem-se em: Topos que correspondem a 26% do território e apresentam a maior altimetria no município; Chapadas Intermediárias que são compostas por um conjunto de formas de relevo plano, constituindo 40% do município; Frentes de Recuo Erosivo que compõe 22% da área e são formadas por porções encaixadas entre as chapadas e bases das vertentes, com relevo movimentado e alta declividade e que possuem processo erosivos ativos; Planícies Intraplánálticas que representam 7% da região e são compostas por um conjunto de formas de relevo planas ou levemente onduladas; e Veredas que constitui 3% do território e são definidas como zonas deprimidas de forma ovalada, linear ou digiforme associadas aos Chapadões. Essa divisão está ilustrada na Figura 10.

Figura 10 - Classificação taxonômica geomorfológica (terceiro nível): unidades geomorfológicas do Município de Luís Eduardo Magalhães-BA.



Fonte: Modificado de Castro *et al* (2010).

3.1.3 Pedologia

Os solos existentes na região do município de Luís Eduardo Magalhães são predominantemente Latossolos Vermelho-Amarelo (88,67%), Gleissolo Háptico (9,20%), Neossolo Litólico (0,03%) e Neossolo Quartzarênico (2,10%) (IBGE, 2022).

Estes solos possuem baixa fertilidade natural, são permeáveis, e com textura média e/ou arenosa nas camadas mais próximas a superfície e em maiores profundidades as texturas são mais pesadas chegando até argilosa (MORAES, 2003; FONTANA E OLIVEIRA, 2018).

3.2 COLETA DE ENSAIOS E TRATAMENTO DE DADOS

O presente estudo se fundamenta na utilização de dois tipos básicos de dados: o mapa do município de Luís Eduardo Magalhães e os laudos de sondagem SPT.

3.2.1 Mapas

A Prefeitura Municipal de Luís Eduardo Magalhães, por meio da Secretaria de Infraestrutura, disponibilizou o mapa do município em formato de dwg, ou seja, em ambiente CAD. Tal mapa foi utilizado para delimitação da área de estudo e para auxiliar na localização dos endereços onde foram realizados os furos de sondagem que não possuíam coordenadas.

3.2.2 Sondagens SPT

O processo de coleta e reunião dos boletins de sondagens foi realizado com as empresas que trabalham com investigações geotécnicas na região, construtoras prestadoras de serviços da construção civil e com a Secretaria de Infraestrutura do município. Foram adquiridos boletins em extensão XLS e PDF.

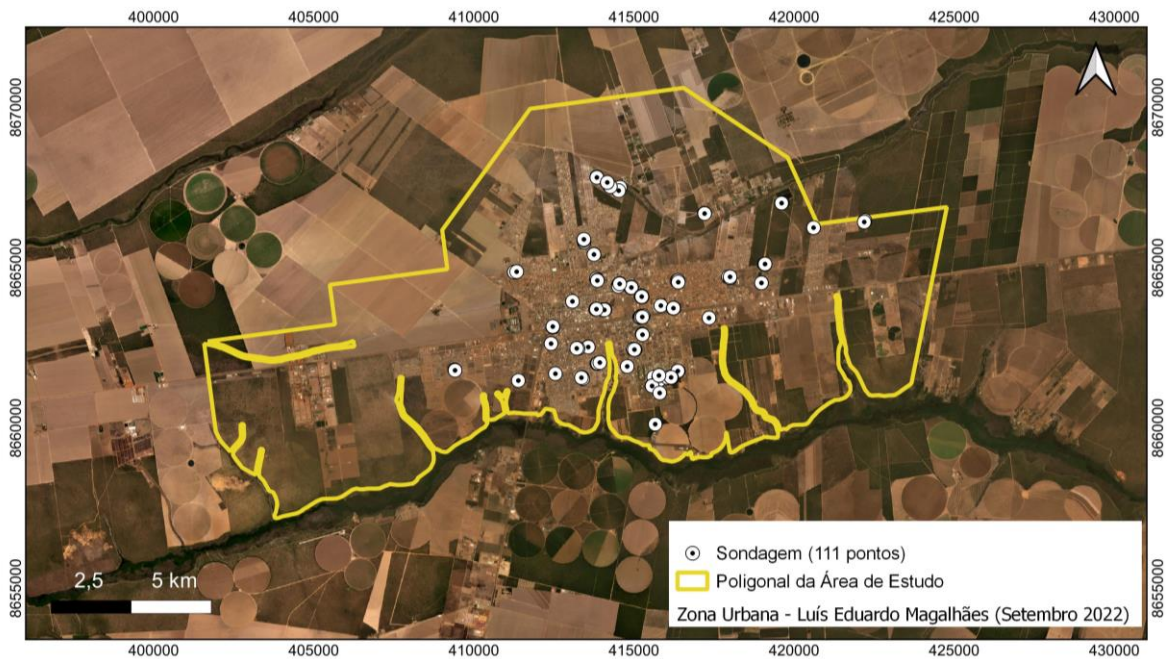
Inicialmente foi realizado remotamente o georreferenciamento de todos os furos de sondagem no visualizador Google Earth Pro. Nesta etapa foi utilizado o endereço, o croqui de localização do furo da sondagem e o mapa de zoneamento do município. Em muitos casos a localização aproximada do furo foi realizada pela identificação do nome do empreendimento constantes nas informações de cabeçalho do laudo. Do total de 66 boletins de sondagens 12 não continham informações de localização, 6 estavam situados fora do perímetro urbano, apenas 48 puderam ser identificadas no perímetro urbano da cidade de Luís Eduardo Magalhães. Algumas sondagens empregadas neste estudo foram executadas antes da atualização da NBR 6484 (ABNT, 2020).

Em média, cada boletim registra 2 furos de sondagem, contabilizando 111 furos de sondagem empregados neste estudo, sendo 30 m a maior profundidade atingida. Estes 111 furos distribuído na área de 169 km², encontra-se dentro do padrão utilizado no estudo semelhante realizado por Tanaka (2015) para o município de Barreiras (vizinho ao LEM), no qual foram empregados 106 furos para uma área de 152,37 km².

Observa-se na Figura 11 a distribuição irregular dos 111 furos pertencentes aos 48 boletins de sondagem, com maior concentração das sondagens na região central da cidade onde ocorre o maior número de edificações.

Figura 11 - Localização dos 111 furos dos 48 boletins de sondagem SPT inseridos no Google Earth Pro.

Pontos de Sondagem Nspt em Luís Eduardo Magalhães



Fonte: Autora (2022).

A exemplo da Figura 12, em praticamente todos os laudos de sondagem constam as seguintes informações:

- Proprietário da obra; Tipo de obra; Data; Local; Número da folha; Número do furo; Cota da boca do furo; Profundidade inicial do nível da água, quando ocorrer; Número de golpes/penetração; Gráfico (Número de golpes x Profundidade); Classificação do tipo de solo; Limite da sondagem; e Característica do equipamento (amostrador).

Para compor o banco de dados geotécnico e estatístico foram utilizadas planilhas eletrônicas, para as quais foram compiladas as informações contidas nos laudos de sondagem.

A partir dessa análise, com os valores de mínimo, máximo, primeiro quartil (primeiros 25% dos Nspt), mediana e terceiro quartil (últimos 25% dos Nspt), foi realizada a confecção do gráfico Boxplot ou diagrama de caixa, que permitiu visualizar a distribuição e valores discrepantes (*outliers*) dos dados, fornecendo assim um meio complementar para realizar uma análise comparativa entre os valores de Nspt para as respectivas profundidades, tendo nas primeiras profundidades uma quantidade maior de dados a serem analisados.

Realizadas as análises iniciais dos dados, foi possível iniciar o processamento em ambiente SIG, utilizando *software QGis*. Essa fase envolveu a consolidação e o georreferenciamento dos dados adquiridos e elaboração de mapas da cidade de Luís Eduardo Magalhães.

3.2.4 Avaliação e Mapeamento dos Nspts ao longo das profundidades

Para a confecção dos mapas de avaliação dos índices de resistência do solo, número Nspt, levou-se em consideração, inicialmente a proximidade dos pontos o que poderia prejudicar a análise e dessa forma procedeu-se com a utilização de apenas 1 furo por sondagem, totalizando assim 48 pontos. A seleção deste dado em relação aos demais de um mesmo boletim deu-se observando os furos que apresentam características semelhantes (tipo de solo, resistência) e assim foi escolhido o que apresentava a maior profundidade, permitindo assim analisar o maior número de camadas do solo. No caso que os furos possuíam os mesmos valores de profundidade, foi selecionado aquele que apresentava o menor valor da somatória dos Nspts, ou seja, a menor resistência ao longo do perfil.

Como as informações do solo (número N, granulometria etc) são indicadas para cada metro ao longo do perfil e, com intuito de evitar um excesso de mapas semelhantes no estudo, foi definido que seriam gerados mapas a cada 5 metros (1, 5, 10, 15 e 20 metros). Foi gerado também, um mapa para a profundidade de 3 metros com intuito de verificar o comportamento da resistência para as camadas iniciais do solo, item essencial para verificar a possibilidade de fundação rasa, conforme ressalta Rebello (2008). A relação dos pontos utilizados consta no APÊNDICE A.

3.2.5 Mapeamento dos tipos de solos

Seguindo a mesma metodologia de análise do número N, foi realizado mapeamento das camadas de solo dos boletins de sondagens nas profundidades de 1, 3, 5, 10, 15 e 20

metros, objetivando descrever o solo de LEM conforme a sua granulometria. Para cada tipo de solo se adotou um atributo, onde foram utilizados os parâmetros conforme a Tabela 4:

Tabela 4 - Atributos associados a granulometria para classificação dos solos.

Granulometria	Atributo
Areia	1
Areia Argilosa	2
Areia Siltosa	3
Areia Siltoargilosa/argilosiltosa	4
Argila Arenosa	5
Argila Siltoarenosa/arenosiltosa	6
Silte Argiloarenoso/arenoargiloso	7
Silte Arenoso	8
Silte argiloso com pedregulhos	9

Fonte: Autora (2022).

No APÊNDICE B encontra-se a relação dos tipos de solos para as profundidades analisadas.

3.2.6 Análise e mapeamento dos dados de impenetrável

O item 5.2.4.5 da NBR 6484 (2020) estabelece que um dos critérios de paralisação do ensaio SPT é o de impenetrabilidade ao trépano. Dessa forma, um dos itens analisados nos boletins de sondagem foi levantar quais dos furos e as profundidades que estes atingiram o impenetrável.

Dos 48 boletins com 111 furos, apenas 21 furos atingiu o impenetrável, conforme APÊNDICE C. Os outros ensaios foram paralisados por solicitação do cliente.

Foi gerado um mapa em ambiente SIG, utilizando os 21 furos dos 111, que pode nortear para as possíveis profundidades de impenetrabilidade do solo de LEM e contribuir para novos estudos na área.

3.2.7 Análise dos dados de nível d'água

Utilizando a mesma metodologia do impenetrável foi gerado um mapa em ambiente SIG para os furos que constavam o nível d'água. Dos 111 furos analisados, apenas em 20 era informada a existência de nível d'água e, destes, foi verificado que, 04 furos (Quadro 2) apresentavam a característica de se tratar de aquífero suspenso, pois o referido nível d'água só constava em 1 metro da sondagem, ou seja, na profundidade seguinte o nível d'água

desaparecia. O APÊNDICE D apresenta a relação dos furos com as respectivas profundidades onde foram encontrados o nível d'água.

Durante a confecção do mapa com os dados do nível d'água foram geradas drenagens a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido pelo satélite *ALOS* (Advanced Land Observating Satellite) por meio do sensor *PALSAR* (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) que é capaz de adquirir imagens tanto diurnas como noturnas e em qualquer condição atmosférica (BARBOSA; CICERELLI; ALMEIDA, 2019). O MDE é uma importante fonte de dados que permite realizar o mapeamento e a caracterização quantitativa de algumas áreas da superfície terrestre (MACÊDO E SURYA, 2019).

Foi verificado também o período de realização da sondagem que atingiram o nível freático constante no Quadro 3 e observado o balanço hídrico climatológico realizado por Gaspar (2006), conforme Figura 13 para verificar se esses boletins foram realizados no período mais crítico (retirada de água do aquífero Urucuia) ou no período de déficit de água no sistema.

Quadro 2 – Dados descartados.

Prof. Nível d'água (m)	Mês da sondagem
16,12 a 17,30	abril
16,61 a 17,64	abril
14,43 a 15,82	abril
15,14 a 16,79	abril

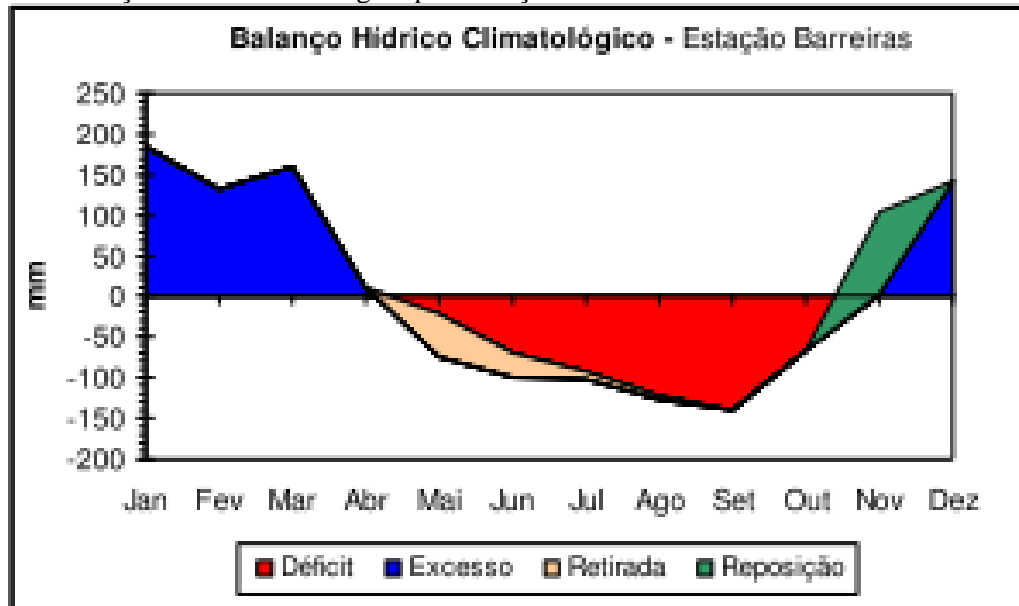
Fonte: Autor (2022).

Quadro 3 – Meses de realização das sondagens que atingiram o nível d'água.

Prof. Nível d'água (m)	Mês da sondagem (dezembro a fevereiro) - Excesso	Prof. Nível d'água (m)	Mês da sondagem (julho a setembro) - Déficit	Prof. Nível d'água (m)	Mês da sondagem (outubro) - Reposição
9	Fevereiro	11	Maiο	6	Outubro
10	Fevereiro	11	Maiο	11	Outubro
17	Março	12	Junho		
18	Março	17	Julho		
		9	Julho		
		17	Agosto		
		17	Agosto		
		17	Agosto		
		17	Agosto		
		10	Setembro		

Fonte: Autor (2022)

Figura 13 – Balanço hídrico climatológico para estação Barreiras.



Fonte: Gaspar (2006).

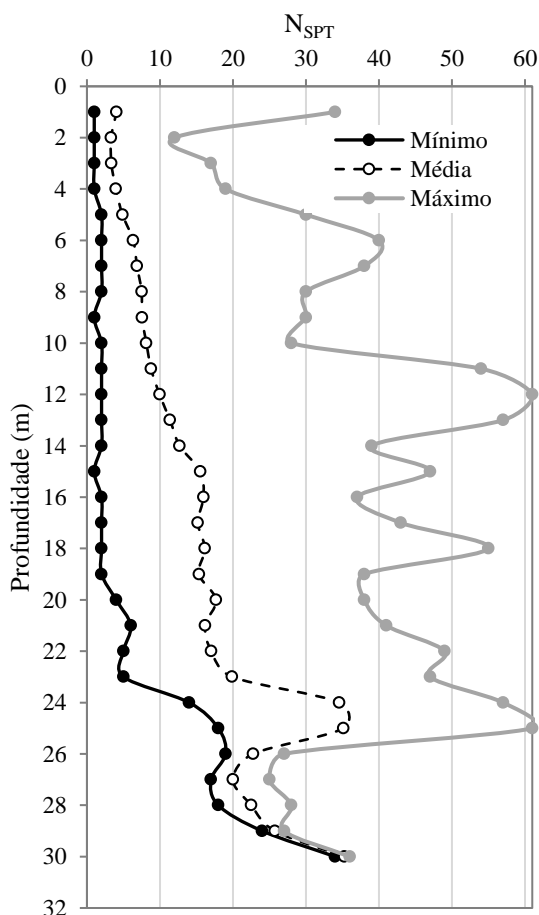
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item são apresentados a análise descritiva e os mapas geotécnicos associados as investigações geotécnicas do solo do perímetro urbano do município de Luís Eduardo Magalhães. Nota-se ainda, áreas que não possuem sondagens que podem ser complementadas por meio de outras pesquisas como intuito de ampliar ou detalhar este estudo.

4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os valores mínimo, médio e máximo de N_{SPT} para os 111 furos foram plotados no gráfico da Figura 14. A partir deste gráfico é possível realizar uma análise comparativa entre os valores de N_{SPT} para as respectivas profundidades e assim verificar o comportamento da resistência do solo ao longo das camadas.

Figura 14 - Valores mínimo, médio e máximo dos N_{SPT}



Fonte: Autora (2022).

Na Figura 14 os valores mínimos com $N_{spt} < 5$ golpes seguem sem variação significativa até os 19 metros de profundidade, a partir desta ocorre um incremento no valor do N_{spt} permanecendo com valores entorno de 5 golpes até atingir a profundidade de 23 m. A partir de 23 m até 25 m os valores de N_{spt} passam de 5 golpes para próximo de 20 golpes, um incremento de 15 golpes num intervalo de 2 m de espessura. Dos 25 m a 28 m permanece quase constante oscilando próximo aos 20 golpes. Ao superar os 28 m de profundidade o N_{spt} aumenta significativamente superando o valor de 30 golpes a profundidade de 30 m. Para esta profundidade de 30 m e $N_{spt} > 30$ golpes convergem também os valores médio e máximos.

Os valores médios seguem paralelos aos valores mínimos até a profundidade de 5 m, com valores de $N_{spt} < 5$ golpes, a partir desta profundidade ocorre um suave e quase constante incremento nos valores de N_{spt} até atingir 20 golpes a profundidade de 23 m. Entre os 23 m e 27 m ocorre um pico que atinge valor > 35 golpes a 25 m de profundidade, recuando aos 20 golpes na profundidade de 27 m, quando passa a aumentar o valor de N_{spt} até igualar aos valores máximos e mínimos a profundidade de 30 m (Figura 14).

Os valores dos máximos N_{spts} oscilam bastante registrando picos nas profundidades 1 m (~35 golpes), 6 m (~41 golpes), 12 m (~61 golpes), 18 m (~55 golpes) e 25 m (~62 golpes). Nos intervalos das profundidades de 1,5 m a 5 m, 9 m e 10 m, 26 m e 29,5 m os N_{spt} máximos apresentam valores < 30 golpes, para os demais intervalos de profundidade até atingir os 30 m, os N_{spt} máximos apresentam valores ≥ 30 golpes (Figura 14).

Essa tendência de aumento da resistência e proximidade dos valores mínimos, médios e máximo de N_{spt} , observada principalmente a partir da profundidade de 27 metros apresentados no gráfico podem ser relacionados a ocorrência de estruturas silicificadas (material rochoso muito duro) comumente presentes no interior da Formação Serra das Araras (CARVALHO, 2022).

O parâmetro do N_{spt} médio é importante, pois indica se há uma tendência/nivelamento da resistência do solo nestas camadas e auxiliam na previsão de problemas das fundações. Para N_{spt} superiores a 30 golpes sugerem a existência de solos resistentes e estáveis sem necessidade de estudos geotécnicos complementares para a solução dos problemas comuns da engenharia. Já valores de N_{spt} inferiores a 5 golpes indica que o solo é compressível e pouco resistente e as soluções produzidas não devem se basear somente nesse parâmetro (SCHNAID, 2000).

Essa variabilidade dos valores de N_{spt} (mínimo, médio e máximo) para a uma mesma profundidade, constatada em alguns pontos, para a região da cidade do município de LEM,

também foi encontrada no trabalho de Pimentel (2015) realizado para as regiões de Fortaleza (CE). Ele subdividiu a cidade em 23 regiões de 1km². O critério da subdivisão era que cada área possuísse características geotécnicas semelhantes. Ele observou que ao longo de uma mesma profundidade a variação de Nspt era acentuada para uma mesma região e para regiões distintas era ainda maior.

Os valores de Nspt (mínimo, mediana e máximo) foram plotados no gráfico de diagrama de caixa/boxplot (Figura 15) que se trata de uma ferramenta gráfica que permite uma boa visualização das distribuições e valores discrepantes (*outliers*) dos dados.

A análise deste gráfico trouxe os pontos onde ocorrem uma grande variação dos dados (*outliers*). Valores de Nspt com essa característica, têm que ser utilizado com cautela em suas aplicações para não levar a ocorrência de erros.

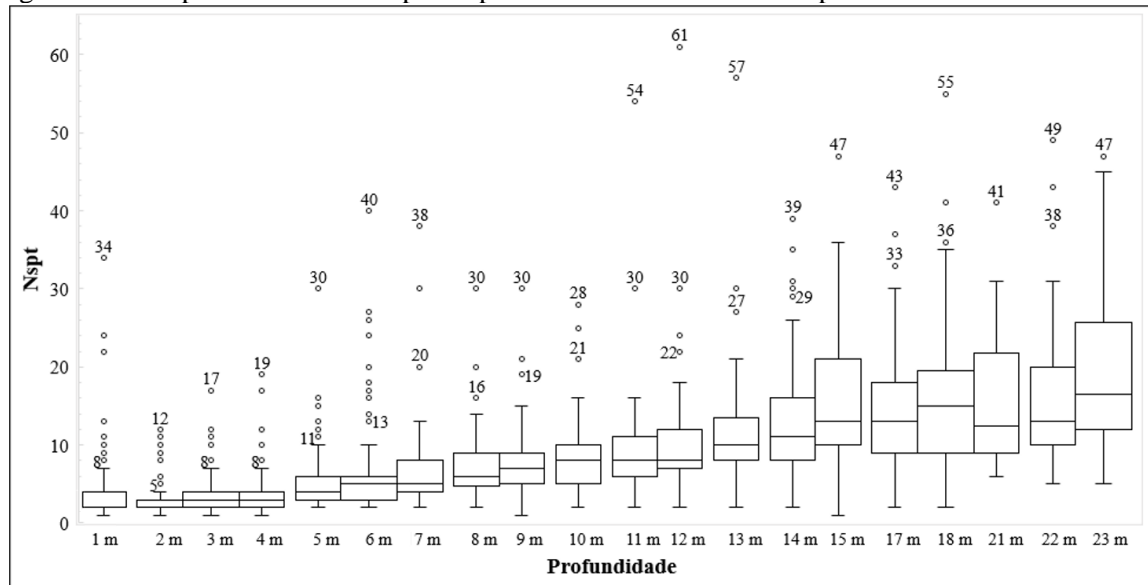
Pode-se observar que até 4 metros ocorre relativamente pouca variabilidade dos dados com valores, que variam em torno de um Nspt igual a 4. Considerando o tamanho da área de análise e os diversos efeitos que podem causar alteração do Nspt (como variação de umidade, condições dos equipamentos, entre outros aspectos), pode-se considerar que os dados são homogêneos até 4 metros.

A medida que se aumenta a profundidade de análise, a partir de 5 metros, constata-se maior variabilidade dos dados com aumento da mediana dos Nspts, e maior presença de *outliers*. Os valores de desvio padrão e variância da amostra podem ser observados no APÊNDICE E.

Essa variabilidade dos valores de Nspt encontrada no solo de LEM é característica de solos sedimentares, conforme reforça Morossino (2021) para o estudo realizado no bairro Jurerê em Florianópolis (SC) para as camadas de 4 a 8 metros de profundidades.

Essa variação dos valores de Nspt em maiores profundidades é representativa da própria variabilidade das condições do solo, sendo necessário avaliar os efeitos dos valores mínimos ou médios de resistência na confecção do projeto (SCHNAID, 2000).

Figura 15 - Boxplot: valores de Nspt nas profundidades de 1 a 30 m e pontos com *outliers*.



Fonte: Autora (2022).

4.2 MAPEAMENTO DO N_{SPT} NA CIDADE DE LEM

O mapeamento geotécnico com base nos ensaios SPT é apresentado nas Figuras nº 16, 17, 18, 19, 20 e 21. Os mapas estão em escala de 1:100.000 e retratam os valores obtidos para a resistência N_{spt} das camadas com profundidades de 1, 3, 5, 10, 15 e 20 metros durante a execução do ensaio.

A partir das tonalidades apresentadas nos mapas, observa-se que para as primeiras profundidades analisadas (1, 3 e 5 metros), na maioria dos pontos, os valores são menores que 10 golpes. Observa-se um aumento na resistência na profundidade de 10 metros, entretanto, uma parcela considerável da amostra apresenta de valores inferiores a 10 golpes.

Verifica-se também que alguns pontos da zona urbana de LEM possuem resistência maiores que em outros pontos. Essa variabilidade de dados é encontrada também no trabalho desenvolvido por Pereira, Santos e Riboli (2019) para área urbana do município de Frederico Westphalen (RS), onde os valores de resistência à penetração do solo (N_{spt}) apresentam oscilações tanto para uma mesma profundidade, quanto para profundidades diferentes.

Esse parâmetro de resistência do solo influencia na escolha do tipo de fundação que pode ser adotada nos projetos, impactando diretamente nos custos finais da obra. Haja vista que, fundações profundas, que são as executadas em valores superiores a 3 metros de profundidade, são mais caras que as fundações rasas (REBELLO, 2008).

De forma geral, pode-se concluir que, de acordo esses dados, o solo do perímetro urbano de Luís Eduardo Magalhães apresenta baixa resistência em suas camadas iniciais.

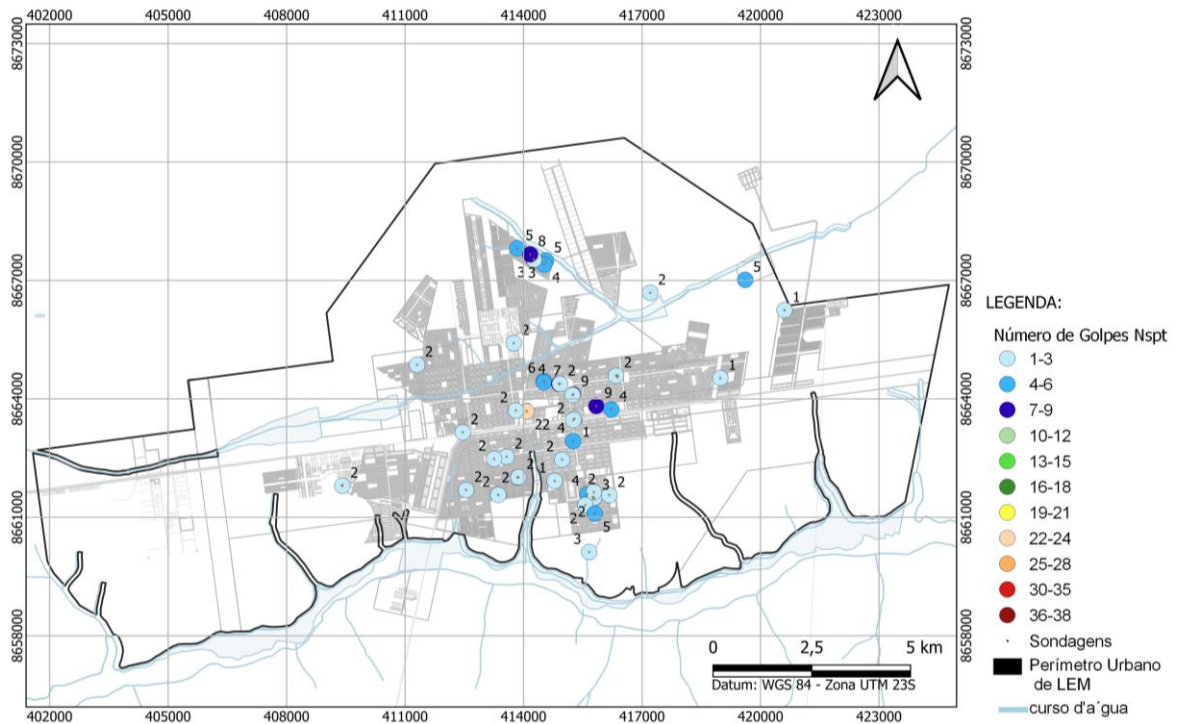
Isso, tem aplicabilidade principalmente na engenharia das fundações para se escolher o tipo de estrutura a ser empregada, pois conforme ressalta Rebello (2008) considera-se técnica e economicamente adequado o uso de fundações diretas rasas quando o número de golpes SPT for maior ou igual a 8 e a profundidade máxima dessa fundação não ultrapassar 2 metros. Sendo assim, de modo geral, não se aconselha a utilização de fundações diretas rasas no solo da cidade de Luís Eduardo Magalhães, sem analisar a viabilidade técnica e econômica destas.

Esses resultados são importantes, pois quando comparado aos resultados obtidos no trabalho de Tanaka (2015) realizado para o município de Barreiras (vizinho ao LEM), mostram o quanto os solos dessas áreas são distintos, tanto no requisito da resistência quanto da granulometria. Desta forma, diante do apresentado e para os pontos analisados conclui-se que o solo da sede do município de Luís Eduardo Magalhães possui, em suas camadas iniciais, valores de resistência menores que os da sede do município de Barreiras.

Comparando-se também os resultados obtidos neste trabalho com o estudo realizado por Xavier (2020) observa-se também uma distinção entre os solos no quesito da resistência, para a região de Chapecó (SC). A partir dos 10 metros de profundidade o solo da região apresenta valores de N_{spt} superiores a 30 e a partir dos 20 metros a maioria dos dados possuem N_{spt} acima de 40, fato não observado para a maioria dos furos para estas profundidades neste estudo.

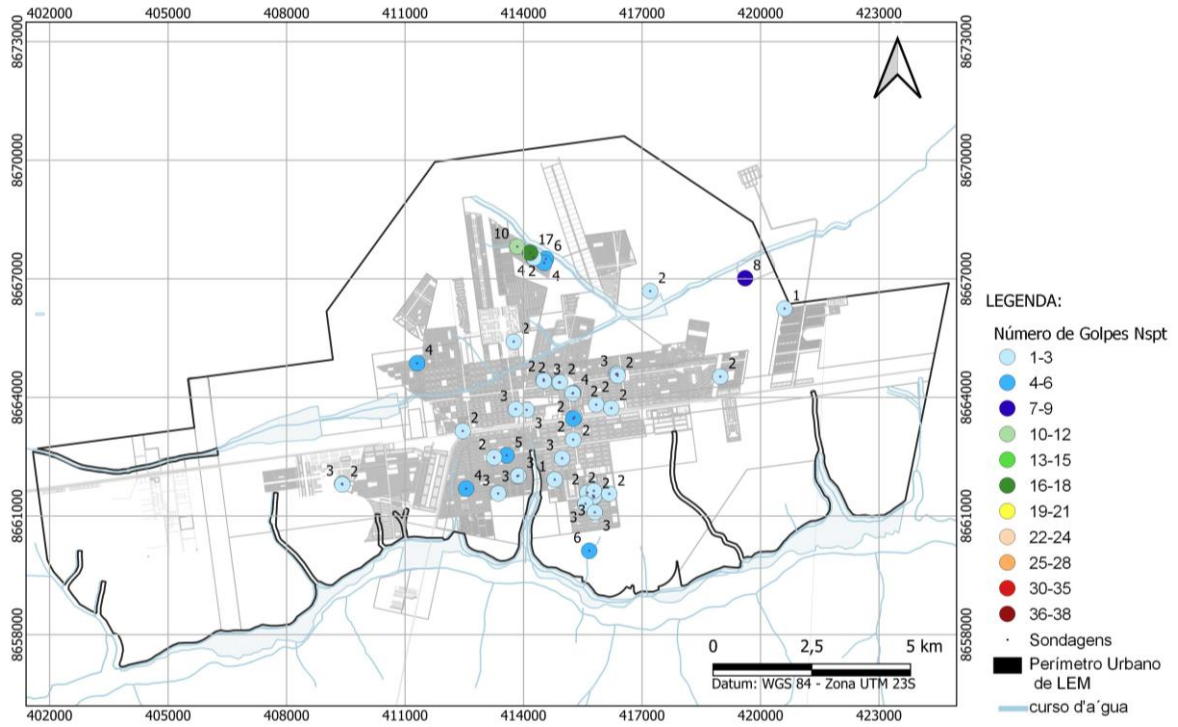
Cabe destacar que, as distinções apresentadas do solo de LEM com o de Barreiras (BA) e Chapecó (SC), por exemplo, podem ser explicadas pelas diferenças geológica e geomorfológica dessas regiões, apresentada nos respectivos estudos.

Figura 16 – Mapa de N_{spt} a profundidade de 1 metro.



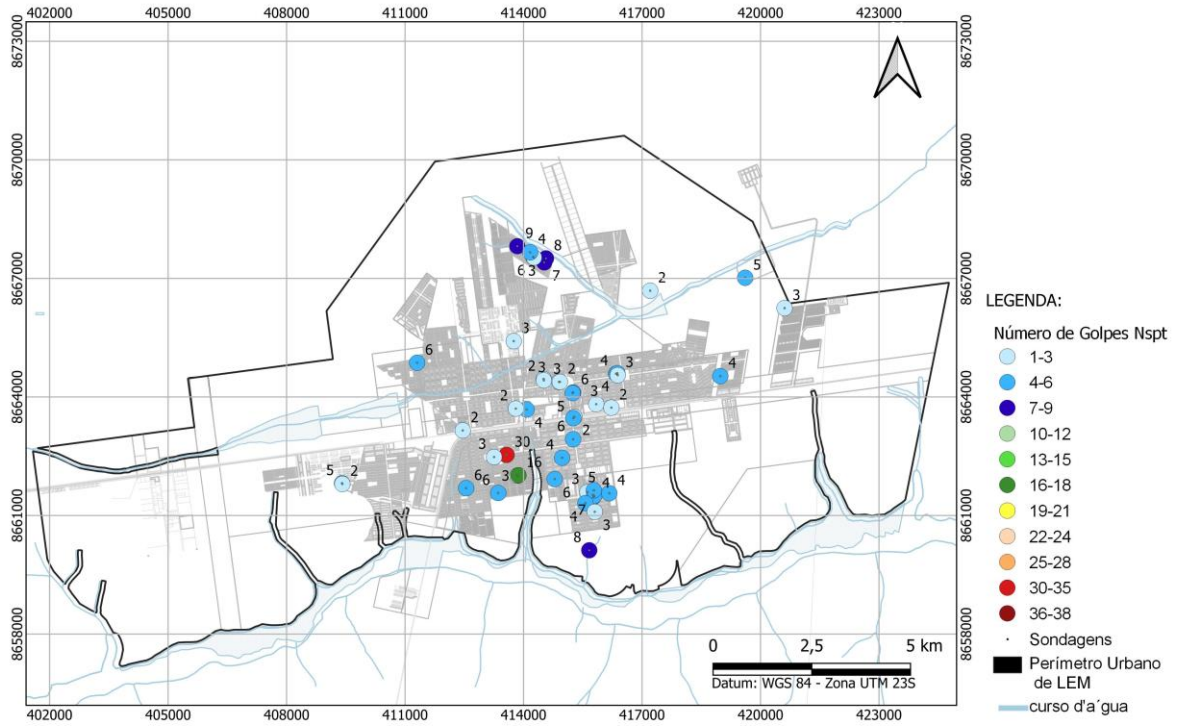
Fonte: Autora (2022).

Figura 17 – Mapa de Nspt a profundidade de 3 metros.



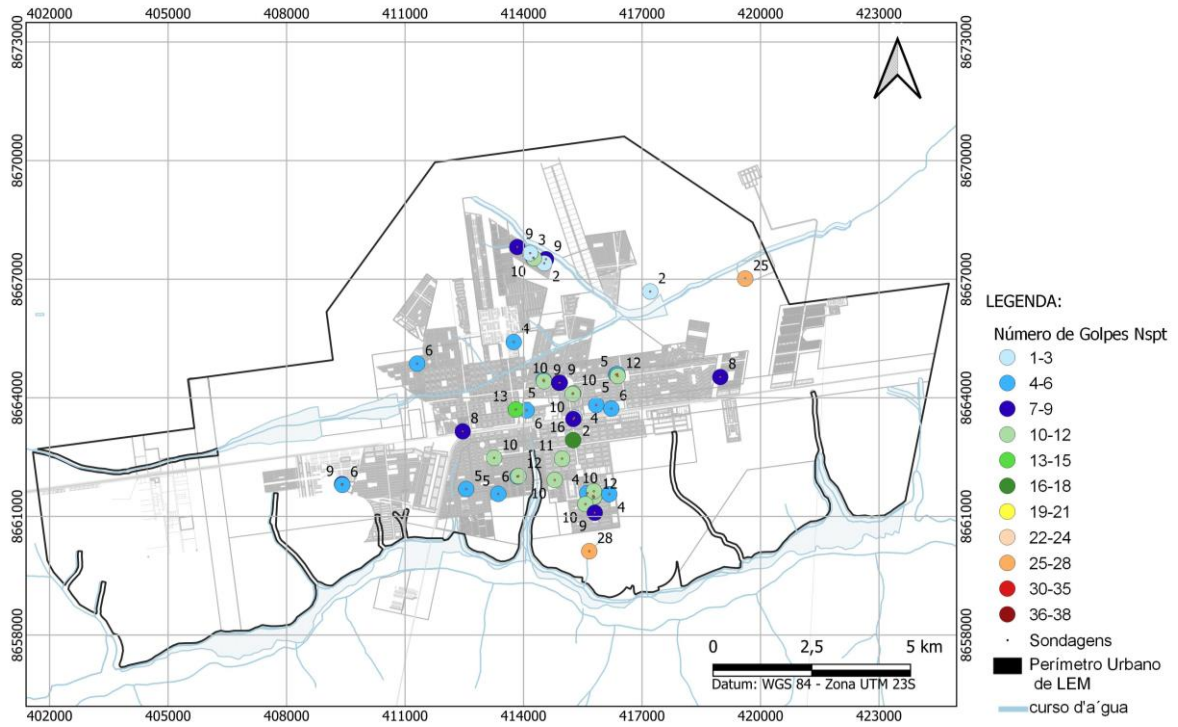
Fonte: Autora (2022).

Figura 18 – Mapa de Nspt a profundidade de 5 metros.



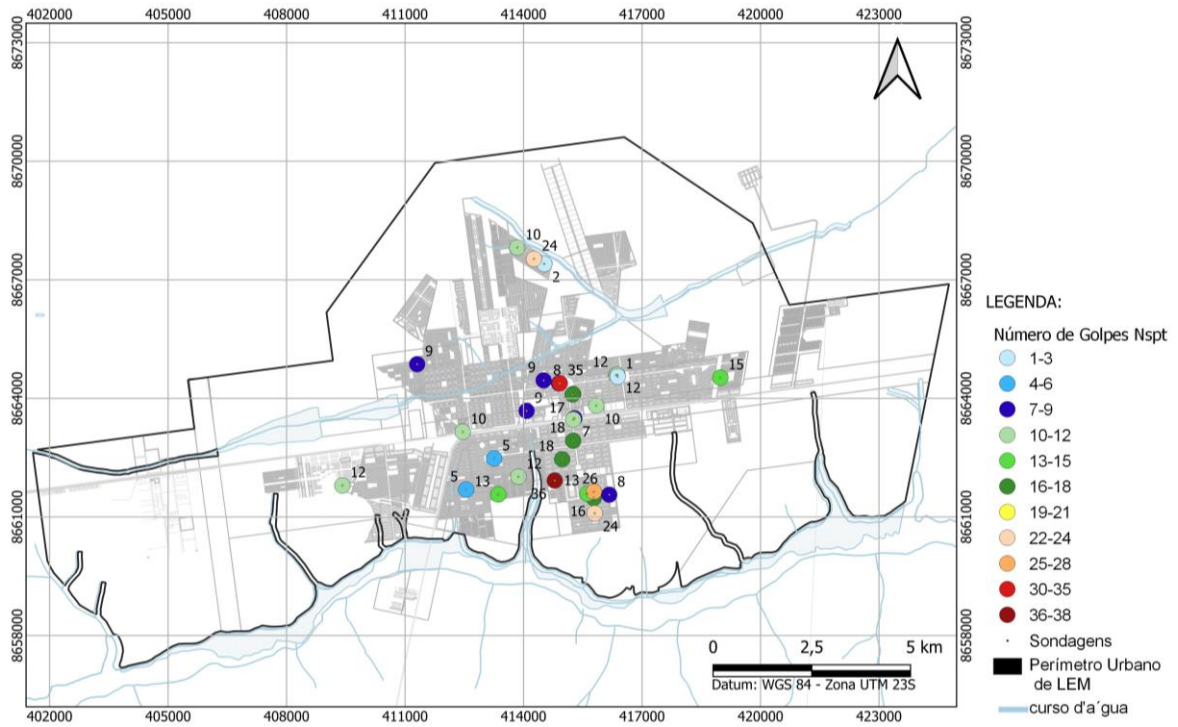
Fonte: Autora (2022).

Figura 19 – Mapa de Nspt a profundidade de 10 metros.



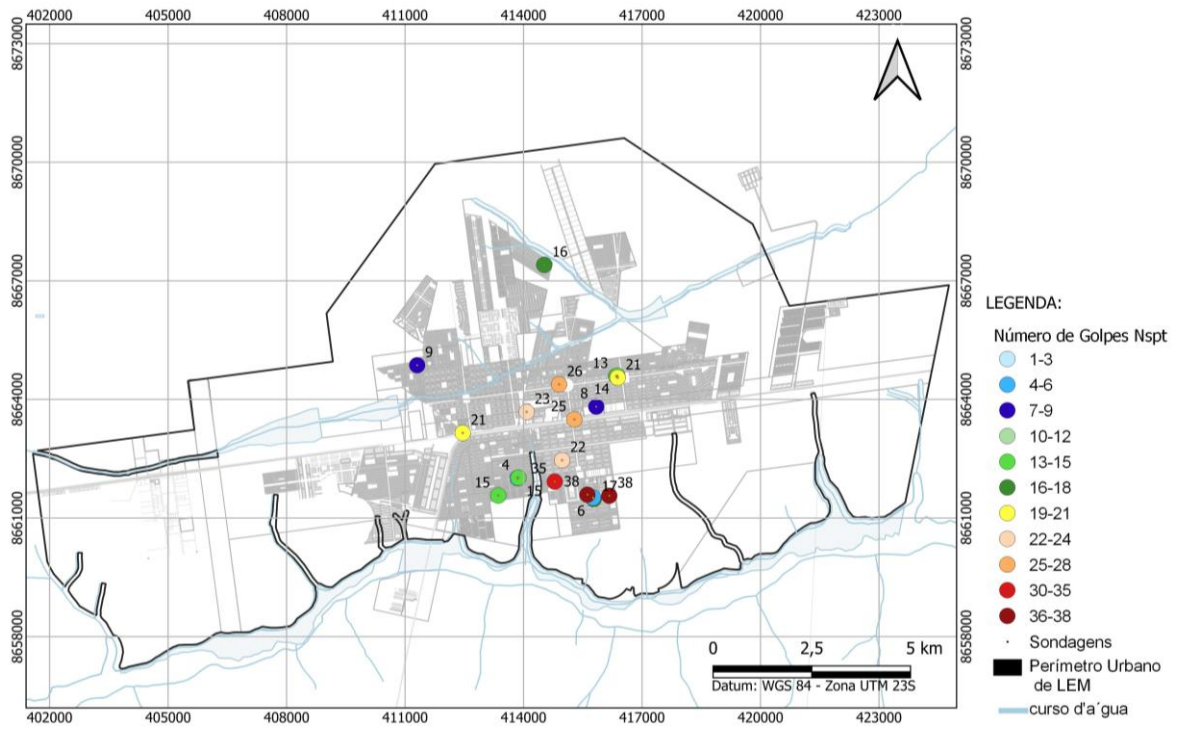
Fonte: Autora (2022).

Figura 20 – Mapa de Nspt a profundidade de 15 metros.



Fonte: Autora (2022).

Figura 21 – Mapa de Nspt a profundidade de 20 metros.



Fonte: Autora (2022).

4.3 MAPEAMENTO DOS TIPOS DE SOLOS

Os mapas foram desenvolvidos no software *QGIS* em escala de 1:115.000 e retratam as características do solo encontradas pela análise tátil visual durante o ensaio SPT (Figuras nº 22, 23, 24, 25, 26 e 27). Os resultados nos mapas são apresentados de acordo as tonalidades e os boletins de sondagem e ressaltam que, nos pontos analisados, o solo de Luís Eduardo Magalhães possui características predominantemente arenosa com porções de argila e em alguns pontos com presença de silte.

Dos pontos onde foram realizadas as sondagens as amostras foram classificadas em 61,23% das camadas como material arenoso, 30,43% em argila, 8,19% em silte e 0,16% de material classificado como pedregulho.

Esta variação granulométrica representa a composição da Formação Chapadão formada por depósitos transportados (colúvio-aluvionar) e por material residual (eluvionar), este último situado a maiores profundidades, pode ser relacionado a alteração dos arenitos da Formação Serra das Araras. Solos coluviais são normalmente desvantajosos para projetos de engenharia, pois são inconsolidados, permeáveis, sujeitos a escorregamentos e os aluvionares, embora sejam fonte de materiais de construção, são ruins matérias de fundações (CHIOSSI, 1979).

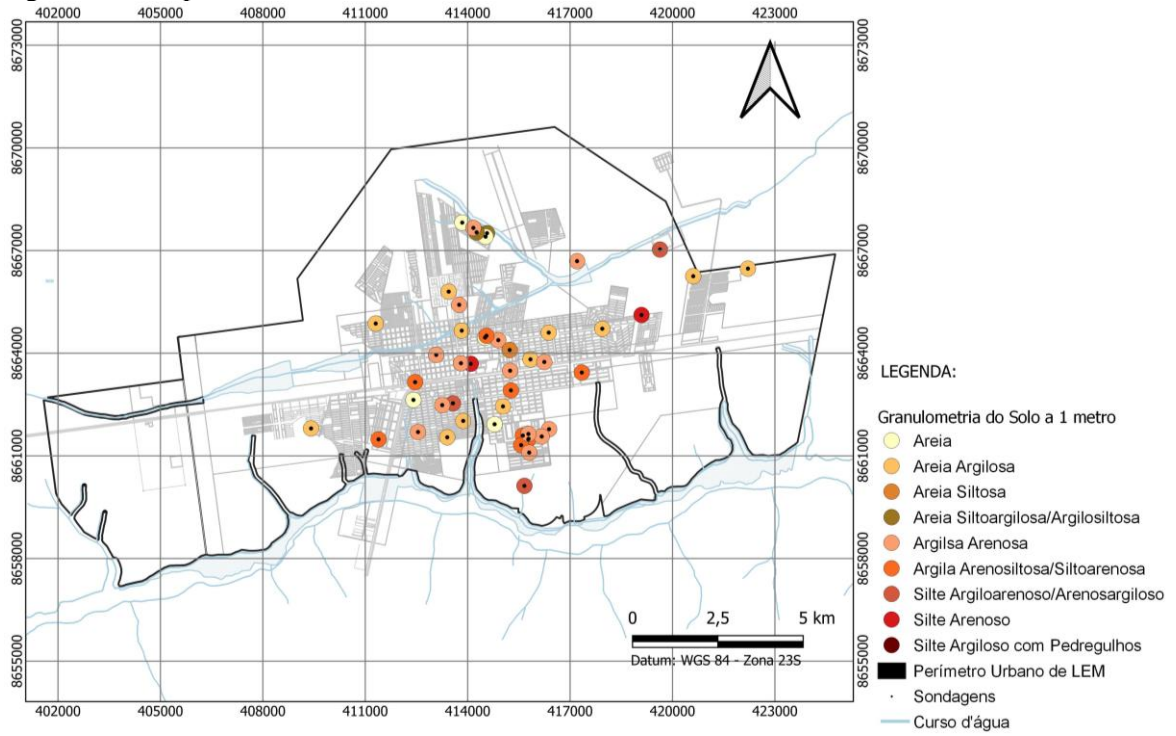
Ressalta-se que, mesmo em profundidades maiores que possuem uma quantidade menor de dados, como de 15 e 20 metros, tais propriedades apresentam essa tendência.

Esse resultado é interessante e quando associado ao N_{spt} corrobora com a classificação em relação a compacidade do solo conforme apresenta a NBR 6484 (ABNT, 2020) descrita no Quadro 1. Os solos arenosos apresentam características com compacidades variando de fofas a medianamente compactas e os solos argilo-arenosos variam de muito mole a rijo.

O grau de compacidade é um ponto importante a ser observado na engenharia civil, pois segundo Rebello (2008), pode influenciar no grau de deformação e consequentemente prejudicar o comportamento das estruturas.

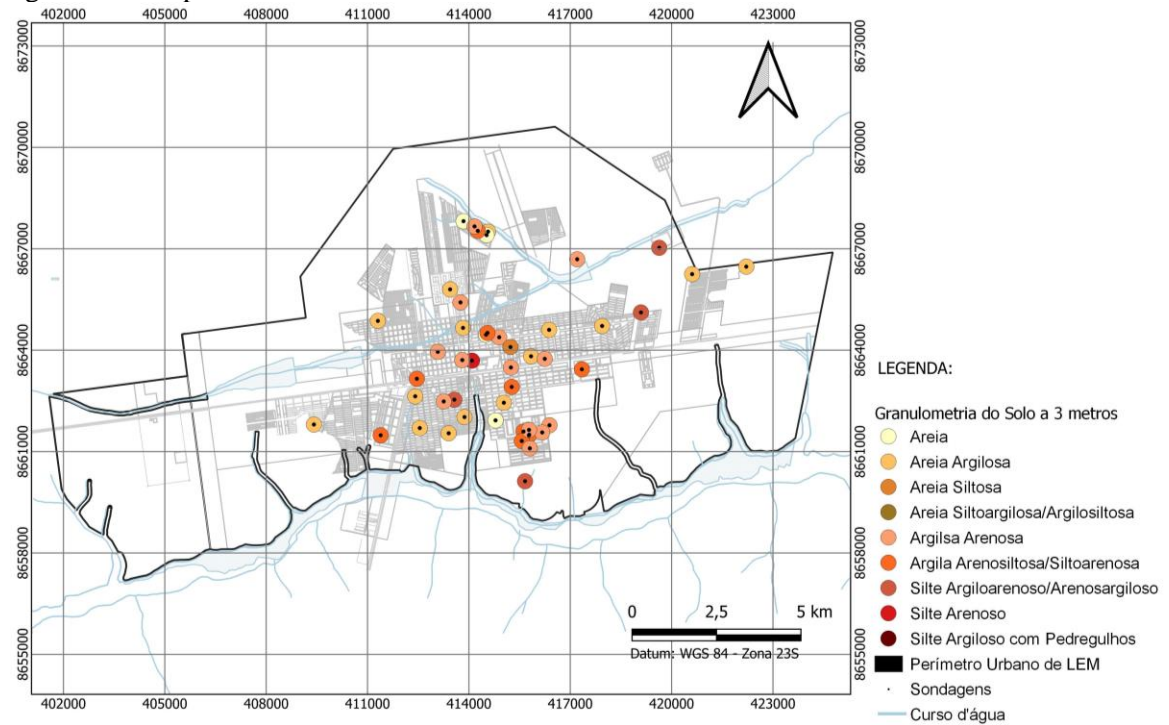
É importante destacar que, os mapas apresentados servem como diretrizes para realizar uma estimativa do tipo de solo que tende a ser encontrado na região do LEM para a profundidade desejada. Entretanto, esse estudo não substitui a necessidade de investigações geotécnicas pontuais, mas podem auxiliar para verificação dos resultados das sondagens posteriormente contratadas.

Figura 22 – Mapa da Granulometria dos solos a 1 metro.



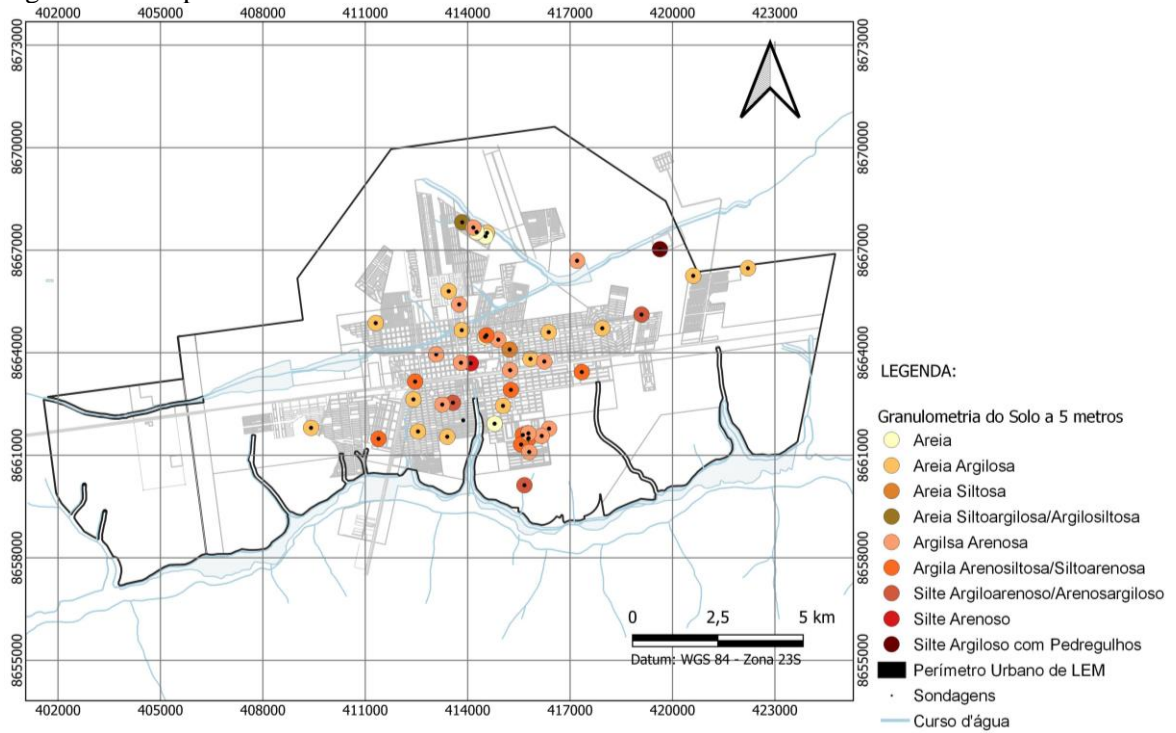
Fonte: Autora (2022).

Figura 23 – Mapa da Granulometria dos solos a 3 metros.



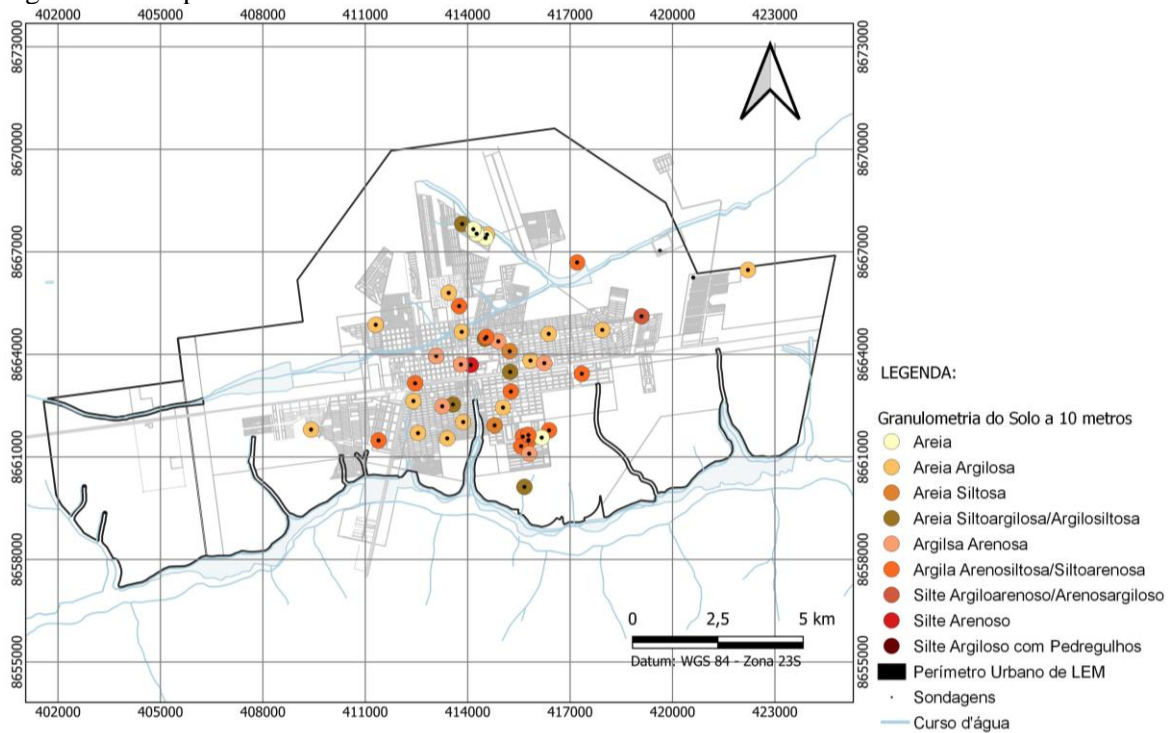
Fonte: Autora (2022).

Figura 24 – Mapa da Granulometria dos solos a 5 metros.



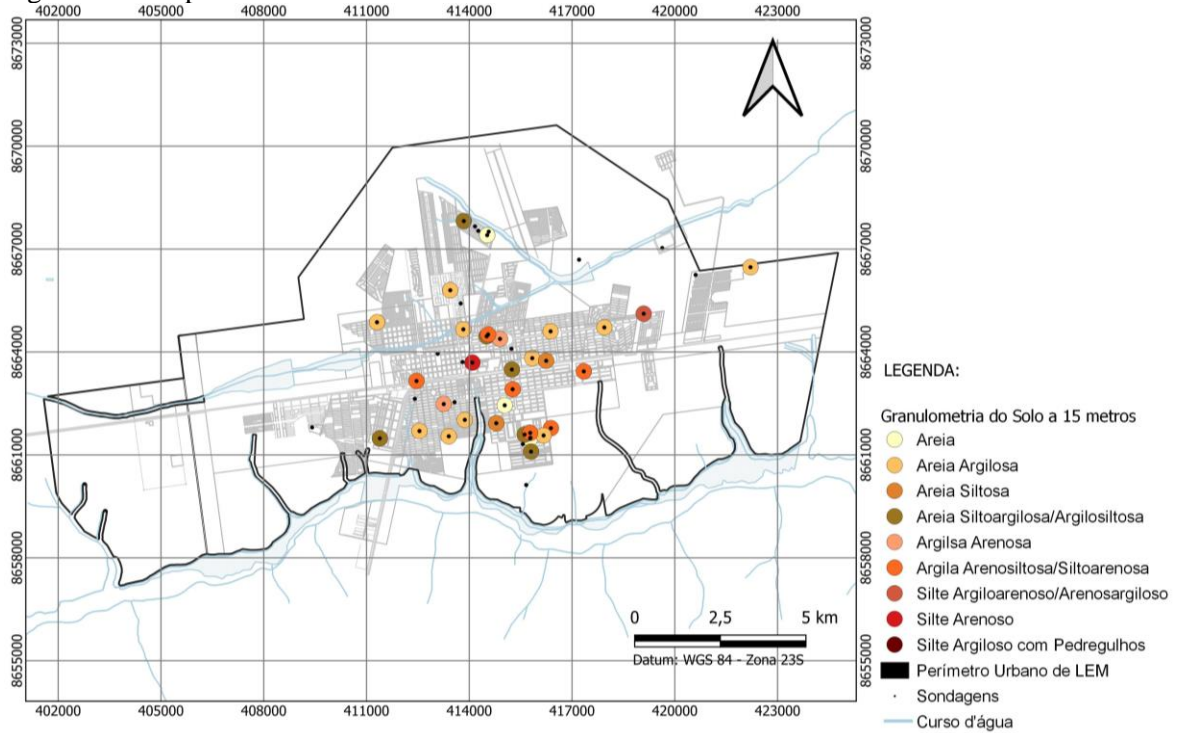
Fonte: Autora (2022).

Figura 25 – Mapa da Granulometria dos solos a 10 metros.



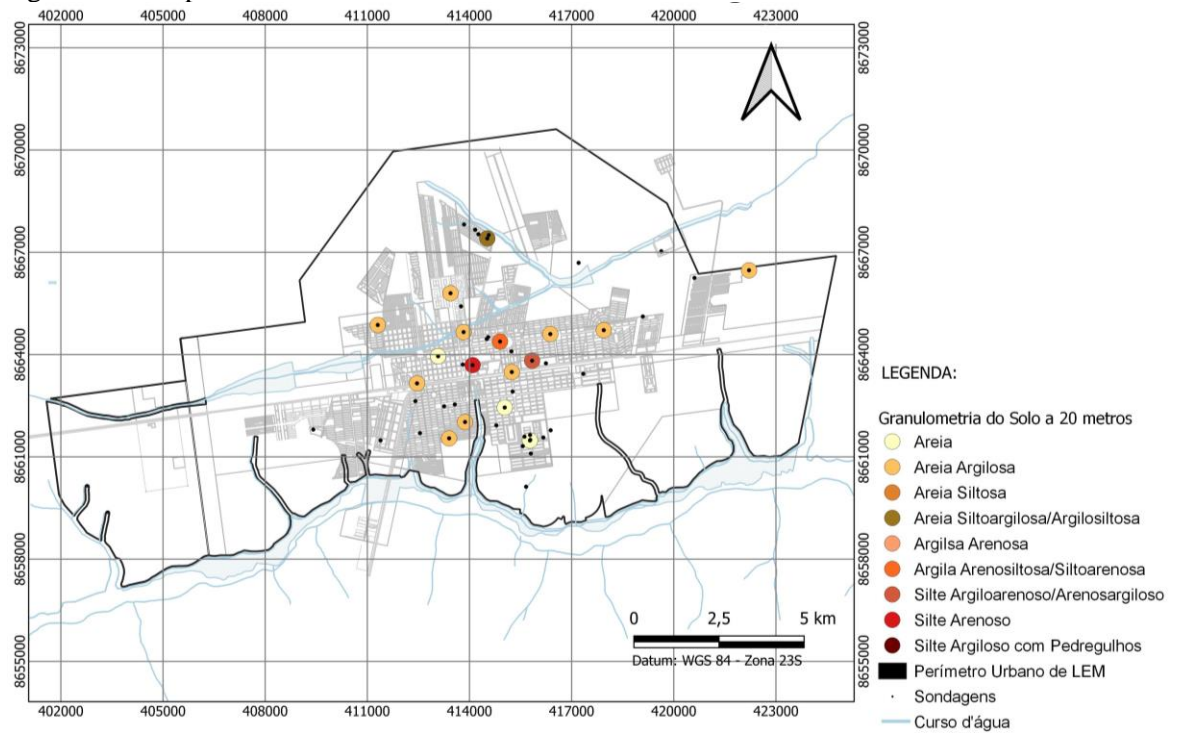
Fonte: Autora (2022).

Figura 26 – Mapa da Granulometria dos solos a 15 metros.



Fonte: Autora (2022).

Figura 27 – Mapa da Granulometria dos solos a 20 metros.



Fonte: Autora (2022).

4.4 MAPEAMENTO DO IMPENETRÁVEL

O mapa da Figura 28 foi gerado em escala de 1:100.000 com as profundidades dos pontos que atingiram o impenetrável. As tonalidades mais claras referem-se a impenetráveis mais superficiais e os locais com coloração mais escura possuem profundidades maiores de impenetrável. Observou-se que as regiões são marcadas pela superfície do impenetrável em profundidades consideráveis, sendo a menor profundidade atingida de 7 metros e o maior valor de 25 metros. Quantitativamente, constata-se que os valores de 9, 17 e 20 metros são os que mais se repetem. Dos 21 pontos analisados, 17 encontram-se acima de 10 metros, o que corrobora ainda mais com as análises de resistência apresentadas anteriormente, reforçando a existência de baixos valores de resistência nas primeiras camadas do solo de LEM.

Figura 28 – Mapa das sondagens que atingiram o impenetrável.



Fonte: Autora (2022).

Os picos de médio e máximo N_{spt} apresentados no gráfico da Figura 14 e ao impenetrável, podem ser relacionados a ocorrência de estruturas silicificadas (material rochoso muito duro) comumente presentes no interior da Formação Serra das Araras e que aflora regionalmente nos abatimentos de solo e nas erosões (CARVALHO, 2022).

4.5 MAPEAMENTO DO NÍVEL FREÁTICO

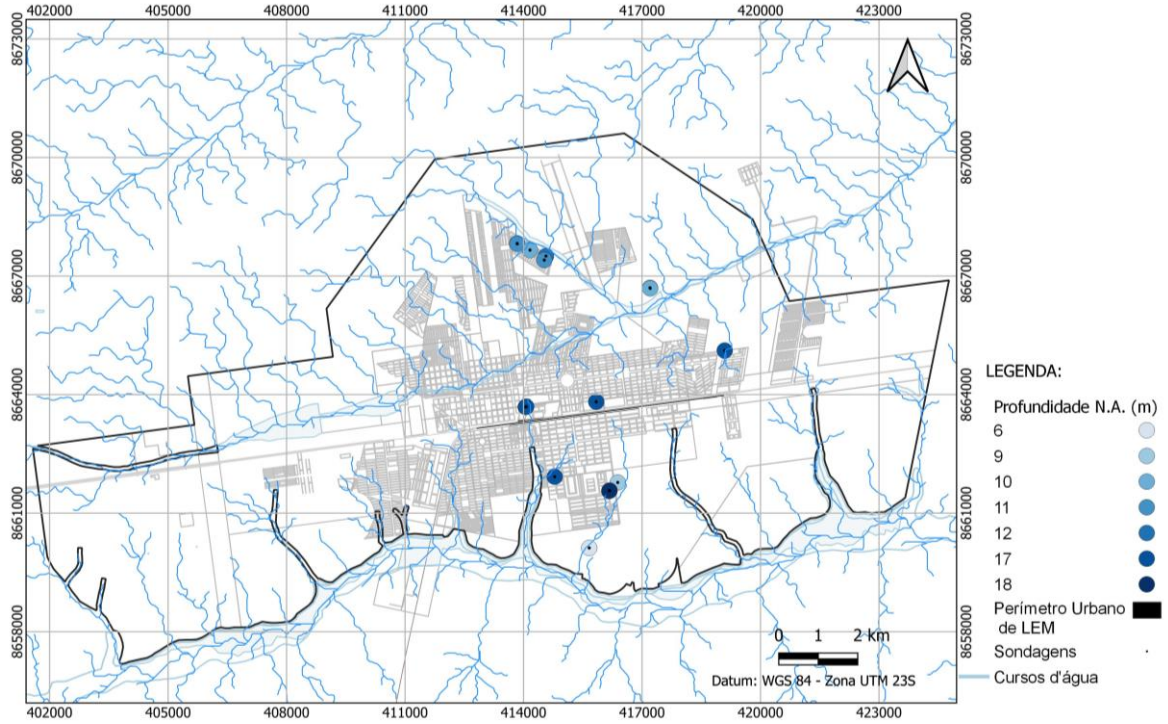
O mapa da Figura 29 foi gerado em escala de 1:100.000 com as profundidades dos pontos que atingiram o nível d'água. As tonalidades mais escuras indicam profundidades maiores e as mais claras as menores. Observa-se uma pequena quantidade de pontos (16 furos) que atingiram o nível em relação ao total de 111 pontos. Nota-se, proporcionalmente, que o número de furos em que o nível d'água foi encontrado é maior para a camada de 17 metros de profundidade em relação ao demais. Esta informação é corroborada pelos níveis estáticos de 10 poços SIAGAS registrados no perímetro urbano do LEM, cuja profundidade média do de 20,4 m, pode variar entre o mínimo de 17 m e o máximo de 30 m. No portal do RIMAS (Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas) da CPRM foi realizada a análise do poço de monitoramento mais próximo ao perímetro urbano do LEM (Fazenda Johá) e verificou-se que o nível d'água encontrava-se em 33,3 metros.

Sales (2013) realizou a análise de 96 poços dentro da área urbana de Luís Eduardo Magalhães, encontrando profundidades do nível estático maiores que 50 metros. Estas ocorrências de nível estático profundo explica a pequena quantidade de furos que atingiram o nível d'água.

Outra observação importante e que reforça esse resultado é que no mapa gerado, os pontos onde foram identificados a existência de nível d'água coincidem ou são muito próximos às drenagens geradas a partir do Modelo Digital de Elevação das Imagens *ALOS PALSAR*. Que mesmo sendo locais que atualmente não possuem um curso hídrico, o nível freático pode apresentar-se a menores profundidades.

Da análise do período de realização da sondagem verificou-se que o maior quantitativo de dados se encontra no período de déficit de água do sistema (10 furos) e em 04 furos o nível d'água foi encontrado no período de excesso de água no sistema e em apenas 02 furos foi localizado o nível d'água no período de reposição dessa água. Esses parâmetros são importantes, pois esse período que foi realizada a sondagem pode influenciar na profundidade daquele nível d'água encontrado e na existência de nível freático suspenso.

Figura 29 - Mapa de drenagens e das sondagens que atingiram o nível d'água.



Fonte: Autora (2022).

5. CONCLUSÕES

A caracterização do solo no qual se pretende construir é essencial para o desenvolvimento das atividades de engenharia e urbanística das cidades. Ela garante estabilidade, segurança, economia e conforto aos envolvidos no processo construtivo.

O material produzido neste estudo preliminar, pode ser útil para as análises iniciais do comportamento geotécnico do solo de Luís Eduardo Magalhães e poderá servir como base para trabalhos futuros.

Em relação a análise dos boletins, confecção dos gráficos e mapas conclui-se que:

- Os valores de mínimos com $N_{spt} < 5$ golpes seguem sem variação significativa até os 19 metros de profundidade;
- Os valores de N_{spt} médio seguem paralelos ao N_{spt} mínimo até a profundidade de 5 metros, a partir desta profundidade ocorre um suave e quase constante incremento nos valores de N_{spt} até atingir 20 golpes a profundidade de 23 m.
- Os valores dos máximos N_{spts} oscilam bastante. Nos intervalos das profundidades de 1,5 m a 5 m, 9 m e 10 m, 26 m e 29,5 m os N_{spt} máximos apresentam valores < 30 golpes, para os demais intervalos de profundidade até atingir os 30 m, os N_{spt} máximos apresentam valores ≥ 30 golpes
- Com a confecção do gráfico boxplot foi possível verificar as profundidades onde ocorrem as variações nos dados (*outliers*). Até os 4 metros de profundidade ocorre relativamente pouca variabilidade dos valores de N_{spt} . A medida que se aumenta a profundidade de análise, a partir de 5 metros, constata-se maior variabilidade dos dados com aumento da mediana dos N_{spts} , e maior presença de *outliers*
- O solo de Luís Eduardo Magalhães possui característica predominantemente arenosa com porções de argila e em uma quantidade menor de silte;
- O solo analisado apresenta baixos valores de resistência N_{spt} nas camadas iniciais com valores inferiores a 10 golpes o que pode influenciar no modelo de fundação a ser empregado;
- Devido a predominância de valores baixos do N_{spt} (inferiores a 10 golpes) não é aconselhado a utilização de fundações diretas rasas no solo da cidade de Luís Eduardo Magalhães sem uma análise prévia das condições técnica e econômica para o emprego das mesmas.
- Poucos furos atingiram o impenetrável;

- O mapa dos pontos que atingiram o nível freático da região mostra que os poucos locais onde foram identificados o nível d'água são pontos de drenagem natural geradas a partir do modelo de elevação do terreno;

Estudos preliminares a partir de resultados demonstrados neste trabalho podem sugerir até mesmo a viabilidade ou inviabilidade técnica-econômica para determinados projetos de engenharia. Estas informações podem ser utilizadas estrategicamente no direcionamento de novas sondagens SPT e como subsídio para a locação de novas construções realizadas pela Prefeitura Municipal de Luís Eduardo Magalhães, por outros órgãos públicos e empresas do setor privado.

Diante disso seguem algumas sugestões de pesquisas que podem ser realizadas no município de Luís Eduardo Magalhães-BA:

- Realização de mais ensaios SPT nas regiões não mapeadas, ampliando assim a área de estudo, viabilizando a utilização de métodos geoestatísticos;
- A partir da geração de novos dados, criar um mapa das profundidades que atingem o impenetrável e realizar a comparação com o resultado obtido neste estudo;
- Criação de um banco de dados em ambiente SIG, associando os pontos utilizados neste trabalho;
- Fazer um mapeamento do nível freático, agregando ao banco de dados os poços existentes na região e realizar a comparação com o resultado obtido neste estudo;
- Mapeamento da coloração e consistência dos solos dos locais sondados;
- A partir de outros parâmetros e em conjunto com os obtidos nas sondagens SPT avaliar o grau de colapsidade do solo da região.

REFERÊNCIAS

- AL-ANI *et al.* GIS – Interpolates Geotechnical Zonation Maps in Surfers Paradise, Australia. **The Sixth International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services**, p. 142-18, Barcelona, Spain. 2014
- AL-JABBAN, W. J. M. Estimation of Standard Penetration Test (SPT) of Hilla City-Iraq by Using GPS Coordination. **Jordan Journal of Civil Engineering**, v. 7, n. 2, p. 133-145, 2013.
- ANDRADE, R. F. de. **Mapeamento Geotécnico Preliminar em Escala de Semi-Detalhe (1:25.000) da Área de Expansão Urbana de Uberlândia-MG**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6484: solo - sondagem de simples reconhecimento com SPT - método de ensaio**. 2 ed. Rio de Janeiro: [s. n.], 2020.
- BARBOSA, V. R. F.; CICERELLI, R. E.; ALMEIDA, T. De. Análise Comparativa entre Modelos Digitais de Elevação (MDE) do Satélite Alos. **XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 3327–3330, 2019.
- BELINCANTA, A. **Avaliação de fatores intervenientes no índice de resistência à penetração do SPT**. 1998. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- CAMPOS, J. E. G.; DARDENNE, M. A. Estratigrafia E Sedimentação Da Bacia Sanfranciscana: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 27, n. 3, p. 269–282, 1997.
- CARAMEZ, M. L. **Mapeamento Geotécnico da Microbacia do Itacorubi – Florianópolis/SC – Aplicação do Modelo SHALSTAB para a Confecção de Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos Rasos de Encostas**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico: Programa de Pós-Graduação - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- CARVALHO, I. S. De. **Proposta para certificação das empresas de sondagens à percussão – tipo SPT**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2012.
- CARVALHO, L. G. **Compartimentação Estratigráfica e Estrutural do Sistema Aquífero Urucuia Como Subsídio a Gestão dos Recursos Hídricos na Região Oeste do Estado da Bahia**. Brasília. 2022. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2022.
- CASTRO, K. B. de; MARTINS, É. de S.; GOMES, M. P.; REATTO, A.; LOPES, C. A.; PASSO, D. P.; LIMA, L. A. de S.; CARDOSO, W. dos S.; JUNIOR, O. A. C.; GOMES, R. A. T. **Caracterização Geomofológica do Município de Luís Eduardo Magalhães**,

Oeste Baiano, Escala 1:100.000. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010.

CHIOSSI, N. J. **Geologia Aplicada à Engenharia.** 2ª ed. São Paulo: Grêmio Politécnico, 1979.

DE MIO, G.; GANDOLFI, N. Cartografia geotécnica da região de Mogi-Guaçu, São Paulo. **Revista Instituto Geológico**, São Paulo, v. especial, p. 99–105, 1995.

DIAS, R. D. Proposta de metodologia de definição de carta geotécnica básica em regiões tropicais e subtropicais. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, v. especial, p. 51–55, 1995.

DPI/INPE. **Introdução ao Geoprocessamento.** [s. l.], 1991. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html#:~:text=O que é um SIG,%22 \(Aronoff%2C 1989\)](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html#:~:text=O que é um SIG,%22 (Aronoff%2C 1989).). Acesso em: 20 out. 2022.

FERREIRA, N. C. **Apostila de sistema de informações geográficas.** Goiânia: [s. n.], 2006.

FOLLE, D. **O estudo geoestatístico de sondagens SPT para geração de mapas auxiliares em obras de engenharia.** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais - PPGEM - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FONTANA, A.; OLIVEIRA, A. P. de. **Levantamento Detalhado dos Solos (1:5.000) da Área Piloto na Fazenda Marechal Rondon, Município de Luís Eduardo Magalhães, BA.** Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2018.

FONTELES, H. R. N. **Caracterização Geotécnica do Subsolo da Porção Nordeste do Município de Fortaleza (CE) Com Base em Geoestatística.** 2003. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

HACHICH, W.; FALCONI, F. F.; SAES, J. L.; FROTA, R. G. O.; CARVALHO, C. S.; NIYAMA, S. **Fundações: teoria e prática.** 2. ed. São Paulo: PINI, 1998.

HIGASHI, R. A. D. R. **Metodologia de Uso e Ocupação dos Solos de Cidades Costeiras Brasileiras Através de SIG com Base no Comportamento Geotécnico e Ambiental.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

HIGASHI, R. R. **Utilização de um SIG no desenvolvimento de um banco de dados geotécnicos do norte do estado do Rio Grande do Sul.** 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

IAEG, I. A. O. E. G. **Engineering geological maps: a guide to their preparation.** Paris: Unesco Press, p. 74, 1976.

IBGE. **Conheça cidades e estados do Brasil.** [s. l.], 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/luis-eduardo-magalhaes/panorama>. Acesso em: 22 fev.

2022.

IBGE. **Conheça cidades e estados do Brasil**. [s. l.], 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/luis-eduardo-magalhaes/panorama>. Acesso em: 22 fev. 2022.

IBGE. **Banco de Informações Ambientais|BDiA**. [s. l.], 2022. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>. Acesso em: 15 abr. 2022.

JÚNIOR, N. F. L. **Caracterização Geotécnica do Município de Arapiraca - AL por Meio da Análise de Perfis de Sondagem SPT**. 2016. Monografia (Engenharia Civil). Campus do Sertão, Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2016.

KNAPPETT, J. A.; CRAIG, R. F. **Mecânica dos Solos**. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

MACÊDO, R. J. A. de; SURYA, L. Comparação Entre Modelos Digitais De Elevação Dos Sensores Srtm E Alos Palsar Para Análise Digital De Terreno. **Revista Contexto Geográfico**, v. 3, n. 6, p. 47, 2019.

MAFRA JÚNIOR, C. da S. **Elaboração do mapa preliminar de unidades geotécnicas do município de Brusque associado a um banco de dados geotécnico em ambiente de SIG**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MAIA, L. D. S. **Utilização de Ensaio SPT para Caracterização do Sub-solo do Bairro da Ribeira às Margens do Rio Potengi**. 2019. Monografia (Engenharia Civil). Centro de Tecnologia: Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

MIRANDA, J. G. de. **Mapeamento geotécnico e estudo da susceptibilidade à erosão na bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT), escala: 1:100.000**. 2005. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Campus de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

MORAES, L. S. **A ocupação e o uso do solo da Bacia do Rio de Ondas em Barreiras-BA: uma abordagem para o planejamento e Gestão Ambiental da Bacia**. 2003. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) - Pró-reitoria de pós-graduação Stricto Sensu em Planejamento e Gestão Ambiental - Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2003.

MOROSSINO, A. C. **Aplicação de SIG para o Mapeamento Geotécnico e a Elaboração de Cartas de Aptidão para Fundações Utilizando Sondagem SPT para o Bairro de Jurerê - Florianópolis/SC**. 2021. Centro Tecnológico: Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

ODEBRECHT, E. **Medidas de energia no ensaio SPT**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

OLIVEIRA, A. M. dos S; BRITO, S. N. A. de. **Geologia de Engenharia**. ABGE, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental. São Paulo, 1998.

BOXPLOT: COMO INTERPRETAR? Direção: Bruno Oliveira. [S. l.]: Statplace, 2022. 1 vídeo (6:01)Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qU2IANG4hYQ>. Acesso em: 20 nov. 2022.

PALSAR, A.. Disponível em:

[https://search.asf.alaska.edu/#/?flightDirs=&zoom=13.000¢er=-45.826,-12.098&polygon=POLYGON\(\(-45.8571 -12.0973,-45.854 -12.0973,-45.854 -12.0664,-45.8571 -12.0664,-45.8571 -12.0973\)\)](https://search.asf.alaska.edu/#/?flightDirs=&zoom=13.000¢er=-45.826,-12.098&polygon=POLYGON((-45.8571 -12.0973,-45.854 -12.0973,-45.854 -12.0664,-45.8571 -12.0664,-45.8571 -12.0973))). Acesso em: 20 mar. 2020.

PEJON, O.J.; ZUQUETTE, L. V. Mapeamento Geotécnico Regional na Escala 1:100.000 - considerações metodológicas. **Revista Instituto Geológico**, São Paulo, v. especial, p. 23–29, 1995.

PEREIRA, T. A. da S., SANTOS, T. A. dos; RIBOLI, J. A. Mapeamento Geoestatístico do Nspt na Área Urbana de Frederico Westphalen/RS - Brasil. **Geotechnical Engineering in the XXI Century: Lessons learned and future challenges**, 2019
doi:10.3233/STAL190019

PIMENTEL, H. W. **Banco de Dados Georreferenciado e Carta Geotécnica Preliminar de Fundações da Região Centro-Norte de Fortaleza-CE**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia: Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

REBELLO, Y. C. P. **Fundações - Guia Prático de Projeto, Execução e Dimensionamento**. São Paulo: Zigurate, 2008.

ROQUE, W. V. **Mapeamento Geoambiental da Área Urbana de Manaus - AM**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Faculdade de Tecnologia: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

ROSA, C. **Análise Temporal da Expansão da Mancha Urbana e Mapeamento de Susceptibilidade a Movimento Gravitacionais de Massa no Município de Tubarão - SC**. 2020. Monografia (Bacharel em Geologia) - Centro de Filosofia e Ciências: Departamento de Geologia - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

SALES, I. R. **Utilização das Águas Subterrâneas do Aquífero Urucuia na Área Urbana de Luís Eduardo Magalhães - BA**. 2013. Monografia (Bacharel em Geologia) - Instituto de Ciências Ambientais e Desenvolvimento Sustentável - Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras, 2013.

SANTOS, J. V. **Aplicação de SIG para Análise do Perfil Geológico-Geotécnico do Campus Sede da UFSC e Elaboração de Cartas de Admissão para Fundações Utilizando Sondagem SPT**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SANTOS, J. V.; THIESEN, S.; HIGASHI, R. R.. (2018). **Geological-Geotechnical Database from Standard Penetration Test Investigations Using Geographic Information Systems**. Chapter 14. 10.5772/intechopen.74208.

SCHNAID, F. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

Sharma B.; Rahman S.K. Use of GIS based maps for preliminary assessment of subsoil of Guwahati city. **Journal of Geoscience and Environment Protection**, v.4, n.5, 2016.

SILVA, A. L. S. e. **Estudo preliminar de caracterização geotécnica para projetos de fundações de edifícios em Caucaia-CE**. 2014. Monografia (Engenheiro Civil) - Centro de Tecnologia: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SILVA, D. F. da. **Mapeamento geostatístico dos parâmetros Nspt e torque máximo de solos em parte da Bacia do Ribeirão Cambezinho em Londrina/PR**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

SOARES, W. C. **Banco de Dados Geológico - Geotécnicos com Base em Sondagens à Percussão e Uso de SIG: Análise Espacial da Profundidade do Lençol Freático e do Nspt Para Obras de Fundação em João Pessoa-PB**. 2011. Tese (Doutorado em Ciências). Escola de Engenharia de São Carlos: Departamento de Geotecnia - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

SOUZA, N. C. D. C. de. **Mapeamento Geotécnico com Base na Compartimentação por Formas de Relevo e Perfis Típicos de Alteração**. 2002. Monografia Geotécnica nº 2 - Escola de Engenharia de São Carlos: Departamento de Geotecnia - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

STALIN, VK.; ARUN, M. RB. Geographic information system for the development of soil suitability map in south Chennai, India. **Arabian Journal of Geosciences**. v.8, n. 3, p. 1415-1437, 2015.

TANAKA, R. S. **Contribuição ao mapeamento geotécnico da cidade de Barreiras – BA por meio de boletins de sondagem do tipo SPT e o seu uso para análise preliminar em fundações**. 2015. Monografia (Engenheiro Civil) - Centro de Ciências Exatas e das Tecnologias - CCET, Universidade Federal do Oeste da Bahia, Barreiras-BA, 2015.

VALENTE, A. L. S. **Integração de dados por meio de geoprocessamento, para elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana : O Caso De Porto Alegre (RS)**. 1999. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

VALENTE, A. L. S. Proposta metodológica de um banco de dados geotécnicos para uso em Sistema de Informações Geográficas (SIG) e sua aplicação no município de Porto Alegre, RS. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, v. 1, p. 87–95, 2000.

VELLOSO, D. de A.; LOPES, F. de R. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

XAVIER, A. V. **Caracterização geotécnica do perímetro urbano do município de Chapecó-SC através do geoprocessamento de sondagens SPT em ambiente SIG**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia

Civil (PPGEC), Campus Pato Branco - Universidade Federal do Paraná, 2020.

ZAINE, J. E. Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP). 2000. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas: Campus de Rio Claro - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ZUQUETTE, L. V. Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica Para Condições Brasileiras - Volume I. 1987. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos: Departamento de Geotecnia - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ZUQUETTE, L. V. Importância do mapeamento geotécnico no uso e na ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. 1993. Tese (Concurso de Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos: Departamento de Geotecnia - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

APÊNDICE A - Valores do Nspt para as profundidades onde foi realizado o mapeamento geotécnico.

Nº da sondagem	Nspt 1 m	Nspt 3 m	Nspt 5 m	Nspt 10 m	Nspt 15 m	Nspt 20 m	Coordenadas (UTM)	
							X	Y
1	1	1	6	10	36	35	414788	8661921
2	2	5	30				413569	8662534
3	5	8	5	25			419610	8667015
4	3	6	8	28			415662	8660120
5	1	2	4	8	15		418980	8664526
6	9	2	3	4	10	8	415839	8663817
7	22	3	4	6	9	23	414076	8663683
8	1	1	3				420608	8666248
9	5	6	8	9			414567	8667506
10	5	10	9	9	10		413840	8667815
11	6	2	2	5	9		414507	8664455
12	4	2	3	10			414513	8664420
13	2	3	7	14	16	17	415775	8661478
14	2	3	5	9		6	415757	8661517
15	2	4	6	6	9	9	411305	8664865
16	2	3	3	6		4	413844	8662010
17	2	3	16	12	12	15	413869	8662019
18	2	3	4	11	18	22	414975	8662461
19	2	3	6	5	13	15	413358	8661570
20	2	3	4	5	12	13	416341	8664587
21		2	4	5	12	14	416374	8664599
22		2	3	12	1	21	416382	8664550
23		3	5	9			409403	8661816
24	2	2	2	6	12		409411	8661798
25	4	4	7	2	2	16	414523	8667404
26	4	2	3	4	13	38	415615	8661590
27	3	2	4	12			415785	8661495
28	2	3	4	10			415565	8661311
29	2	2	3	4			413750	8665412
30	2	2	2	8	10	21	412459	8663152
31	3	4	6	4			414246	8667540
32	3	2	3	10	24		414262	8667529
33	7	3	3	9	8	26	414897	8664380
34	2	2	2	9	35		414918	8664382
35	4	2	6	16	18		415255	8662930
36	1	2	2	2	7	25	415285	8663496
37	2	4	4	7	12		415259	8663464
38	2	4	6	5	5		412545	8661693

39	2	2	3	10	5		413254	8662480
40	4	2	2	6			416222	8663729
41	9	4	6	10	14		415251	8664112
42	2	2	5	10	17		415242	8664098
43	2	3	2	13			413803	8663705
44	2	2	2	2			417205	8666689
45	8	17	4	3			414166	8667660
46	2	2	4	4	8	38	416169	8661563
47	2	2	5	10	26		415779	8661638
48	5	3	3	9	24		415802	8661093

APÊNDICE B - Tipos de solos para as profundidades que foi realizado o mapeamento geotécnico.

Nº da Sondagem	Tipo de Solo a 1m	Tipo de Solo a 3m	Tipo de Solo a 5m	Tipo de Solo a 10m	Tipo de Solo a 15m	Tipo de Solo a 20m	Coordenadas UTM	
							X	Y
1	Areia	Areia	Areia	Areia Siltosa	Areia Siltosa		414788	8661921
2	Silte Argilo-Arenoso	Silte Argilo-Arenoso	Silte argiloso				419633	8667028
3	Silte Argilo-Arenoso	Silte Argilo-Arenoso	Silte Argilo-Arenoso	Argila Silto-Arenosa			413569	8662534
4	Silte Arenoso	Silte arenoargiloso	Silte arenoargiloso	Areia Silto-Argilosa			415662	8660120
5	Silte Argilo-Arenoso	Silte Argilo-Arenoso	Silte Argilo-Arenoso	Silte Argilo-Arenoso	Silte Argilo-Arenoso		419092	8665114
6	Silte Arenoso	Silte Arenoso	Silte Arenoso	Silte Arenoso	Silte Arenoso	Silte Arenoso	414091	8663688
7	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Silte Argilo-Arenoso	415839	8663817
8	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa				420608	8666248
9	Areia Silto-Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa			414567	8667506
10	Areia	Areia	Areia Silto-Argilosa	Areia Silto-Arenosa	Areia Silto-Argilosa		413840	8667815
11	Areia	Areia	Areia	Areia Silto-Argilosa	Areia Silto-Argilosa		414507	8664455
12	Areia	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa			412410	8662632
13	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia	Areia	Areia	415775	8661478
14	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	413826	8664657
15	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	411305	8664865
16	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	413443	8665797
17	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	413869	8662019

18	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia	Areia	415034	8662443
19	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	413401	8661539
20	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	417943	8664713
21	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	416374	8664599
22	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	422211	8666470
23	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa			409411	8661798
24	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Areno-Siltosa	Areia	413078	8663949
25	Areia	Areia	Areia	Areia	Areia	Areia Silto-Argilosa	414523	8667404
26	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Areia Silto-Argilosa		415615	8661590
27	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa			415785	8661495
28	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa			415565	8661311
29	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Areno-Siltosa			413750	8665412
30	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Areia Argilosa	412459	8663152
31	Areia Silto-Argilosa	Areia Silto-Argilosa	Areia	Areia			414262	8667529
32	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa		416384	8661776
33	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Areno-Siltosa	414897	8664380
34	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Areia Argilo-Siltosa	Areia Argilo-Siltosa		411388	8661480
35	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa		415266	8662911
36	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Areia Argilo-Siltosa	Areia Argilo-Siltosa	Areia Siltosa	415243	8663486

37	Argila Silto-Arenosa	Argila Silto-Arenosa	Argila Silto-Arenosa	Argila Silto-Arenosa	Argila Silto-Arenosa		417343	8663432
38	Argila Arenosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa		412545	8661693
39	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa		413254	8662480
40	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Areia Siltosa		416245	8663741
41	Areia Siltosa	Areia Siltosa	Areia Siltosa	Areia Siltosa			415231	8664091
42	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa		414550	8664508
43	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa			413803	8663705
44	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Areno-Siltosa			417205	8666689
45	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Areia			414166	8667660
46	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	Areia Argilosa	416169	8661563
47	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Areno-Siltosa	Argila Areno-Siltosa		415779	8661638
48	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Argila Arenosa	Areia Argilo-Siltosa		415802	8661093

APÊNDICE C – Sondagens que atingiram à impenetrabilidade.

Nº da Sondagem	Prof. do impenetrável (m)	Coordenadas (UTM)	
		X	Y
1	20	414788	8661921
2	9	419633	8667028
2	9	419610	8667015
3	14	413569	8662534
7	25	415839	8663817
18	20	414975	8662461
18	20	415014	8662446
18	23	415034	8662443
27	11	415785	8661495
27	11	415786	8661490
29	13	413749	8665419
29	13	413750	8665412
30	16	412469	8663142
30	14	412464	8663164
35	17	415255	8662930
35	17	415266	8662911
46	7	416177	8661572
46	9	416050	8661566
47	16	415790	8661632
47	17	415779	8661638
48	19	415802	8661093

APÊNDICE D - Furos que foram encontrados o nível d'água nas sondagens SPT.

		Coordenadas UTM	
Nº da sondagem	Prof. N. A	X	Y
1	17	414788	8661921
4	6	415662	8660120
6	17	415839	8663817
6	17	414053	8663688
6	17	419092	8665114
6	17	414066	8663694
9	12	414567	8667506
10	11	413837	8667825
10	11	413840	8667815
25	11	414523	8667404
31	9	416384	8661776
44	9	417200	8666702
44	10	417205	8666689
45	10	414162	8667658
46	17	416177	8661572
46	18	416169	8661563

APÊNDICE E – Análise estatística descritiva dos 111 furos obtidos nas sondagens.

	Média	Mediana	Desvio padrão	Variância da amostra	Mínimo	Máximo	Soma	Nº de Elementos
<i>Nspt 1 m</i>	4	2	4,81	23,11	1	34	406	100
<i>Nspt 2 m</i>	3	2	2,53	6,41	1	12	341	103
<i>Nspt 3 m</i>	3	3	2,30	5,28	1	17	362	108
<i>Nspt 4 m</i>	4	3	2,70	7,26	1	19	436	110
<i>Nspt 5 m</i>	5	4	3,65	13,32	2	30	536	110
<i>Nspt 6 m</i>	6	5	5,84	34,14	2	40	704	111
<i>Nspt 7 m</i>	7	5	5,64	31,78	2	38	734	107
<i>Nspt 8 m</i>	7	6	5,15	26,54	2	30	794	106
<i>Nspt 9 m</i>	8	7	4,69	21,96	1	30	776	103
<i>Nspt 10 m</i>	8	8	4,31	18,60	2	28	822	101
<i>Nspt 11 m</i>	9	8	6,10	37,24	2	54	817	93
<i>Nspt 12 m</i>	10	8	7,03	49,46	2	61	925	93
<i>Nspt 13 m</i>	11	10	7,50	56,19	2	57	922	81
<i>Nspt 14 m</i>	13	11	7,68	59,01	2	39	1003	79
<i>Nspt 15 m</i>	16	13	8,62	74,22	1	47	1103	71
<i>Nspt 16 m</i>	16	14	8,76	76,69	2	37	798	50
<i>Nspt 17 m</i>	15	13	9,34	87,29	2	43	714	47
<i>Nspt 18 m</i>	16	15	11,29	127,36	2	55	727	45
<i>Nspt 19 m</i>	15	13	9,00	80,93	2	38	629	41
<i>Nspt 20 m</i>	18	16	9,45	89,34	4	38	708	40
<i>Nspt 21 m</i>	16	13	8,80	77,51	6	41	518	32
<i>Nspt 22 m</i>	17	13	11,07	122,53	5	49	494	29
<i>Nspt 23 m</i>	20	17	11,81	139,58	5	47	557	28
<i>Nspt 24 m</i>	35	26	18,19	330,95	14	57	242	7
<i>Nspt 25 m</i>	35	23	18,33	336,14	18	61	246	7
<i>Nspt 26 m</i>	23	23	3,86	14,92	19	27	91	4
<i>Nspt 27 m</i>	20	19	3,46	12,00	17	25	80	4
<i>Nspt 28 m</i>	23	22	4,43	19,67	18	28	90	4
<i>Nspt 29 m</i>	26	26	1,50	2,25	24	27	103	4
<i>Nspt 30 m</i>	35	36	0,96	0,92	34	36	141	4