



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

ARTHUR GERMANO MOREIRA DE CARVALHO

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO ATRAVÉS DE FERRAMENTA SIG UTILIZANDO
DADOS DE ENSAIOS DE S.P.T. NA REGIÃO CENTRAL DE MACAPÁ.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MACAPÁ – AP

2023

ARTHUR GERMANO MOREIRA DE CARVALHO

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO ATRAVÉS DE FERRAMENTA SIG UTILIZANDO
DADOS DE ENSAIOS DE S.P.T. NA REGIÃO CENTRAL DE MACAPÁ.**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Universidade Federal do Amapá apresentado para a Coordenação de Engenharia Civil – CEC – como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: **Prof. Me. Luís Henrique Rambo.**

MACAPÁ – AP
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP
Elaborado por Mário das Graças Carvalho Lima Júnior – CRB-2 / 1451

C331 Carvalho, Arthur Germano Moreira de.

Mapeamento geotécnico através de ferramenta SIG utilizando dados de ensaios de S.P.T. na região central de Macapá / Arthur Germano Moreira de Carvalho. - Macapá, 2023.
1 recurso eletrônico. 69 folhas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá,
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, Macapá, 2023.
Orientador: Luis Henrique Rambo.

Modo de acesso: World Wide Web.

Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Sistema de Informações Geográficas (SIG). 2. Sondagens SPT. 3. Mapeamento Geotécnico. I. Rambo, Luis Henrique, orientador. II. Universidade Federal do Amapá. III. Título.

CDD 23. ed. – 624


ARTHUR GERMANO MOREIRA DE CARVALHO

**MAPEAMENTO GEOTÉCNICO ATRAVÉS DE FERRAMENTA SIG
UTILIZANDO DADOS DE ENSAIOS DE S.P.T. NA REGIÃO CENTRAL DE
MACAPÁ.**

Trabalho de conclusão de curso submetido a Universidade Federal do Amapá apresentado para a Coordenação de Engenharia Civil - CEC - como requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil, pela Universidade Federal do Amapá. Sob a orientação do **Prof. Me. Luís Henrique Rambo.**


Macapá, 12 de setembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **LUIS HENRIQUE RAMBO**
Data: 15/09/2023 19:22:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Luís Henrique Rambo.

Examinador interno (UNIFAP) - Orientador

Documento assinado digitalmente
 **ADENILSON COSTA DE OLIVEIRA**
Data: 15/09/2023 18:44:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Me. Adenilson Costa de Oliveira

Examinador interno (UNIFAP) – Avaliador 1



Prof. Dr. Fabiano Luís Belém

Examinador interno (UNIFAP) – Avaliador 2

Documento assinado digitalmente
 **MARCELO AUGUSTO RAMBO**
Data: 15/09/2023 16:50:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Esp. Marcelo Augusto Rambo

Examinador externo (UNIR) – Avaliador 3

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, sou grato a Deus pela oportunidade de, em breve, alcançar mais um almejado objetivo. Ele é conhecedor dos esforços que empenhei ao longo dessa graduação e tem me ajudado a trilhar essa árdua caminhada e me dado forças para superar os obstáculos que encontrei durante o caminho.

À minha mãe Fabia que nunca mediu esforços e sempre se dedicou a minha educação, me incentivou e apoiou a concluir minha graduação, obrigada por todo o seu apoio, por sempre tentar dar o seu melhor por mim. Aos meus “pais adotivos” Luís Ilberto e Maria de Fátima, que durante esses anos não também mediram esforços para que eu pudesse chegar aqui, me acolhendo e me proporcionando os recursos que me eram necessários. Todos os conselhos, valores e profundo carinho que recebi deles foram extremamente importantes para minha formação como ser humano, estudante e, agora, profissional. Amo vocês do fundo do meu coração e não consigo colocar em palavras o quanto sou grato por tê-los na minha vida.

Sou grato aos meus familiares e amigos, que compartilharam comigo cada etapa da minha vida universitária, torcendo por cada conquista alcançada. Aos amigos de curso, em especial aqueles que estavam comigo durante cada semestre, durante altos e baixos, brigas e trabalhos acadêmicos, até mesmo dando um puxão de orelha quando necessário e que vou levar comigo após a universidade: Matheus Antônio, Beatriz Coroa, Juliely Alcolumbre, Larissa Almeida e Danilo Santos. Aos colegas de estágio e trabalho que contribuíram com seus conhecimentos para minha formação.

À minha namorada Queise Lueni, por todas as palavras de incentivo, todo apoio, carinho e amor, pela sua companhia nos momentos mais difíceis e mais felizes, obrigada por rir comigo e dizer que tudo ficaria bem, que eu iria conseguir. Ela que se tornou uma das principais inspirações e motivação para finalizar essa etapa, a ela toda o meu amor e admiração, espero um dia conseguir retribuir tudo o que fez por mim.

Ao meu professor e orientador, Mestre Luís Henrique Rambo, que pacientemente me forneceu orientações e subsídios técnicos para que eu pudesse encerrar esta importante etapa. Profissional exemplar que servirá de guia em minha carreira, pois foi capaz de despertar em mim o anseio pelo saber e o amor pela Engenharia, mostrando-se com condutas éticas e respeitáveis, indo além do papel de professor, mas sim um verdadeiro amigo, o qual levarei para a vida.

“Dedico este trabalho aos meus pais, Fabia, Fátima e em especial ao meu pai Luis Ilberto (*in memorian*) que não pode estar ao meu lado nesse momento ímpar, com todo meu amor e gratidão.”

RESUMO

Com o progresso da indústria da construção civil em Macapá, especialmente no contexto da expansão vertical da cidade, torna-se fundamental considerar a realização de estudos geotécnicos como parte integrante do planejamento urbano. Nesse sentido, uma forma de facilitar a compreensão de modo espacializado desses estudos é através da elaboração de mapas, os quais agilizam a análise de parâmetros relevantes para o setor da construção civil. O presente trabalho utilizou dados provenientes de 32 perfurações de sondagens SPT (Standard Penetration Test), localizadas na área de estudo, com o propósito de adquirir informações sobre as características do solo e dar continuidade ao trabalho de SILVA (2019). Assim, essas informações foram então empregadas para a criação de mapas que possibilitam a representação gráfica da profundidade do lençol freático, do nível impenetrável à percussão, dos valores do N_{SPT} (Número de Sondagem SPT) e da composição morfológica dos solos. Dessa forma, para a concretização desse objetivo, a utilização de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) se revela essencial, posto que este é uma ferramenta por meio da qual os dados geográficos são processados computacionalmente. No processo de desenvolvimento do trabalho, foi necessária a elaboração de um banco de dados composto por informações extraídas dos perfis das sondagens, bem como as coordenadas geográficas do local de cada perfuração, as quais foram obtidas com auxílio de ferramentas especializadas. O software ArcMap 10.3 foi empregado para integrar o banco de dados, possibilitando a aplicação do SIG através da interpolação pelo inverso da distância para os atributos do solo. Esse processo resultou na criação das superfícies representadas nos mapas finais. Dessa forma, a combinação de estudos geotécnicos, da coleta de dados precisa, da aplicação de SIG e das técnicas de interpolação foram fundamentais para gerar representações visuais claras e informativas dos parâmetros relevantes para a construção civil na área de estudo em questão.

Palavras-Chave: Sistema de Informações Geográficas (SIG). Sondagens SPT. Mapeamento Geotécnico. Macapá-AP

ABSTRACT

With the advancement of the construction industry in Macapá, especially in the context of the vertical expansion of the city, it becomes necessary to consider doing geotechnical studies as integrant part of the urban planning. In that regard, a way to turn easier the comprehension of spatialization of these studies is through the conception of maps, which speed up the analysis of relevant parameters for the civil construction sector. The present study used data from 32 Standard Penetration Test (SPT) boreholes located in the studied area, in order to acquire information about the soil characteristics and to continue the study of SILVA (2019). In that sense, these information were employed to produce maps facilitating graphical representation of groundwater depth, impenetrable percussion levels, SPT-N values, and soil morphological composition. Therefore, to achieve this objective, the utilization of a Geographic Information System (GIS) proves essential, as it serves as a computational tool through which geographical data is processed. During the development of this study, it was necessary the elaboration of a database made of information extracted from borehole profiles, alongside the geographic coordinates of each drilling location, obtained through specialized tools. The ArcMap 10.3 software was employed to integrate the database, enabling the application of GIS through the interpolation by the inverse distance weighting (IDW) for the soil attributes. This process culminated in the creation of the surfaces represented on the final maps. Therefore, the combination of geotechnical studies, precise data research, application of GIS and the interpolation techniques were vital for generating clear and informative visual representations of the relevant parameters for civil construction on the area of study in vogue.

Keywords: Geographic Information System (GIS). Standard Penetration Test (SPT). Geotechnical mapping. Macapá-AP

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - APLICABILIDADE E USO DE ENSAIOS <i>IN SITU</i>	13
FIGURA 2 - PROCEDIMENTO PARA OBTENÇÃO DO N_{SPT}	14
FIGURA 3 – MODELO DE BOLETIM INDIVIDUAL DE SONDAGEM.....	15
FIGURA 4 - CARTA GEOTÉCNICA DE CUBATÃO - SP.....	17
FIGURA 5 - SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.	18
FIGURA 6 - SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES.	18
FIGURA 7 - ESQUEMA DE REPRESENTAÇÃO DE DADOS DE UM SIG.....	19
FIGURA 8 – ARQUITETURA DOS COMPONENTES SIG	20
FIGURA 9 - COMPARATIVO ENTRE REPRESENTAÇÃO VETORIAL E REPRESENTAÇÃO MATRICIAL	20
FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO DE ESTRUTURA DE RASTER.....	21
FIGURA 11 - REPRESENTAÇÃO DE ESTRUTURA VETORIAL.....	22
FIGURA 12 - FLUXOGRAMA DAS ETAPAS E RESPECTIVAS ATIVIDADES DO TRABALHO.....	26
FIGURA 13 - MAPA ALTIMÉTRICO E TOPOGRÁFICO DA REGIÃO CENTRAL DE MACAPÁ.....	27
FIGURA 14 - ÁREA DE ESTUDO.....	27
FIGURA 15 - ÁREA DE ESTUDO COM ALFINETES DELIMITANDO OS PONTOS DAS SONDAGENS.	29
FIGURA 16 - TABELA DE DADOS RELATIVOS AOS FUROS PROVIDOS PELA EMPRESA 1 DENTRO DO ARCGIS	30
FIGURA 17 - RESULTADO DA INTERPOLAÇÃO INICIAL - NÃO CONTEMPLANDO TODA ÁREA DE ESTUDO	31
FIGURA 18 – ANÁLISE DO NÍVEL D’ÁGUA – COTA INICIAL.	33
FIGURA 19 - ANÁLISE DO NÍVEL D’ÁGUA – COTA INICIAL.....	34
FIGURA 20 - TABELA A.1 - NBR 6484/2020.....	35
FIGURA 21 - COTA DO IMPENETRÁVEL A PERCUSSÃO, EM METROS (M).....	36
FIGURA 22 – NSPT, COTA 01 M.	37
FIGURA 23 - NSPT, COTA 02 M.....	39
FIGURA 24 - NSPT, COTA 03 M.....	40
FIGURA 25 - NSPT, COTA 04 M.	41
FIGURA 26 - NSPT, COTA 05 M.	42
FIGURA 27 - NSPT, COTA 06 M.	43
FIGURA 28 - NSPT, COTA 07 M.	44
FIGURA 29 - NSPT, COTA 08 M.	45
FIGURA 30 - NSPT, COTA 09 M.....	46
FIGURA 31 - NSPT, COTA 10 M.....	47
FIGURA 32 - CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS.	49
FIGURA 33 - TABELA DE IMPORTAÇÃO DE DADOS DE COMPOSIÇÃO DO SOLO PARA O SOFTWARE ARCGIS	49
FIGURA 34 - CARACTERIZAÇÃO DO SOLO, COTA DE 01 M.....	50
FIGURA 35 - CARACTERIZAÇÃO DO SOLO, COTA DE 02 M.	51

FIGURA 36 - CARACTERIZAÇÃO DO SOLO, COTA DE 03 M.	52
FIGURA 37 - CARACTERIZAÇÃO DO SOLO, COTA DE 02 M	53
FIGURA 38 - CARACTERIZAÇÃO DO SOLO, COTA DE 05 M.....	54
FIGURA 39 - CARACTERIZAÇÃO DO SOLO, COTA DE 06 M.....	55
FIGURA 40 - CARACTERIZAÇÃO DO SOLO, COTA DE 07 M.....	56
FIGURA 41- CARACTERIZAÇÃO DO SOLO, COTA DE 08 M.....	57
FIGURA 42 - CARACTERIZAÇÃO DO SOLO, COTA DE 09 M.....	58
FIGURA 43 - CARACTERIZAÇÃO DO SOLO, COTA DE 10 M.....	59

LISTA DE SIGLAS

AP – Amapá.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ASTM – *American Society for Testing and Materials*, órgão estadunidense de normalização.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

IDW – Inverso Ponderado da Distância (acrônimo de *Inverse Distance Weighting*).

IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica

MDT – Modelo Digital de Terreno.

NBR – Norma Brasileira.

SIG – Sistema de Informação Geográfica.

Sirgas 2000 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas.

SP – São Paulo.

SPT – Sondagem a percussão (acrônimo de Standard Penetration Test).

UTM – Universal Transversa de Mercator.

SUMÁRIOS

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVO GERAL	10
1.2	OBJETIVOS ESPÉCIFICOS	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	ENGENHARIA GEOTÉCNICA.....	12
2.2	ENSAIO STANDARD PENETRATION TEST – SPT	13
2.2.1	Procedimento	13
2.2.2	Interpretação dos Resultados.....	15
2.3	FUNDAÇÕES	16
2.4	CARTA GEOTÉCNICA	17
2.5	GEOPROCESSAMENTO.....	19
2.5.1	Sistema De Informação Geográfica.....	19
2.5.2	Estrutura De Dados e Interpolação.....	20
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	25
3.1	IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
3.2	LEVANAMENTO E ANÁLISE DE DADOS	28
3.3	INTERPOLAÇÃO DE DADOS E CRIAÇÃO DE MAPAS	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
4.1	PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO	32
4.2	NÍVEL DO IMPENETRÁVEL	35
4.3	MAPAS DE N_{SPT}	37
4.4	MAPAS DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	48
5	CONCLUSÕES	61
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	64
7	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

A engenharia civil, a ciência por trás de garantir a segurança e o conforto das grandes e pequenas construções, responsável pelos cálculos que irão garantir a integridades dos elementos estruturais que compõe estes. Para um projeto estrutural é necessário ter conhecimento do solo onde se irá construir, dessa forma tornando indispensável uma investigação geotécnica, uma das principais ferramentas utilizadas atualmente é a sondagem SPT (Standard Penetration Test), através da qual será possível obter as informações necessárias a um correto dimensionamento da fundação para aquela construção.

O presente trabalho consiste na criação de mapas geotécnicos objetivando a caracterização geotécnica da parte central da cidade de Macapá, de modo a dar continuidade ao trabalho desenvolvido por SILVA, (2019), através da criação de um novo banco de dados com dados de uma empresa diferente e levando em consideração mais informações para a elaboração de mapas. A principal finalidade da elaboração desses mapas geotécnicos é disponibilizar dados que capacitem o engenheiro a prever potenciais problemas que poderiam resultar em ocorrências geotécnicas indesejadas e servir como auxílio a Prefeitura na questão de uso e ocupação do solo.

Assim, após consolidar todas as informações de solo obtidas dos perfis de sondagem, foi essencial recorrer a um software hospedado em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para gerar superfícies através da interpolação desses dados, culminando na apresentação visual por meio de mapas.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é elaborar mapas, da parte central da cidade de Macapá, a partir da interpolação de dados conhecidos, seguindo a recomendação de SILVA (2019), porém utilizando de outras ferramentas SIG e de diferentes perfis de sondagens, para estimar valores em locais ainda não conhecidos, por meio de um banco de dados criado e lançado em um ambiente SIG, utilizando outras ferramentas das apresentadas por com o intuito de compreender melhor o comportamento do solo na região central de Macapá, auxiliar no planejamento urbano e obras de fundações.

1.2 OBJETIVOS ESPÉCÍFICOS

- Localizar os pontos de sondagens por meio de suas coordenadas geográficas;
- Criar um banco de dados dos atributos característicos do solo obtidos nos perfis de sondagens e aplicá-lo a ferramentas SIG;
- Aplicar a técnica do Inverso da Distância – IDW para estimar valores dos atributos em locais ainda não conhecidos, a partir da interpolação do banco de dados;
- Gerar mapa da profundidade do nível d'água;
- Gerar mapa do nível do impenetrável à percussão;
- Gerar mapa do N_{SPT} característico da região; e
- Gerar mapa de caracterização geológica da região.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma breve revisão bibliográfica dos principais temas envolvidos do no estudo de modo a prover o devido embasamento técnico sobre os conceitos e técnicas utilizados.

2.1 ENGENHARIA GEOTÉCNICA

A Geotecnia é a ciência que estuda o comportamento do solo e das rochas e sua relação com as ações antrópicas, principalmente com obras de engenharia. Segundo Velloso e Lopes (2010, p. 1), o projeto e execução de fundações, a Engenharia de Fundações, requer conhecimentos de Geotecnia e do Cálculo Estrutural, que contempla a análise estrutural e dimensionamento de estruturas em concreto armado e protendido, em aço e em madeira. A Geotecnia abrange a Geologia de Engenharia, a Mecânica dos Solos e a Mecânica das Rochas.

O estudo de investigações geotécnicas é fundamental para o cálculo e dimensionamento de fundações, para isso, é necessário proceder à identificação e categorização das diferentes camadas constituintes do substrato a analisar, bem como a avaliação das suas propriedades. A amostragem ou outros processos para identificar e classificar os solos necessitam testes de campo, "*in loco*". A determinação das propriedades tecnológicas pode, em princípio, ser realizada por testes de laboratório ou por testes de campo. Na prática, no entanto, há uma prevalência quase total de testes "*in loco*", limitando-se a pesquisa laboratorial a alguns casos especiais em solos coesivos.

Segundo Fernando Schnaid e Edgar Odebrecht (SCHNAID & ODEBRECHT, 2012) os autores abordam os ensaios de campos e suas aplicações dentro da engenharia geotécnica, onde é apresentado um quadro resumo, no qual são apresentados os principais ensaios geotécnicos realizados no Brasil e seu índice de eficácia e eficiência para elaboração de um diagnóstico e de estimativa de fidelidade de dados para sua posterior análise e desenvolvimento de cálculos geotécnicos, o quadro é apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Aplicabilidade e uso de ensaios *in situ*

Grupo	Equipamento	Tipo de solo	Perfil	Parâmetros												
				u	ϕ'	S_u	D_r	m_v	c_c	K_0	G_0	σ_h	OCR	σ - ϵ		
Penetrômetro	Dinâmicos	C	B	-	C	C	C	-	-	-	C	-	C	-		
	Mecânicos	B	A/B	-	C	C	B	C	-	-	C	C	C	-		
	Elétricos (CPT)	B	A	-	C	B	A/B	C	-	-	B	B/C	B	-		
	Piezocone (CPTU)	A	A	A	B	B	A/B	B	A/B	B	B	B/C	B	C		
	Sísmicos (SCPT/SCPTU)	A	A	A	B	A/B	A/B	B	A/B	B	A	B	B	B		
	Dilatômetro (DMT)	B	A	C	B	B	C	B	-	-	B	B	B	C		
	Standard Penetration Test (SPT)	A	B	-	C	C	B	-	-	-	C	-	C	-		
	Resistividade	B	B	-	B	C	A	C	-	-	-	-	-	-		
Pressiômetro	Pré-furo (PBP)	B	B	-	C	B	C	B	C	-	B	C	C	C		
	Autoperfurante (SBP)	B	B	A	B	B	B	A	B	A	A/B	B	A/B			
	Cone-pressiômetro (FDP)	B	B	-	C	B	C	C	C	-	A	C	C	C		
Outros	Palheta	B	C	-	-	A	-	-	-	-	-	-	B/C	B		
	Ensaio de placa	C	-	-	C	B	B	B	C	C	A	C	B	B		
	Placa helicoidal	C	C	-	C	B	B	B	C	C	A	C	B	-		
	Permeabilidade	C	-	A	-	-	-	-	B	A	-	-	-	-		
	Ruptura hidráulica	-	-	B	-	-	-	-	C	C	-	B	-	-		
	Sísmicos	C	C	-	-	-	-	-	-	-	A	-	B	-		

Aplicabilidade: A = alta; B = moderada; C = baixa; - = inexistente

Definição de parâmetros: u = poropressão *in situ*; ϕ' = ângulo de atrito efetivo; S_u = resistência ao cisalhamento não drenada; D_r = densidade relativa; m_v = módulo de variação volumétrica; c_c = coeficiente de consolidação; K_0 = coeficiente de empuxo no repouso; G_0 = módulo cisalhante a pequenas deformações; σ_h = tensão horizontal; OCR = razão de pré-adensamento; σ - ϵ = relação tensão-deformação.

Fonte: Lunne, Robertson e Powell (1997).

Fonte: SCHNAID & ODEBRECHT (2012)

2.2 ENSAIO STANDARD PENETRATION TEST – SPT

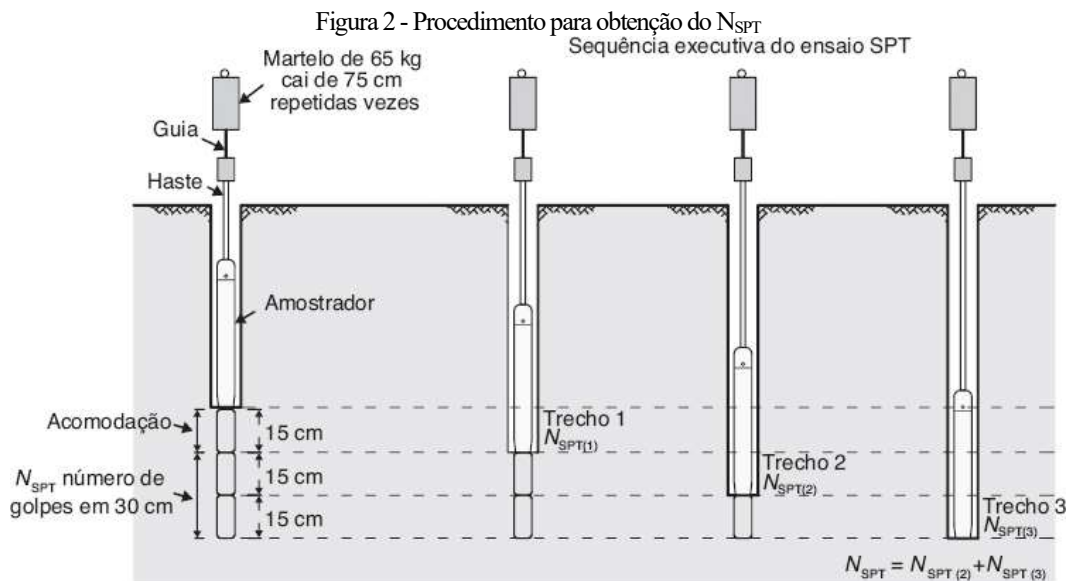
Dentro dos ensaios de campos o mais conhecido, economicamente viável e usado no mundo é o Teste de Penetração Padrão ou em inglês, *Standard Penetration Test* - SPT. O ensaio SPT é padronizado pela norma ABNT NBR 6484:2020 e consiste na coleta do número de golpes para 3 camadas de 15 cm, nos itens 2.2.1 e 2.2.2 contém de forma mais aprofundada os equipamentos necessários para o ensaio e as instruções para realização dele.

O ensaio de SPT obtém os valores de resistência do solo a percussão, denominados de N_{SPT} que representam o número de golpes que o martelo de 65 kg de massa precisa realizar para cravar os 30 cm finais da camada de solo. Através de valor é possível estimar a capacidade de resistência do solo

2.2.1 Procedimento

A primeira tentativa de padronizar o ensaio foi a norma norte-americana D1586-58T, de 1958, da *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Sua publicação definitiva data de 1967 com a numeração D1586-67. No Brasil a adaptação se deu através da norma ABNT NBR 6484:1997, que passou por uma revisão recente em 2020, de modo a garantir que em todo o território nacional o ensaio obtenha o mesmo nível de confiabilidade e segurança. A

Figura 2 ilustra o procedimento do furo de SPT e a obtenção do N_{SPT} , que é o valor utilizado por projetistas na estimativa de capacidade de carga.



Fonte: De ALBUQUERQUE & GARCIA, 2020.

A execução do ensaio a percussão – SPT é padronizado por norma, conforme disposto na NBR 6484:2020. De maneira resumida pode-se descrever o procedimento de sondagem da seguinte forma: 1) Primeiro é realizada a marcação do local do furo; 2) Depois é realizada a montagem do tripé de sustentação; 3) Depois disso é iniciada a escavação do primeiro metro com auxílio de um trado, que pode ser manual ou mecânico; 4) Após a abertura do primeiro metro é colocado o amostrador padrão que irá avançar 55 cm, após isso será anotado o número de golpes necessários para a cravação dos 45 cm subsequentes, divididos em trechos de 15 cm; 5) Os valores dos números de golpes para os 15 cm iniciais são desconsiderados para o N_{SPT} sendo usado apenas os 30 cm finais; 6) Após isso se repete o processo até que seja alcançado o critério de paralisação definido pelo contratante ou se atinja algum dos critérios definidos em norma.

Os critérios de paralisação foram atualizados na versão de 2020 da norma, passando a ser um dos seguintes itens:

- De acordo com as necessidades do contratante;
- De acordo com um dos critérios apresentados a seguir (retirados da norma):
 - avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham sido obtidos 10 m de resultados consecutivos indicando N iguais ou superiores a 25 golpes;
 - avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham sido obtidos 8 m de resultados consecutivos indicando N iguais ou superiores a 30 golpes;

- avanço da sondagem até a profundidade na qual tenham sido obtidos 6 m de resultados consecutivos indicando N iguais ou superiores a 35 golpes.
- Em casos cujo necessidade de perfuração por circulação de água forem necessários, deve ser paralisado quando obtiver avanço inferior a 50 mm em um período de 10 min.

2.2.2 Interpretação dos Resultados

A análise dos dados obtidos por meio do ensaio de SPT é obtida através de relatórios que indicam camadas de 1m com o número de golpes que foram necessários para contabilizar cada faixa dos últimos 30 cm, divididos em dois grupos de 15 cm, conforme a imagem apresentada pela Figura 3.

Figura 3 – Modelo de Boletim Individual de Sondagem

BOLETIM INDIVIDUAL DE SONDAEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO À PERCUSSÃO (S.P.T.)									
NBR - 06484/2020									
INTERESSADO: LACOM PARTICIPAÇÕES LTDA						DATA INÍCIO: 07/10/2022			
CIDADE/ESTADO: Laranjal do Jari – AP						DATA FINAL: 07/10/2022			
LOCAL: Rua do Progresso N° 1076, CEP. 68.920-000									
FURO N° SP-01									
COTA EM RELAÇÃO AO RN DO FURO (M)	AVANÇO	ÍNDICES DE PENETRAÇÃO	N _{SPT}	N.A	Nº Golpes: Iniciais: 1.ª + 2.ª = Linha tracejada - vermelha Finais: 2.ª + 3.ª = Linha cheia azul	ALTERAÇÕES DE CAMADAS	AMOSTRA	CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO	
								- AMOSTRADOR Ø INT. =	35 mm
GRÁFICO									
NSPT									
0	TC	N.º de golpes	2.ª + 3.ª						
1	P	8 /15	N.º de golpes						
	CA	8 /15	Inicial	14					
		9 /15	Final	17					
2	P	7 /15							
	CA	9 /15	Inicial	16					
		10 /15	Final	19					
3	P	8 /15							
	CA	10 /15	Inicial	18					
		10 /15	Final	20					
4	P	10 /15							
	CA	11 /15	Inicial	21					
		13 /15	Final	24					
5	P	12 /15							
	CA	15 /15	Inicial	27					
		18 /15	Final	33					
6	P	14 /15							
	CA	14 /15	Inicial	30					
		14 /15	Final	33					
CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL									
						1,51		1	Aterro silte arenoso com pedregulho de cor variegada Medianamente Compacto
						2,83		2	Silte arenoso argiloso com pedregulho de cor variegada Compacto
						4,95		3	Areia fina Siltosa com pedregulho de cor variegada, Compacta
								4	Idem.
								5	Argila silto arenosa com pedregulho de cor variegada, Dura
								6	Idem.

Fonte: Acervo pessoal, 2022.

A classificação dos solos varia de acordo com o tipo de solo obtido pela caracterização tátil-visual efetuada pelo sondador, profissional responsável pela realização do ensaio SPT, que pode classificá-lo dentro dos seguintes grupos:

- Areias e siltes arenosos;
- Argilas e siltes argilosos.

Esses solos ainda podem ser subdividido de acordo com o número de golpes obtidos no ensaio, o N_{SPT} .

Para determinar a resistências dos solos e prosseguir no processo de cálculo da engenharia de fundações, existem diversas equações que podem ser adotadas, para o presente trabalho foi adotada a seguinte:

$$\sigma_{ADM} = \sqrt{N} - 1 \quad (\text{TERZAGHI})$$

Contudo a equação não considera as variações na composição dos solos, o que pode induzir a erros na hora do cálculo de fundações, a tabela 01 dispõe valores mais adequados aos diversos tipos de solos que podem ser encontrados

Tabela 1 – Valores de resistência do solo

TIPO DE SOLO	NÚMERO DE GOLPES (SPT)	TAXA DO SOLO (kgf/cm ²)
Areia e Silte	0 a 4	0 a 1
	5 a 8	1 a 2
	9 a 18	2 a 3
	19 a 40	≥ 4
Argila	0 a 2	0 a 0,25
	3 a 5	0,5 a 1
	6 a 10	1,5 a 3
	11 a 19	3 a 5
	≥ 19	≥ 4

Fonte: Adaptado de Fundações: Guia prático de projeto, execução e dimensionamento, REBELLO. (2008).

2.3 FUNDAÇÕES

Fundação é o elemento estrutural cuja função é a transmissão e distribuição de esforços oriundos da superestrutura para a cama de solo onde ela se encontra, de modo a garantir a segurança de toda a estrutura.

Para a Engenharia Civil é comum subdividir o estudo e a aplicação das fundações em duas grandes áreas, cuja escolha varia principalmente com a capacidade de resistência do solo onde se planeja instalar aquela edificação, as fundações superficiais e as fundações profundas.

As fundações superficiais (ou rasas) são caracterizadas como “elemento de fundação cuja base está assentada em profundidade inferior a duas vezes a menor dimensão da fundação, recebendo aí as tensões distribuídas que equilibram a carga aplicada” (ABNT NBR 6122:2019). São comumente usadas em situações nas quais os esforços oriundos da superestrutura não são tão expressivos somados a um solo que apresenta boas características de resistência.

Neste grupo encontram-se as fundações também conhecidas como diretas, as sapatas e os blocos de fundação.

As fundações profundas são caracterizadas como “elemento de fundação que transmite a carga ao terreno ou pela base (resistência de ponta) ou por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas.” (ABNT NBR 6122:2019).

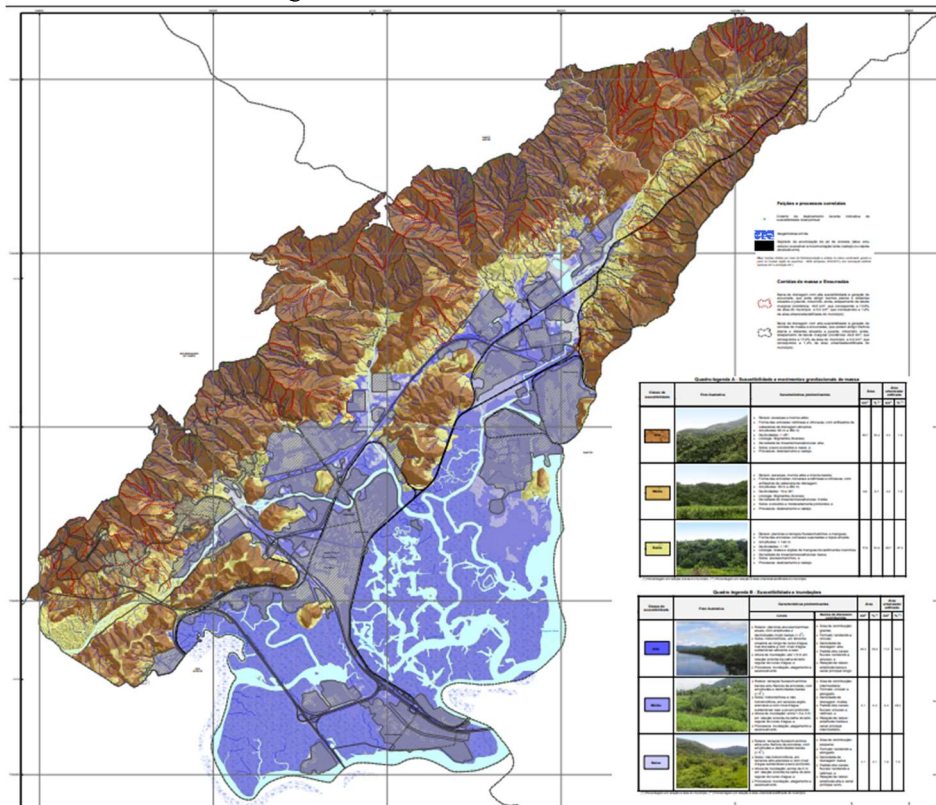
Já neste grupo é possível encontrar as fundações chamadas de indiretas, como os tubulões e as estacas.

2.4 CARTA GEOTÉCNICA

Cartas Geotécnicas são ferramentas fundamentais no desenvolvimento e gerenciamento de cidades, uma vez que são um ótimo meio de apresentar determinadas informações. Para Santos (2015) a Carta Geotécnica é um instrumento básico de planejamento urbano, de cunho preventivo, predecessor dos Planos Diretores e de suas legislações de uso do solo correlatas, por meio dela é possível mapear fenômenos geotécnicos e hidrológicos que interfiram com a ocupação pretendida, por exemplo, deslizamentos, enchentes, erosões, abatimentos de terreno, solapamentos de margens etc.

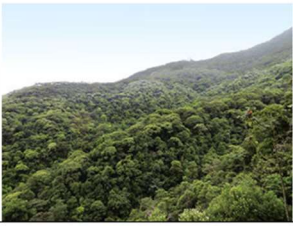


A figura 4 apresenta um exemplo de carta geotécnica do município de Cubatão – SP, nela é possível observar as indicações de suscetibilidade a dois tipos de fenômenos deslizamentos de massas e inundações, conforme a legada apresentada nas figura 5 e 6.

Figura 4 - Carta Geotécnica de Cubatão - SP



Fonte: Instituto de Pesquisa Tecnológica, 2015




Figura 5 - Suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa.

Classe de suscetibilidade	Foto ilustrativa	Características predominantes	Área		Área urbanizada/edificada	
			km ²	% (*)	km ²	% (**)
Alta		<ul style="list-style-type: none"> Relevo: escarpas e morros altos; Forma das encostas: retilíneas e côncavas, com anfiteatros de cabeceiras de drenagem abruptos; Amplitudes: 60 m a 350 m; Declividades: > 25°; Litologia: Migmatitos diversos; Densidade de lineamentos/estruturas: alta; Solos: pouco evoluídos e rasos; e Processos: deslizamento e rastejo. 	56,7	39,4	0,3	1,5
Média		<ul style="list-style-type: none"> Relevo: escarpas, morros altos e morros baixos; Forma das encostas: convexas a retilíneas e côncavas, com anfiteatros de cabeceira de drenagem; Amplitudes: 50 m a 250 m; Declividades: 10 a 30°; Litologia: Migmatitos diversos; Densidade de lineamentos/estruturas: média; Solos: evoluídos e moderadamente profundos; e Processos: deslizamento e rastejo. 	9,6	6,7	0,2	1,0
Baixa		<ul style="list-style-type: none"> Relevo: planícies e terraços fluviais/marinhos e mangues; Forma das encostas: convexas suavizadas e topos amplos; Amplitudes: < 140 m; Declividades: < 15°; Litologia: Areias e argilas de mangues de sedimentos marinhos; Densidade de lineamentos/estruturas: baixa; Solos: aluviais/marinhos; e Processos: deslizamento e rastejo. 	77,6	53,9	20,7	97,5

(*) Porcentagem em relação à área do município. (**) Porcentagem em relação à área urbanizada/edificada do município.

Fonte: Instituto de Pesquisa Tecnológica, 2015

Figura 6 - Suscetibilidade a inundações.

Classe de suscetibilidade	Foto ilustrativa	Características predominantes		Área		Área urbanizada/edificada	
		Locais	Bacias de drenagem contribuintes	km ²	% (*)	km ²	% (**)
Alta		<ul style="list-style-type: none"> Relevo: planícies aluviais/marinhas atuais, com amplitudes e declividades muito baixas (< 2°); Solos: hidromórficos, em terrenos situados ao longo de curso d'água, mal drenados e com nível d'água subterrâneo aflorante a raso; Altura de inundação: até 1,5 m em relação à borda da calha do leito regular do curso d'água; e Processos: inundação, alagamento e assoreamento. 	<ul style="list-style-type: none"> Área de contribuição: grande; Formato: tendendo a circular; Densidade de drenagem: alta; Padrão dos canais fluviais: tendendo a sinuoso; e Relação de relevo: amplitude baixa e canal principal longo. 	42,3	29,4	11,5	54,2
Média		<ul style="list-style-type: none"> Relevo: terraços fluviais/marinhos baixos e/ou flancos de encostas, com amplitudes e declividades baixas (< 5°); Solos: hidromórficos e não hidromórficos, em terrenos argilo-arenosos e com nível d'água subterrâneo raso a pouco profundo; Altura de inundação: entre 1,5 e 3 m em relação à borda da calha do leito regular do curso d'água; e Processos: inundação, alagamento e assoreamento. 	<ul style="list-style-type: none"> Área de contribuição: intermediária; Formato: circular a alongado; Densidade de drenagem: média; Padrão dos canais fluviais: sinuoso a retilíneo; e Relação de relevo: amplitude média e canal principal intermediário. 	9,1	6,3	6,0	28,3
Baixa		<ul style="list-style-type: none"> Relevo: terraços fluviais/marinhos altos e/ou flancos de encostas, com amplitudes e declividades baixas (< 5°); Solos: não hidromórficos, em terrenos silto-arenosos e com nível d'água subterrâneo pouco profundo; Altura de inundação: acima de 3 m em relação à borda da calha do leito regular do curso d'água; e Processos: inundação, alagamento e assoreamento. 	<ul style="list-style-type: none"> Área de contribuição: pequena; Formato: tendendo a alongado; Densidade de drenagem: baixa; Padrão dos canais fluviais: tendendo a retilíneo; e Relação de relevo: amplitude alta e canal principal curto. 	3,1	2,1	1,6	7,5

(*) Porcentagem em relação à área do município. (**) Porcentagem em relação à área urbanizada/edificada do município.

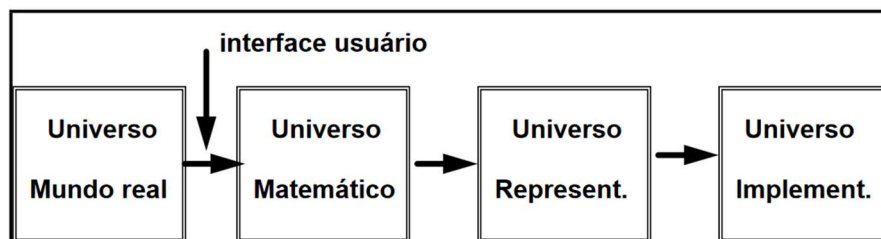
Fonte: Instituto de Pesquisa Tecnológica, 2015

2.5 GEOPROCESSAMENTO

O geoprocessamento, de acordo com Câmara et al. (2004), é uma área multidisciplinar que envolve a combinação de técnicas matemáticas e de informática para o tratamento de informações. Essa área vem influenciando fortemente áreas como cartografia, estatística, geologia, geografia, engenharia, entre outras áreas, no trato de questões relacionadas ao espaço geográfico. Dentre as ferramentas e mecanismos do geoprocessamento, está o Sistema de Informação Geográfica – SIG.

O termo Sistema de Informação Geográfica é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e armazenam a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados e numa projeção cartográfica. Deste modo pode-se dizer que o SIG é uma ferramenta que consegue transpor informações do mundo real para uma representação visual e analítica digital, assim como está representado na Figura 7.

Figura 7 - Esquema de representação de dados de um SIG



Fonte: CÂMARA et al, 2001.

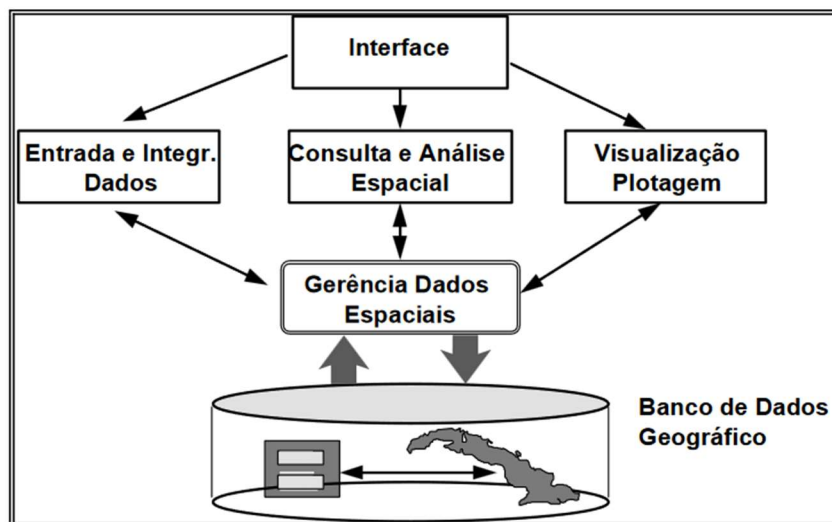
2.5.1 Sistema De Informação Geográfica

Para Rosa, R. (2016), a informação geográfica pode ser considerada como o conjunto de dados cujo significado contém associações ou relações de natureza espacial, dados esses que podem ser apresentados em forma gráfica (pontos, linhas e, áreas/polígonos), numérica e alfanumérica. Assim, um sistema de informação geográfica utiliza uma base de dados computadorizada que contém informação espacial sobre a qual atuam uma série de operadores espaciais.

Um SIG, como já definido anteriormente, é um sistema destinado à entrada, armazenamento, manipulação, análise e visualização de dados geográficos ou espaciais (gráficos e/ou imagens). Esses dados são representados por pontos, linhas e polígonos aos quais são associados atributos, isto é, características das feições que os pontos, linhas e polígonos representam, contudo, esses dados necessitam de tratamento específico para ganharem

trabalhabilidade, a seguir uma imagem que demonstra como esses dados podem ser trabalhados. A Figura 8 apresenta de modo simplificado a arquitetura de um sistema SIG.

Figura 8 – Arquitetura dos componentes SIG



Fonte: CÂMARA et al, 2001.

A disponibilidade de um SIG de baixo custo e com interfaces cada vez mais amigáveis tem contribuído para a popularização e difusão dessa ferramenta, uma vez que tais sistemas permitem a visualização espacial de variáveis, sejam elas uma população de indivíduos, índices de qualidade de vida ou vendas de uma determinada empresa em uma região através do uso de mapas, necessitando apenas de um banco de dados e uma base geográfica para poder elucidar essas informações.

De acordo com Câmara et al. (2001) “a ênfase da Análise Espacial é mensurar propriedades e relacionamentos, levando em conta a localização espacial do fenômeno em estudo de forma explícita.”. Com isso o autor expressa que a ferramenta SIG é uma excelente ajuda para as mais diversas áreas de estudo, uma vez que permite uma clara visualização de vários tipos de dados através de mapas.

2.5.2 Estrutura De Dados e Interpolação

A análise e a interpretação de dados para o processo de georreferenciamento no computador passa por representação e ordenação dessas informações, os tipos mais usuais de organização da estrutura desses dados são conhecidos como estrutura de raster e estrutura vetorial, na Figura 9 é possível observar um breve comparativo entre as duas representações.

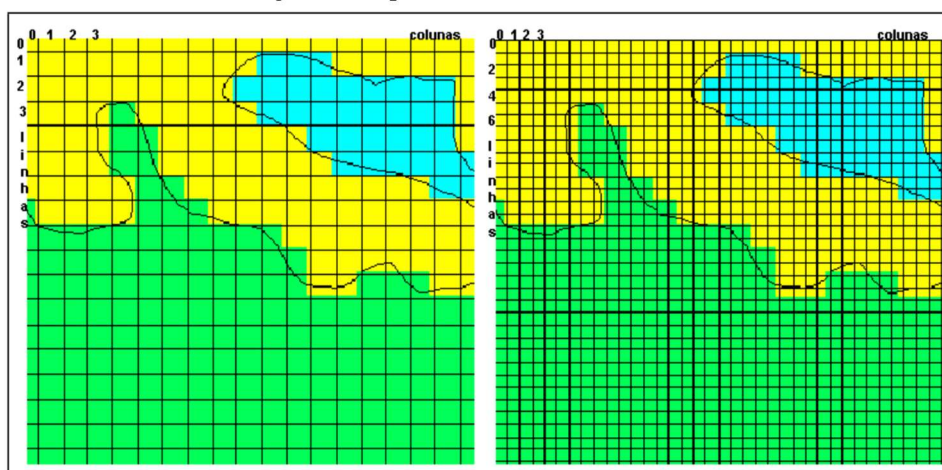
Figura 9 - Comparativo entre Representação Vetorial e Representação matricial

<i>Aspecto</i>	<i>Representação Vetorial</i>	<i>Representação Matricial</i>
Relações espaciais entre objetos	Relacionamentos topológicos entre objetos disponíveis	Relacionamentos espaciais devem ser inferidos
Ligação com banco de dados	Facilita associar atributos a elementos gráficos	Associa atributos apenas a classes do mapa
Análise, Simulação e Modelagem	Representação indireta de fenômenos contínuos Álgebra de mapas é limitada	Representa melhor fenômenos com variação contínua no espaço Simulação e modelagem mais fáceis
Escalas de trabalho	Adequado tanto a grandes quanto a pequenas escalas	Mais adequado para pequenas escalas (1:25.000 e menores)
Algoritmos	Problemas com erros geométricos	Processamento mais rápido e eficiente.
Armazenamento	Por coordenadas (mais eficiente)	Por matrizes

Fonte: Conceitos básicos em ciência da geoinformação, CAMARA, G. 2006.

A estrutura conhecida como *Estrutura de Raster* ou também de Grid, condiciona as informações de maneira semelhante a uma matriz $a_{(i,j)}$, composta de i linhas e j colunas, onde cada célula possui um número de linha, um número de coluna e um valor que será atribuído a ela. A estrutura rasterizada pode ser tratada como superfície cartesiana plana. Dados rasterizados são facilmente manipuláveis computacionalmente, no entanto, requerem grande quantidade de espaço (em disco) para o seu armazenamento. A Figura 8 ilustra um modelo de *Estrutura de Raster*.

Figura 10 - Representação de Estrutura de Raster

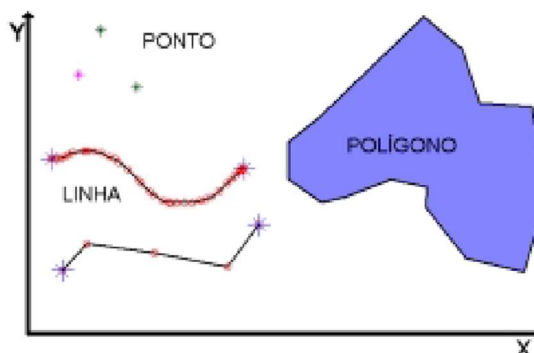


Fonte: Conceitos básicos em ciência da geoinformação, CAMARA, G. 2006

Já a estrutura conhecida como *Estrutura Vetorial*, é representada por uma série de pontos em forma de coordenadas (x, y) para definir os limites do objeto de interesse. O método vetorial assume que as coordenadas dos pontos são matematicamente exatas, somadas ao fato de usarem relações implícitas, permitindo que dados complexos sejam armazenados em menos

espaço no computador, porém demandando mais tempo de processamento para resolução de cálculos. A Figura 9 ilustra um modelo de *Estrutura Vetorial*.

Figura 11 - Representação de Estrutura Vetorial



Fonte: Conceitos básicos em ciência da geoinformação, CAMARA, G. 2006

Softwares como ArcGIS¹ utiliza em seu funcionamento a Estrutura Vetorial, que é apresentada no formato de Shapefile, que nada mais são do que uma forma eficiente e conveniente de armazenar e compartilhar informações geoespaciais vetoriais, permitindo que os usuários visualizem, analisem e compartilhem dados geográficos em uma ampla variedade de aplicativos e plataformas. Os softwares como ArcGIS e QGIS² permitem que os usuários criem mapas interativos, visualizem informações em 3D, realizem análises espaciais e muito mais.

2.5.2.1 INVERSO PONDERADO DA DISTÂNCIA

De acordo com Landim, (2000) o método do inverso ponderado da distância é o mais utilizado dentre os métodos de distância ponderada. Nesse método cada ponto é influenciado diretamente pelo inverso da distância dos pontos adjacentes da malha. Dessa forma pode-se afirmar que o peso dado a um ponto diminui conforme a distância aumenta entre os pontos do grid.

A expressão matemática que traduz esse pensamento é apresentada a seguir na equação (1). “O peso dado durante a interpolação é tal que a influência de um ponto amostrado em relação a outro diminui conforme aumenta a distância ao nó da grade a ser estimado” (LANDIM, p.5, 2000)

¹ <https://www.arcgis.com/index.html>

² https://qgis.org/pt_BR/site/

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{d_i^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^\beta}} \quad (1)$$

Onde:

Z → valor interpolado;

Z_i → valor do i -ésimo ponto vizinho;

h_{ij} → distância entre o nó da grade e Z_i ;

β → expoente de ponderação (peso);

n → número de pontos amostrados utilizados para interpolar nó em questão.

Percebe-se então que o mecanismo de interpolação pelo inverso ponderado da distância não leva em consideração outros fatores que podem influenciar os pesos atribuídos a um ponto, com exceção da distância. O quadro 1 visa mostrar as vantagens e desvantagens apresentados por esse método de interpolação.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens do inverso ponderado da distância.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de entender matematicamente; • Algoritmo bem conhecido e discutido; • Disponível em muitos softwares; • Utiliza pouco tempo de computação; • É razoavelmente fiel aos valores amostrados originais; • Não estima valores de pontos amostrados maiores ou menores que os valores máximos e mínimos dos dados; • Bom para estimativas de espessura, concentração química e propriedades físicas; • Muito bom para analisar variações de pequena amplitude (anomalias) entre os dados irregularmente distribuídos; • Bom estimador para propósitos gerais; • Pode interpolar por setor, onde o usuário pode escolher a quantidade de amostras, por setor, que serão levadas em consideração, em uma determinada estimativa de valor 	<ul style="list-style-type: none"> • Não estima valores maiores ou menores que os valores máximos e mínimos dos dados; • Ruim para estimativas de dados estruturais, isto é, para determinar o topo ou a base de horizontes estratigráficos ou litológicos; • Muito difícil obter a localização precisa de uma determinada isolinha se os valores amostrados não contiverem este valor; • É difícil projetar a curva de altitude zero se os dados não contiverem zero ou valores negativos; • Influência de valores locais anômalos é dificilmente removida; • Dados dispostos em conjuntos de semelhantes podem influenciar as estimativas de modo bastante tendencioso; • Cria muitas observações ilusórias devido às limitações do método de interpolação, o que pode ser reduzido ou eliminado se o raio de busca for reduzido, se a tendência for removida previamente ou se ocorrer mudanças no expoente utilizando, no tamanho da grade, no número de pontos utilizados e ponderação direcional
Quando usar	Quando não usar
<ul style="list-style-type: none"> • Estimativas de propósito gerais; • Distribuição uniforme de dados; • Para destacar anomalias locais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dados agrupados; • Tendência pronunciada presente; • Dados com falhas e distribuídos de forma esparsa; • Não quiser imperfeições no modelo

Fonte: Adaptado de Landim, 2000.

2.5.2.2 KRIGAGEM

A *Krigagem* é um método de estimação geoestatística, de acordo com Soares, 2006 “é a denominação sugerida por Matheron em homenagem aos trabalhos pioneiros de Daniel Krige, ao introduzir o uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas em mineração.” (apud, EMBRAPA, p.57, 2015).

A diferença entre a *Krigagem* e outros métodos de interpolação é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras. No caso de interpolação linear simples, por exemplo, os pesos são todos iguais a $1/N$ (N = número de amostras); na interpolação baseada no inverso do quadrado das distâncias, os pesos são definidos como o inverso do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores observados. Na *Krigagem*, o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, exceto que aqui os pesos são determinados a partir de uma análise espacial, baseada no semivariograma experimental. Além disso, a *Krigagem* fornece, em média, estimativas não tendenciosas e com variância mínimas. (SOARES, pg.53-54, 2011 apud CAMARGO, 1997.)

Dessa forma, Soares (2016) afirma que para verificar a continuidade espacial e identificar os parâmetros os quais caracterizam o comportamento regionalizado, faz-se necessária uma análise variográfica. Landim e Sturaro (2002) destacam que tal análise de estimação ocorre por médias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, enquanto considerados como interdependentes por uma função denominada variograma. Esse processo é apresentado na equação 2:

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

Em que:

$\gamma(h)$ = variância experimental;

$Z(x_i)$ = valor da variável medida na posição x_i ;

$Z(x_i+h)$ = v valor da variável medida na posição $x(i+h)$

h = distância que separa as duas amostras (m);

i = posição das amostras;

n = número de pares de dados para a distância de separação (h).

De acordo com Landim e Sturaro (2002), o termo mais adequado seria semivariograma, uma vez que o somatório das diferenças ao quadrado é dividido por duas vezes o número de pares analisados. Embora possua vantagens na aplicação da *Krigagem*, Landim (2000) apresenta um quadro que demonstra as vantagens, desvantagens e situações em que é recomendado seu uso, conforme apresentado no quadro 2.

Quadro 2 - Vantagens e desvantagens da *Krigagem*.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Valores estimados baseiam-se no variograma; se for apropriado, fornece as seguintes informações: <ul style="list-style-type: none"> • Parâmetros adequados de amostragem: número de amostras, distribuição e densidade; • Parâmetros adequados de busca: tamanho da área de busca, forma (circular ou elipsóide) e, se elipsóide, orientação do eixo principal; • Parâmetros adequados da grade: tamanho das células, forma e orientação; • Natureza da distribuição espacial da variável investigada: uniformidade da distribuição, importância relativa da influência espacial x casual; • Previsibilidade da variação espacial da variável avaliada. • Se o variograma for apropriado controla a krigagem, com as seguintes vantagens: <ul style="list-style-type: none"> • Evita ponderação arbitrária dos pontos amostrados; • Permite a determinação das melhores estimativas sem tendenciosidade: o melhor estimador é aquele que produz a melhor precisão (menor variância); • Permite o estabelecimento de limites de confiança, indicando se os resultados são aceitáveis e se a estratégia de amostragem deve ser modificada; 	<ul style="list-style-type: none"> • O usuário pode não compreender o uso dos controles matemáticos e apesar disto resultados são sempre obtidos. • É necessário tempo para preparo do variograma e entendimento de geoestatística. • Pode não ser possível a construção de um variograma adequado devido à natureza da variação espacial da variável analisada. Isto pode ocorrer devido à magnitude da amostragem e por erros analíticos. • Requer longo tempo de computação para grupos de dados grandes ou complexos. • Necessidade de software capacitado.
<ul style="list-style-type: none"> • Precisão, contornos suaves, artefatos indesejáveis raros a não ser nas bordas do mapa. • Interpolador exato: os valores estimados para os nós das células é exatamente igual ao valor amostrado naquela posição. • Estima além dos limites máximo e mínimo dos valores dos pontos amostrados. • Modela tanto tendências regionais quanto anomalias locais. • Calcula variâncias dos pontos estimados (erros), que podem ser utilizadas para: <ul style="list-style-type: none"> • Quantificar um intervalo de valores (\pm) para os pontos estimados, definindo estimativas realistas; • Calcular intervalos de confiança para verificar a probabilidade dos valores ocorrerem dentro de um intervalo de ± 2 unidades de desvio padrão da média; variâncias mapeadas podem indicar locais para adensamento da amostragem. 	
Quando usar	Quando não usar
<ul style="list-style-type: none"> • Estiverem presentes tanto tendências regionais quanto anomalias locais. • Anomalia local não presente em toda a área, por ex. em ambiente fluvial. • Quiser estimar com base em uma média global. • Tiver dados irregularmente amostrados ou agrupados (clustered). 	<ul style="list-style-type: none"> • Menos de 30 pontos amostrados: número insuficiente de pares para modelar o variograma. • Valores discrepantes de Z: removê-los antecipadamente. • Erro grande e inexplicado (efeito pepita pronunciado)*. • Amostras de populações Diversas

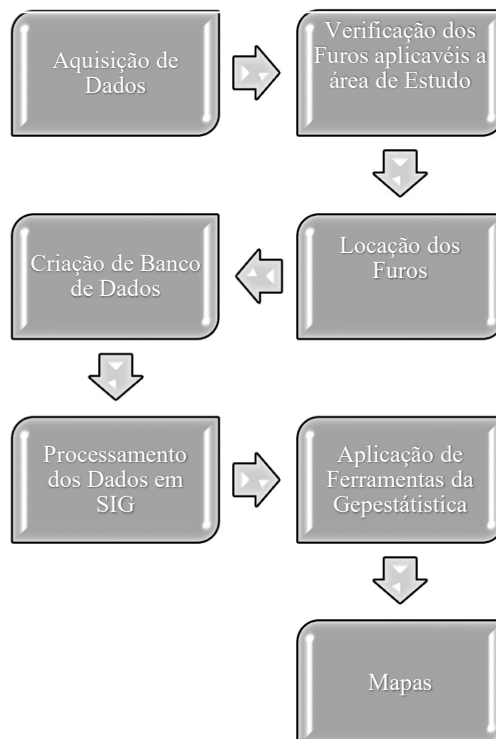
Fonte: Adaptado de Landim, 2000.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta sessão serão descritas as etapas, métodos e ferramentas que foram utilizadas durante a execução do presente trabalho. Mais especificamente, no procedimento para levantamento, tratamento e confecção dos mapas, que serão apresentados em um SIG a partir dos dados obtidos das sondagens. Os dados por sua vez foram disponibilizados por uma empresa prestadora de serviços na área de investigação geotécnica e projetos de fundações e estruturas, identificada no trabalho como Empresa 2.

Todo o procedimento, desde a aquisição dos dados até a representação dos mapas finais, pode ser visualizado no fluxograma da Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma das etapas e respectivas atividades do trabalho

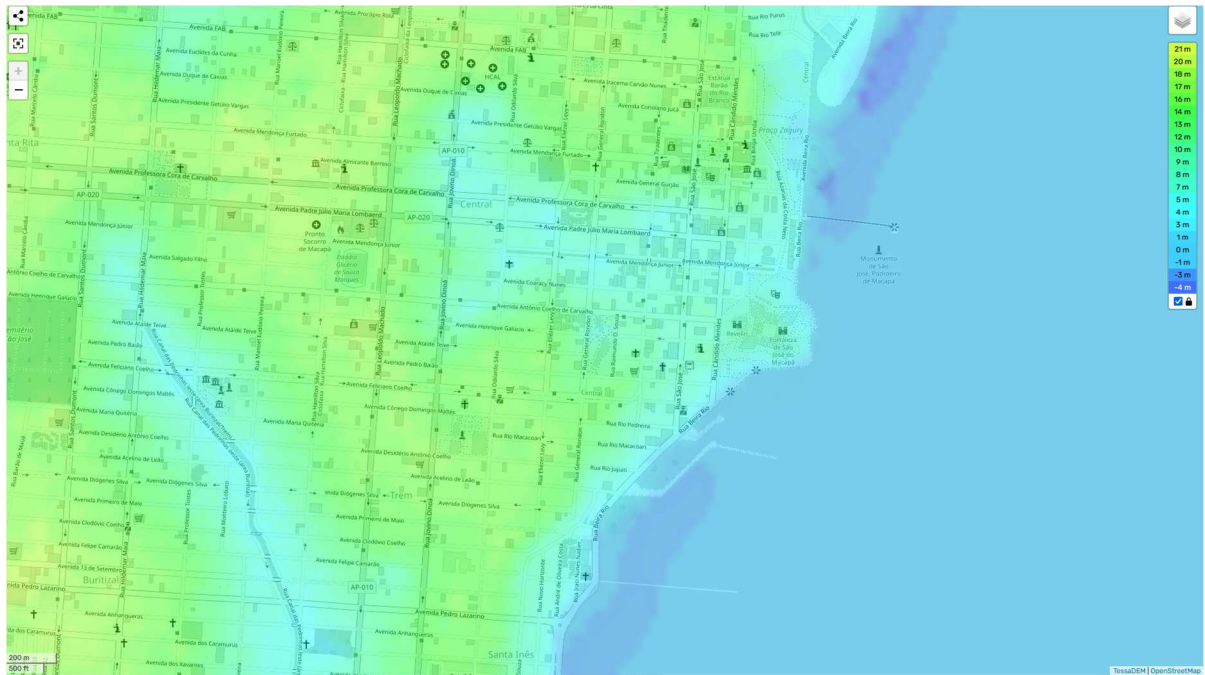


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

3.1 IDENTIFICAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo adotada no presente trabalho é a mesma utilizada por Silva (2019) em seu trabalho. Adotamos a região central de Macapá, visando aprofundar os estudos na área, devido a se tratar de uma região densamente habitada e com regiões de relevo sinuoso, chegando a apresentar uma diferença de até 10 m de altura, como é possível observar na Figura 13.

Figura 13 - Mapa Altimétrico e Topográfico da região central de Macapá.



Fonte: topographic-map.com

A região contemplada para a elaboração do presente estudo possui uma área total de 4,9 km², tendo início na Avenida Iracema Carvão Nunes, descendo pela Rua Hidelmar Maia, retorna para a frente da cidade pela Avenida dos Caramurus e contorna a parte da orla com o Rio Amazonas, como é possível observar na Figura 14.

Figura 14 - Área de Estudo.



Fonte: Google Earth - elaborado pelo autor, 2023.

3.2 LEVANAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Os dados utilizados durante o trabalho foram disponibilizados pela empresa ARQPLAN GEOSOLO LTDA – ME, identificada aqui como Empresa 1. Conforme sugerido no final do trabalho de Silva (2019), como alternativa de continuidade do estudo da região central de Macapá, foi solicitado de uma nova empresa, dados de sondagens SPT que contemplassem a área de estudo. O acervo disponibilizado pela empresa, contemplavam 17 lotes os quais contem ao todo 31 sondagens distribuídas na área central de Macapá.

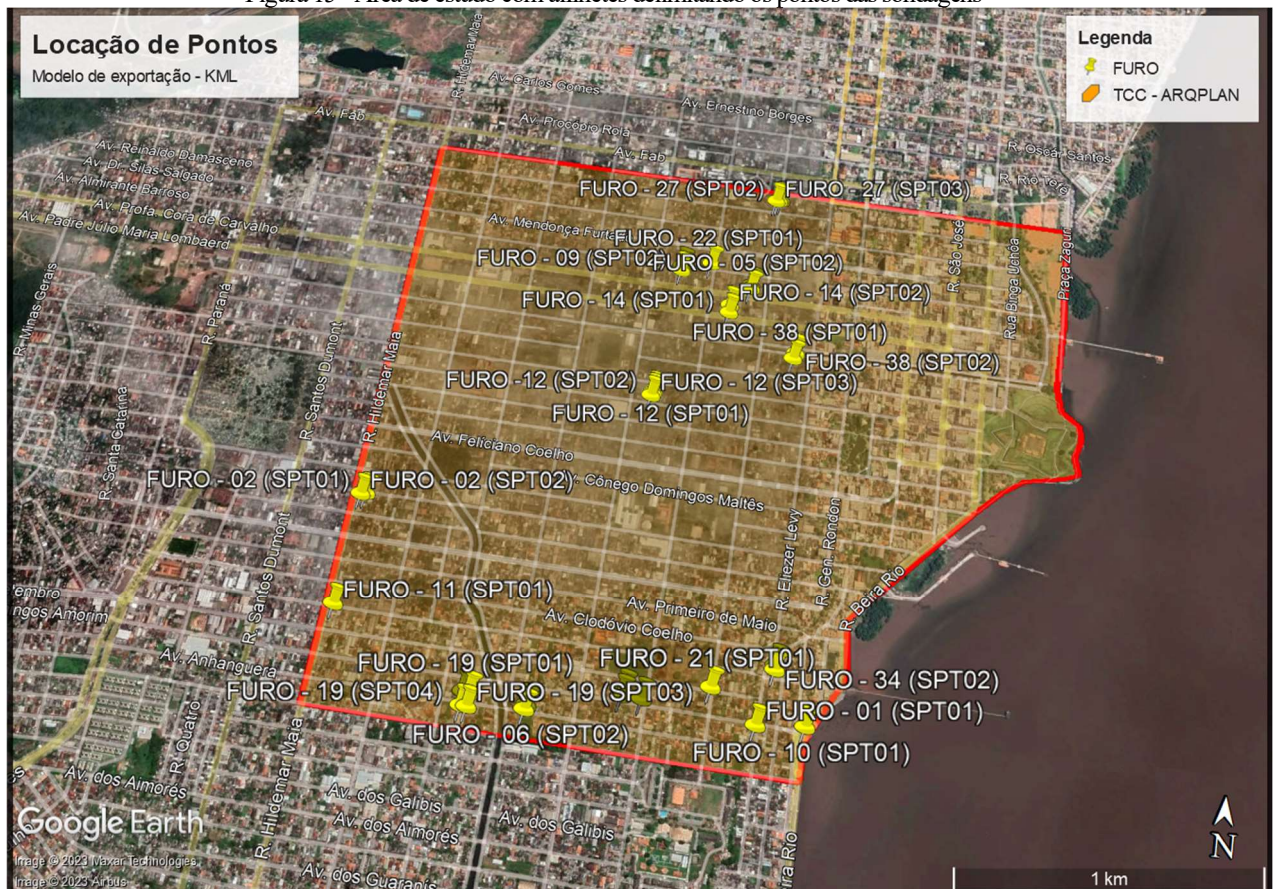
No material repassado pela Empresa 1 os arquivos referentes as sondagens foram disponibilizadas em formato PDF, necessitando dessa forma de um tratamento especial para que fosse possível elaborar o banco de dados geotécnicos, elemento que seria posteriormente usado na ferramenta SIG para a criação dos mapas, que comporão os resultados deste trabalho.

3.3 INTERPOLAÇÃO DE DADOS E CRIAÇÃO DE MAPAS

Como maneira de dar continuidade no estudo de Silva (2019), foi realizada uma nova pesquisa com empresa prestadoras de serviços de sondagem afim de elaborar novos mapas e refazer uma análise sobre uma nova ótica de interpolação e averiguando se ocorreriam diferenças nos resultados de acordo com o período no qual foi elabora a sondagem, uma vez que os níveis de água da cidade são alterados pelas marés e pelas estações.

O primeiro passo para a criação do banco de dados foi a definição dos pontos que constam nos relatórios através do Google Earth para a criação de um arquivo KML com os pontos já delimitados, como na imagem apresentada pela Figura 13.

Figura 15 - Área de estudo com alfinetes delimitando os pontos das sondagens



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Após essa etapa, deu-se início a criação do banco de dados geográficos dentro do software ArcGis 10.8, com a importação do arquivo KML e a criação de um arquivo do tipo *Shapefile*. Com o arquivo *Shapefile* contendo as informações dos pontos em forma de coordenadas UTM Sirgas 2000 (x, y), foi possível partir para a elaboração de uma tabela de conteúdo dentro do ArcGIS, contendo além das coordenadas, informações quantitativas como o número de golpes em cada camada ou as cotas onde se encontravam o nível do impenetrável a percussão, além dos níveis d'água inicial e final, conforme a imagem apresentada na Figura 14.

Figura 16 - Tabela de dados relativos aos furos providos pela Empresa 1 dentro do ArcGis

NOME	COTA	N A	INI	N A	FI	NSPT 01 m	NSPT 02 m	NSPT 03 m	NSPT 04 m	NSPT 05 m	NSPT 06 m	NSPT 07 m	NSPT 08 m
FURO - 01 (SPT01)	0	3,1	2,9			6	4	5	10	16	31	0	0
FURO - 02 (SPT01)	0	3,4	2,9			3	5	8	9	9	17	28	48
FURO - 02 (SPT02)	0	20	20			5	10	12	12	25	34	0	0
FURO - 06 (SPT01)	0	0,87	0,34			2	1	1	8	30	35	40	0
FURO - 09 (SPT01)	0	20	20			6	17	18	16	21	30	48	70
FURO - 11 (SPT01)	0	20	20			2	3	15	12	11	18	31	36
FURO - 12 (SPT03)	0	6,8	6			3	23	12	18	16	27	40	42
FURO - 14 (SPT01)	0	2,73	2,01			5	6	5	8	15	27	42	53
FURO - 18 (SPT01)	0	20	20			2	5	15	20	26	50	0	0
FURO - 19 (SPT01)	0	1,43	0,67			5	2	1	2	12	19	39	52
FURO - 19 (SPT04)	0	0,83	0,76			2	1	4	12	26	56	0	0
FURO - 19 (SPT03)	0	0,9	0,81			2	1	5	9	10	26	50	0
FURO - 22 (SPT01)	0	20	20			13	20	21	27	32	37	42	0
FURO - 31 (SPT02)	0	3,2	3,1			8	10	12	20	26	39	53	0
FURO - 06 (SPT02)	0	1	0,42			2	1	1	4	11	15	27	33
FURO - 05 (SPT02)	0	0,4	0,35			4	5	2	2	2	3	2	2
FURO - 05 (SPT01)	0	0,6	0,5			4	7	4	2	2	3	3	2
FURO - 10 (SPT01)	0	4	3,1			14	6	5	10	18	19	14	16
FURO - 12 (SPT01)	0	7,6	7,3			2	8	8	10	14	30	39	42
FURO - 12 (SPT02)	0	7	6,5			3	21	12	13	20	16	26	40
FURO - 27 (SPT01)	0	0,8	0,6			4	3	2	4	6	12	24	39
FURO - 27 (SPT02)	0	0,4	0,2			2	4	3	1	1	5	13	20
FURO - 27 (SPT03)	0	0,1	0,2			4	2	1	1	1	1	14	19
FURO - 19 (SPT02)	0	1,8	0,71			6	1	1	1	2	6	23	37
FURO - 31 (SPT01)	0	3,2	3,1			6	4	12	9	29	41	38	47
FURO - 38 (SPT01)	0	0,6	0,5			2	2	2	4	5	14	20	30
FURO - 38 (SPT02)	0	0,5	0,4			2	2	4	7	18	19	26	33
FURO - 09 (SPT02)	0	20	20			19	15	18	16	16	24	37	51
FURO - 14 (SPT02)	0	2,49	1,5			4	4	2	1	2	2	2	2
FURO - 21 (SPT01)	0	20	6,1			6	10	12	16	18	19	16	20
FURO - 34 (SPT01)	0	1,04	0,25			3	2	4	12	14	18	21	31
FURO - 34 (SPT02)	0	0,97	0,16			2	2	3	19	14	28	35	39

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

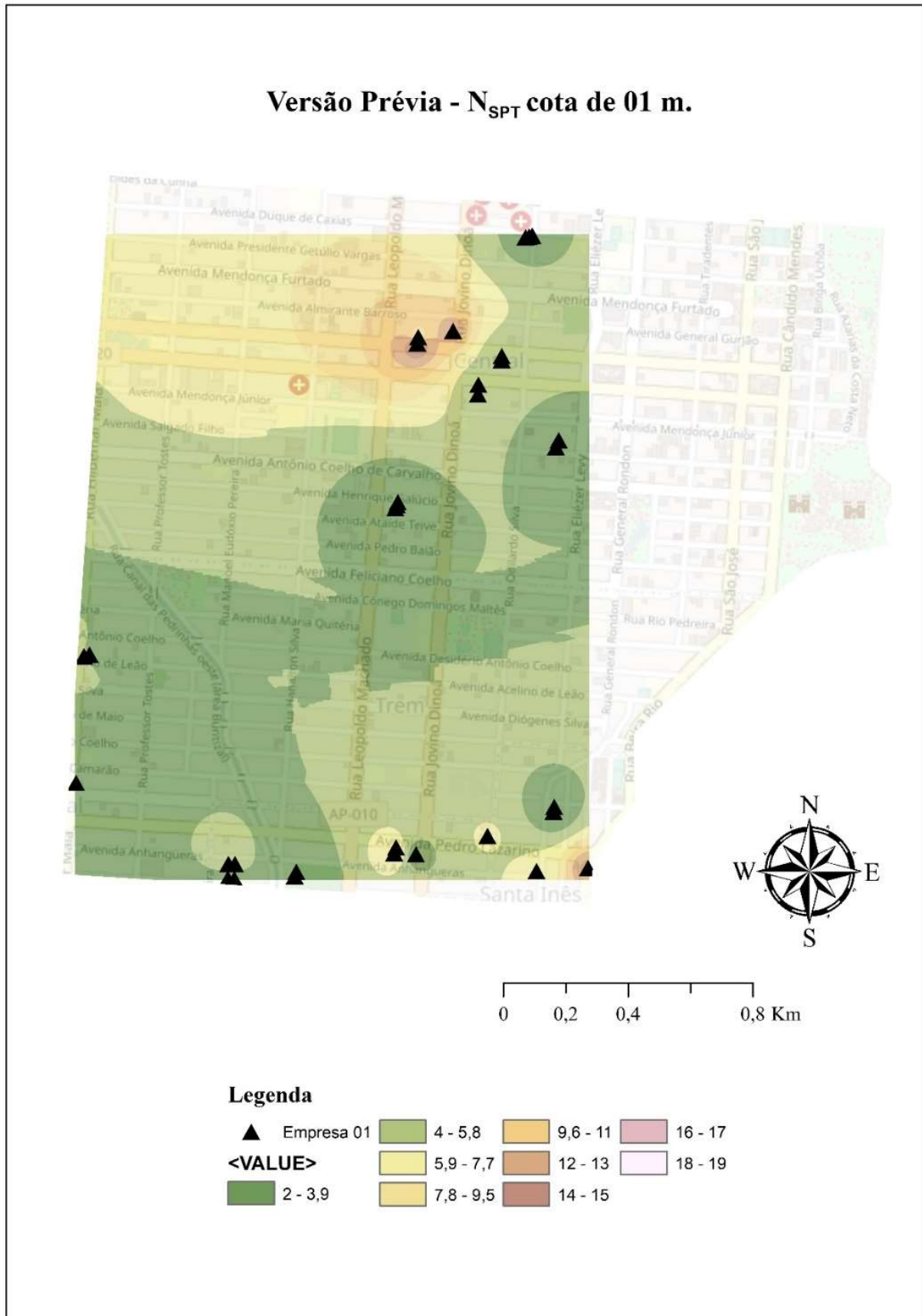
Com a tabela pronta dentro do arquivo dentro do software, partiu-se então para interpolação de dados, primeiro foi verificada a possibilidade de se usar a *Krigagem*, porém conforme Landim (2000), quando a quantidade de pontos for inferior a 30 e não formar o número de pares necessários os resultados podem ser insatisfatórios, foi-se experimentado pelo software ArcGis e o resultado apresentou linha muito abruptas, dessa forma foi adotada então o inverso ponderado da distância, para tanto foi utilizado a seguinte linha de comandos:

ArcToolbox → *Spatial Analyst Tools* → *Interpolation* → *IDW*

Através desses comandos foi realizada a elaboração dos primeiros esboços de mapas, contudo a versão definitiva também contou com mais uma etapa: a extensão da interpolação. Isso se dá devido à ausência de pontos nas extremidades da área de interpolação, conforme é possível observar na Figura 17.

Após a realização da extensão na interpolação IDW os mapas chegaram a suas versões finais dessa forma permitindo o avanço do trabalho para sua fase final: resultados e análise de dados.

Figura 17 - Resultado da interpolação inicial - não contemplando toda área de estudo



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

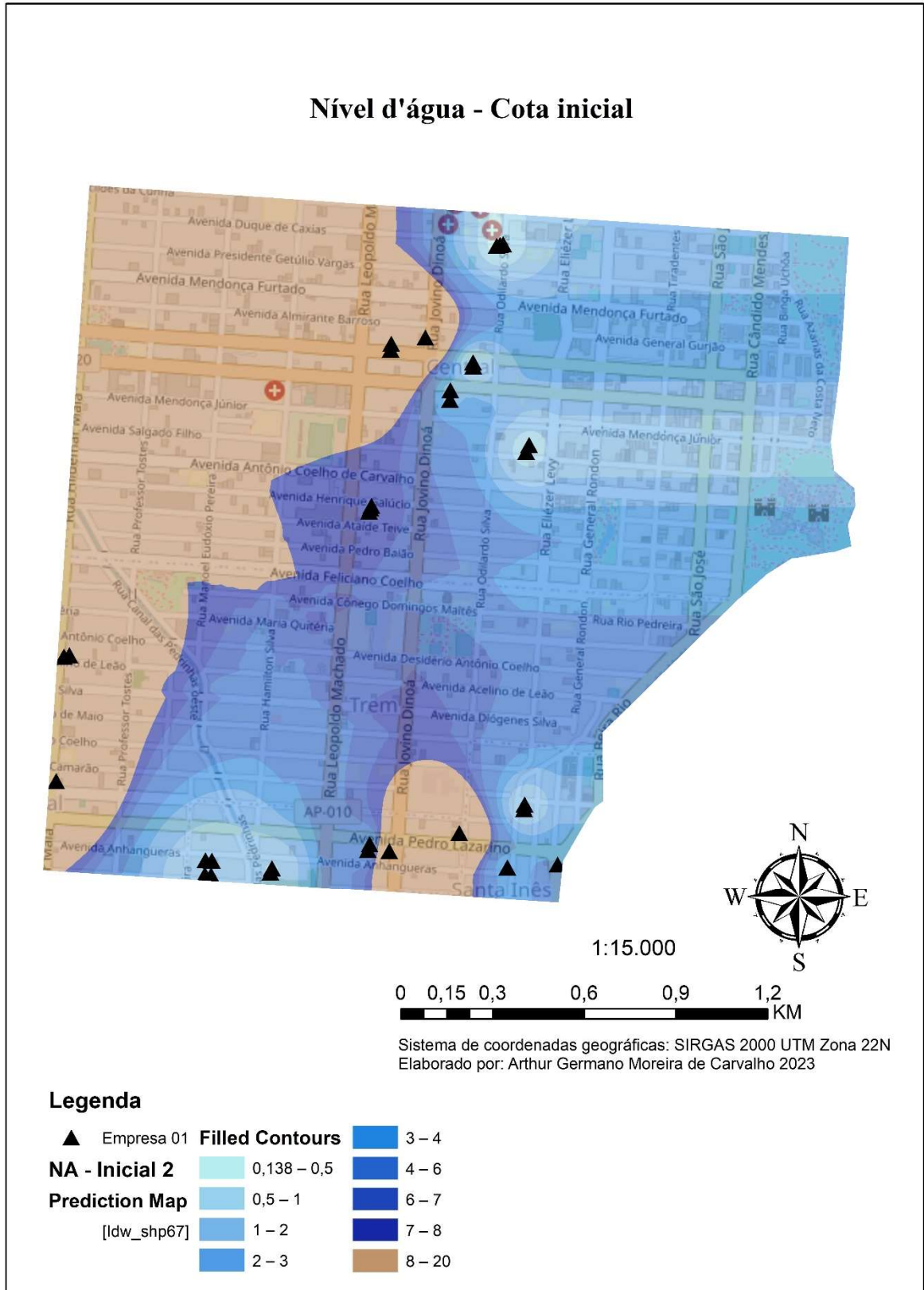
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo tem o objetivo de apresentar os resultados alcançados do estudo em termos de geração de superfícies que representem a caracterização do solo e os valores de N_{SPT} delimitados pela área de estudo da região central de Macapá. Além disso, buscando também a visualização da metodologia na representação dos mapas.

4.1 PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO

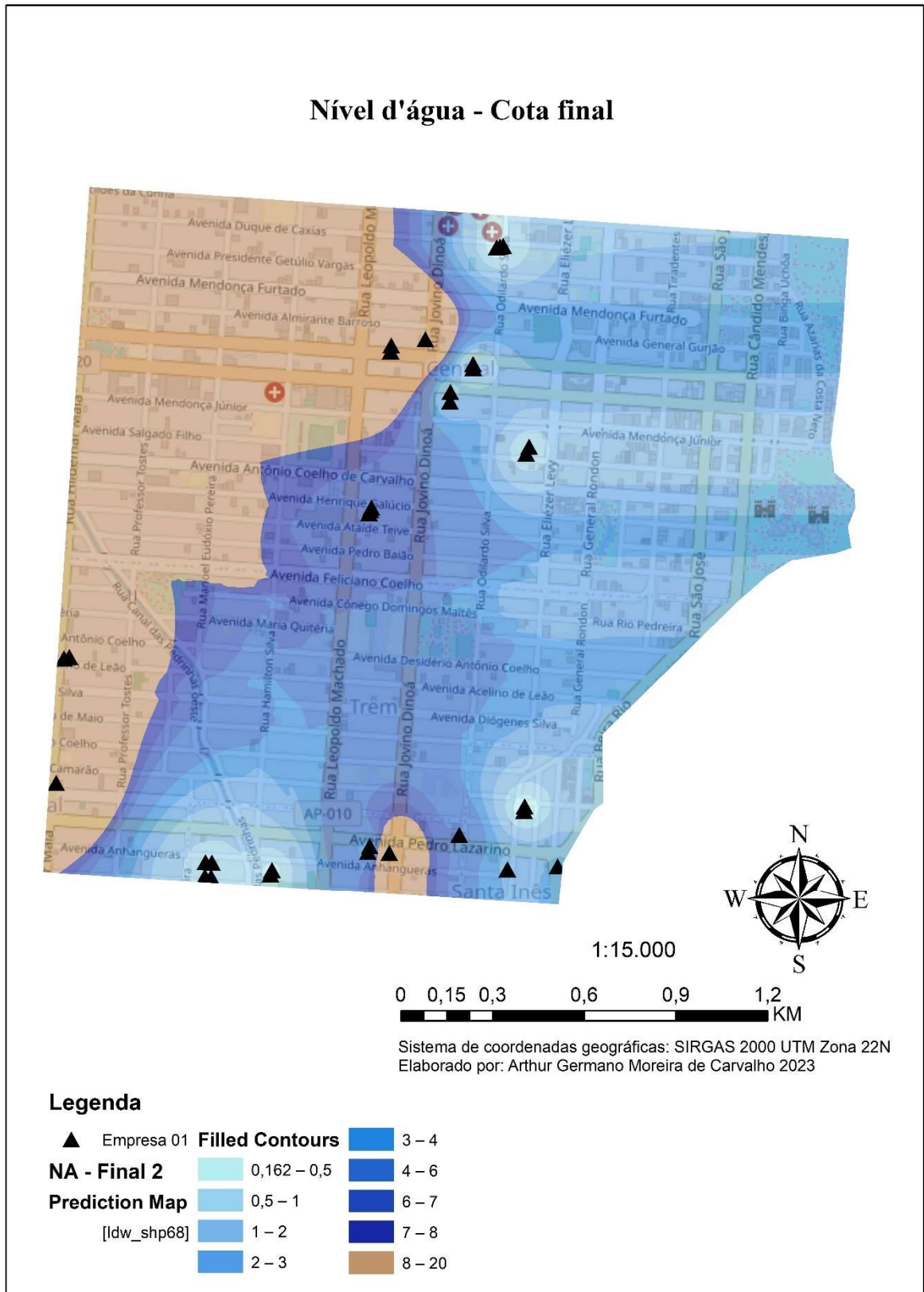
Os mapas apresentados a seguir, nas figuras 18 e 19, representam a profundidade do nível d'água observado inicialmente e do nível d'água final, respectivamente, foram desenvolvidos a partir de todas as sondagens disponíveis. As sondagens onde o nível d'água não foi alcançado, foram consideradas como valor de 20,00 m pois o software computa o campo vazio como um 0 e para não gerar problemas de interpolação com valores de níveis d'água na faixa entre 0m e 1m, foi adotado esse procedimento objetivando utilizar o máximo de sondagens disponível para gerar um produto mais próximo da realidade.

Figura 18 – Análise do nível d'água – cota inicial.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Figura 19 - Análise do nível d'água – cota inicial.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.2 NÍVEL DO IMPENETRÁVEL

De acordo com a NBR 6484/2020, tabela A.1, apresentado na figura 20, não há caracterização que diferencie um solo quando este ultrapassa a marca de 40 golpes e respeitando os critérios de paralização expostos no item 6.4.2 da norma, desse modo para este trabalho foi adotado um valor de 50 golpes como sendo o limite de impenetrável a percussão, uma vez que esse limite é definido pelo contratante ou pelo responsável pela execução da sondagem e essas informações não foram obtidas.

Figura 20 - Tabela A.1 - NBR 6484/2020

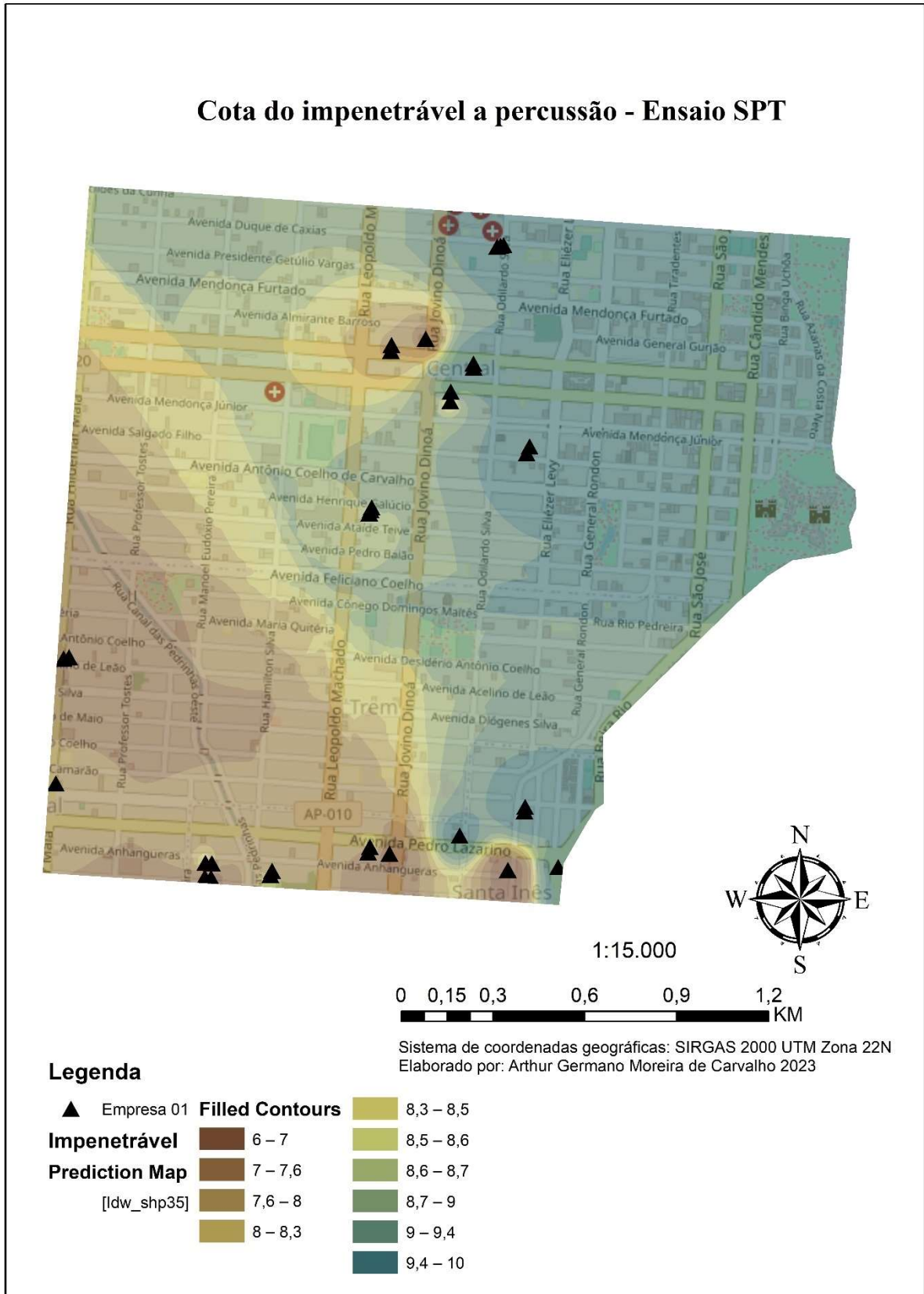
Solo	Índice de resistência à penetração <i>N</i>	Designação ^a
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa(o)
	5 a 8	Pouco compacta(o)
	9 a 18	Medianamente compacta(o)
	19 a 40	Compacta(o)
	> 40	Muito compacta(o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média(o)
	11 a 19	Rija(o)
	20 a 30	Muito rija(o)
	> 30	Dura(o)

^a As expressões empregadas para a designação da compactidade das areias (fofa, compacta etc.) são referências à deformabilidade e à resistência destes solos, sob o ponto de vista de fundações, e não podem ser confundidas com as mesmas denominações empregadas para a designação da compactidade relativa das areias ou para a situação perante o índice de vazios críticos, definidos na mecânica dos solos.

Fonte: ABNT NBR 6484:2020

Dando continuidade no estudo dos solos da região central um dos pontos de maior relevância é a definição de uma cota do impenetrável a percussão do ensaio SPT, ou seja, o ponto no qual de acordo com norma NBR 6484:2020 não há avanços significativos do amostrador para um determinado número de golpes, como descrito no item 6.2.3.11 da referida norma. A figura 21 apresenta a distribuição das cotas do impenetrável na região central.

Figura 21 - Cota do Impenetrável a percussão, em metros (m).



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Com a análise do mapa disposto na figura 21 é possível observar um aumento da profundidade da cota do impenetrável no sentido sudoeste → nordeste, nas regiões mais próximas ao Rio Amazonas, conforme é observado pela mudança da coloração do mapa de uma marrom amarelado claro para um marrom mais escurecido.

Contudo devido à ausência de dados coletados diretamente na região em questão, o mapa 2 é baseado em interpolação das vizinhanças mais próximas. Desse modo a uma limitação, que gera incertezas associada aos valores interpolados e que eles são apenas estimativas.

4.3 MAPAS DE N_{SPT}

O cerne do trabalho consiste em fazer uma nova análise de sondagens na área central de Macapá e verificar se o resultado obtido estaria próximo do obtido por Silva (2019). Prosseguindo a análise das sondagens obtidas a ideia foi gerar 10 mapas para a região, através da metodologia de interpolação do inverso ponderado da distância, método que permite uma maior facilidade de conferência manual dessas interpolações, permitidos assim a elaboração dos 10 mapas, que mostram a resistência a percussão das cotas de 01 m até a cota de 10 m.

Desse modo a seguir são apresentados os mapas de N_{SPT} da cota de 01 m até as 10 m de profundidade, nas figuras de 22 a 31 e após isso será feito um comentário geral sobre os mapas referentes aos quatro primeiros metros, referentes as cotas onde se alojam as fundações diretas, que estimasse ser a tipologia predominante na região hoje.

Como referência para a designação relativa a faixa de resistência do solo será usada a figura 20, que apresenta a Tabela A.1 da NBR 6484/2020.

Resistência do solo - N_{SPT} , cota de 01 m



1:15.000



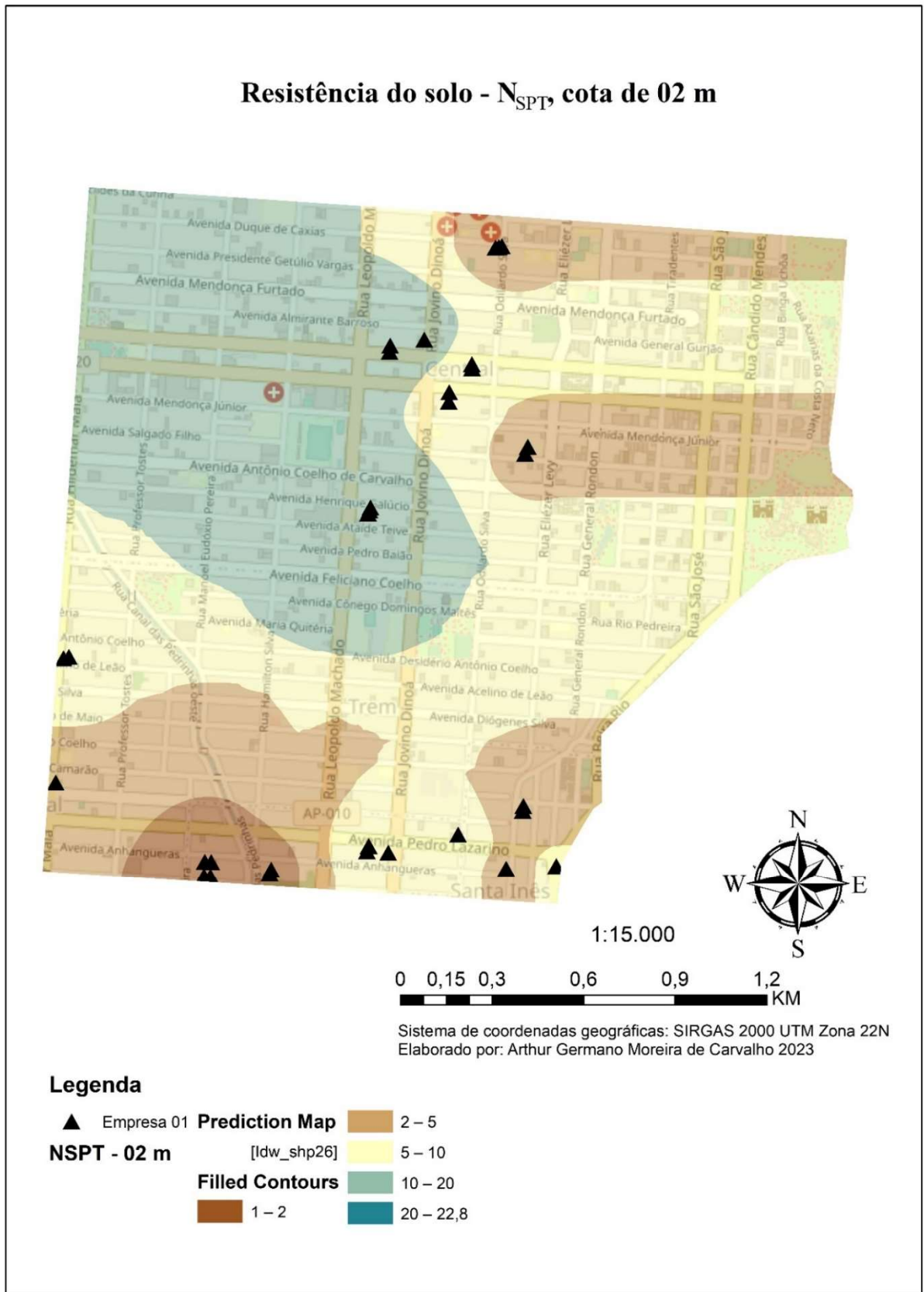
Sistema de coordenadas geográficas: SIRGAS 2000 UTM Zona 22N
 Elaborado por: Arthur Germano Moreira de Carvalho 2023

Legenda

- ▲ Empresa 01
- Prediction Map Filled Contours**
- NSPT - 01 m** [ldw_shp25]
 - 2 – 5
 - 5 – 10
 - 10 – 19

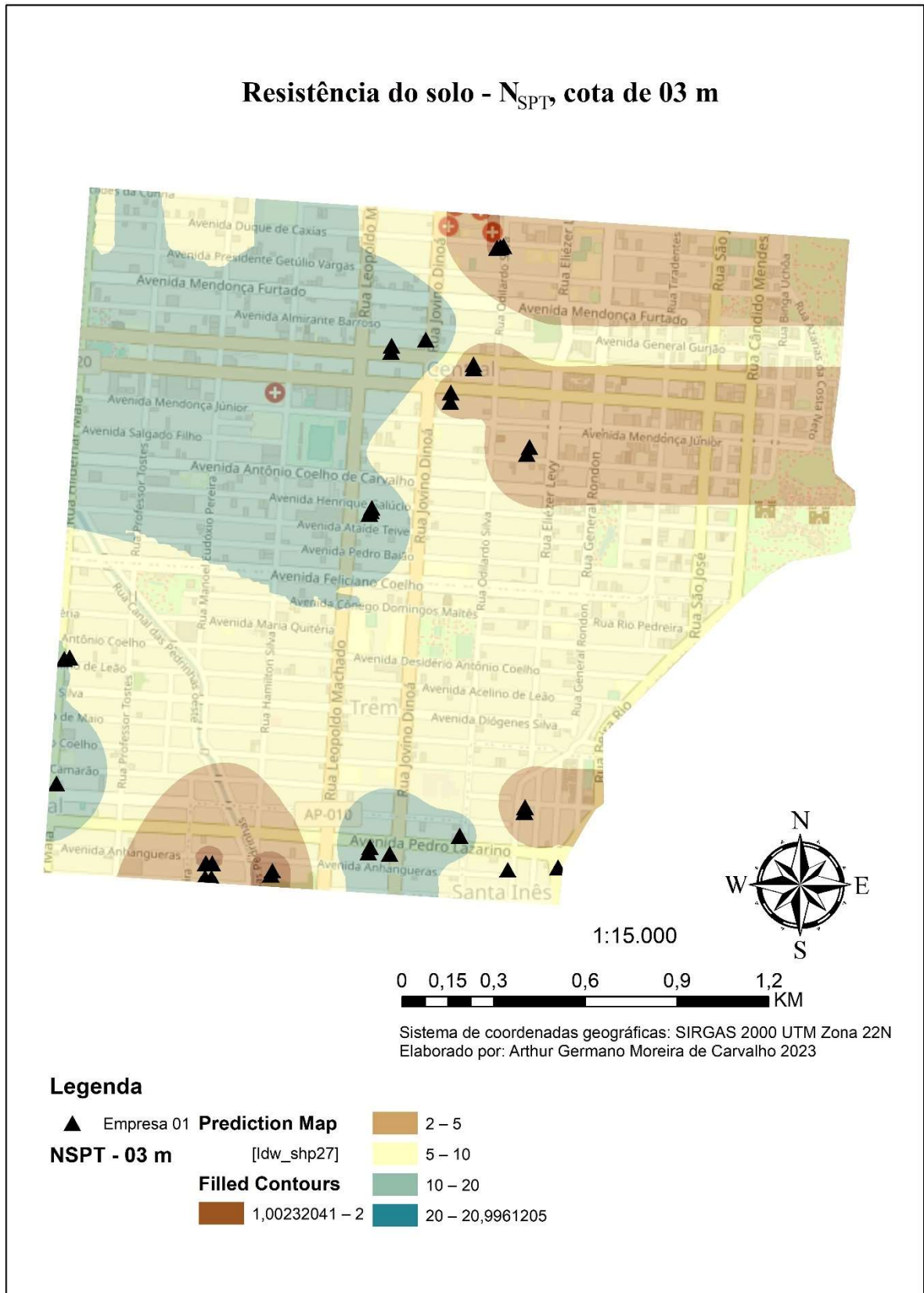
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 23 - NSPT, Cota 02 m.



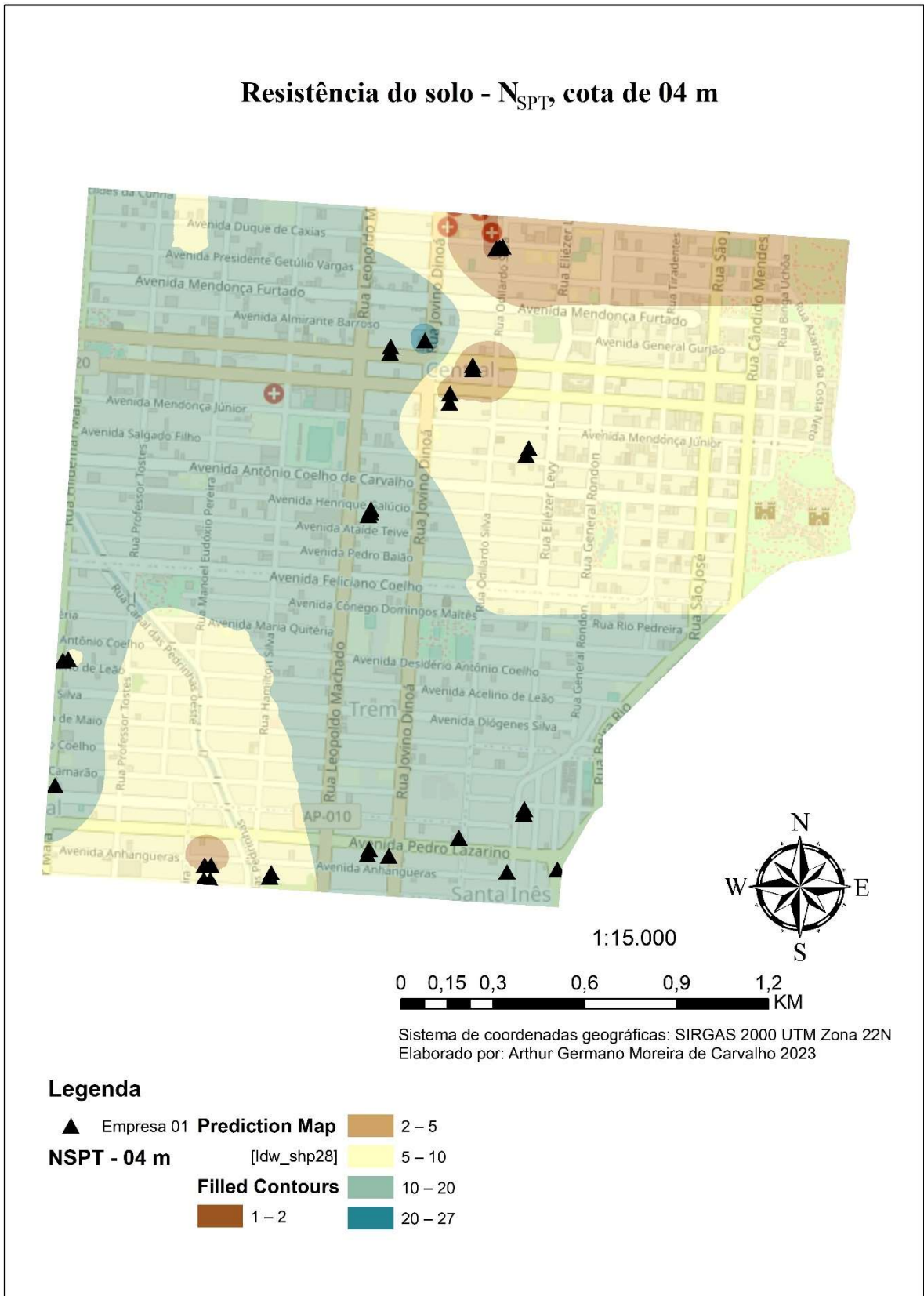
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 24 - NSPT, Cota 03 m.



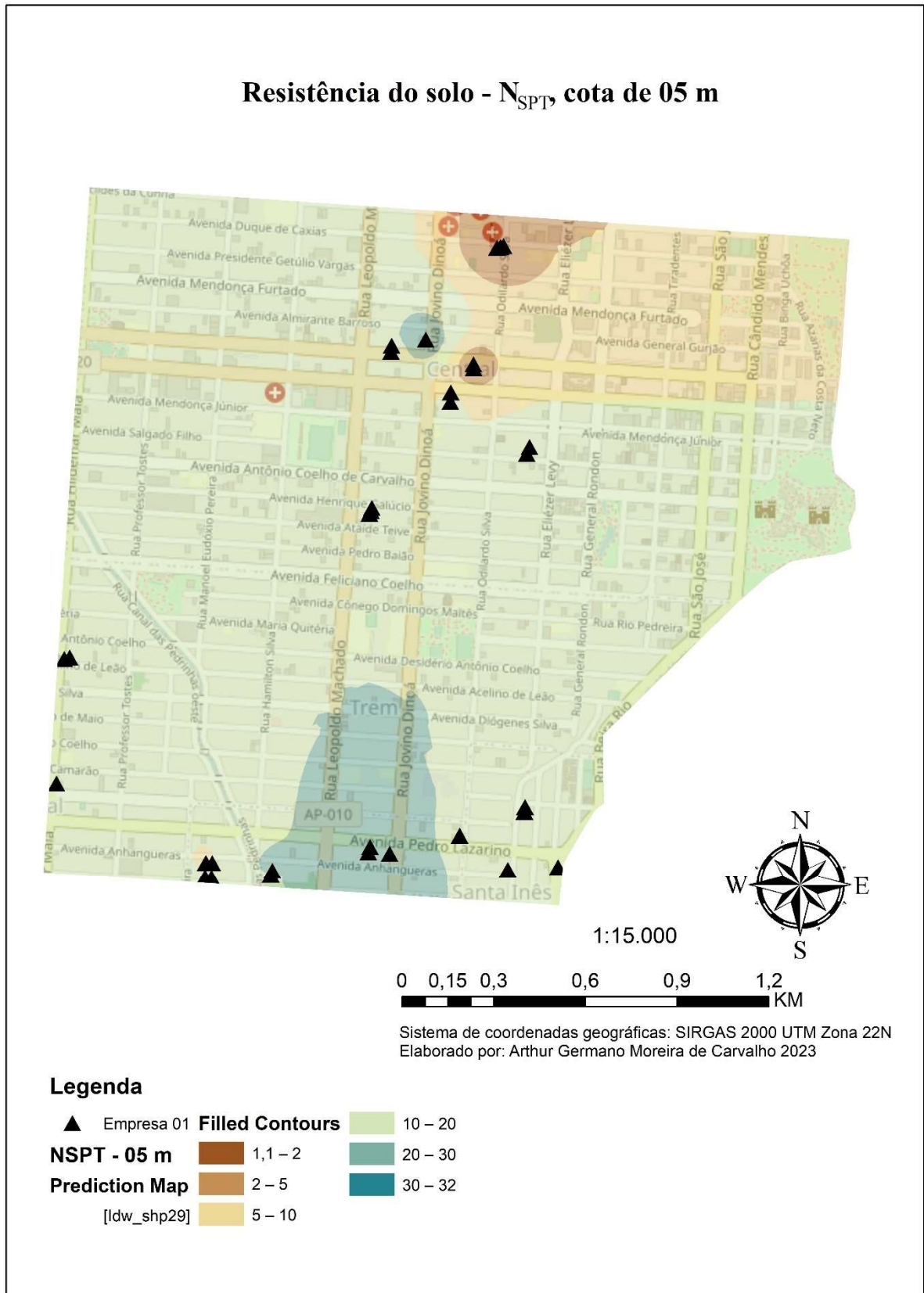
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 25 - NSPT, Cota 04 m.



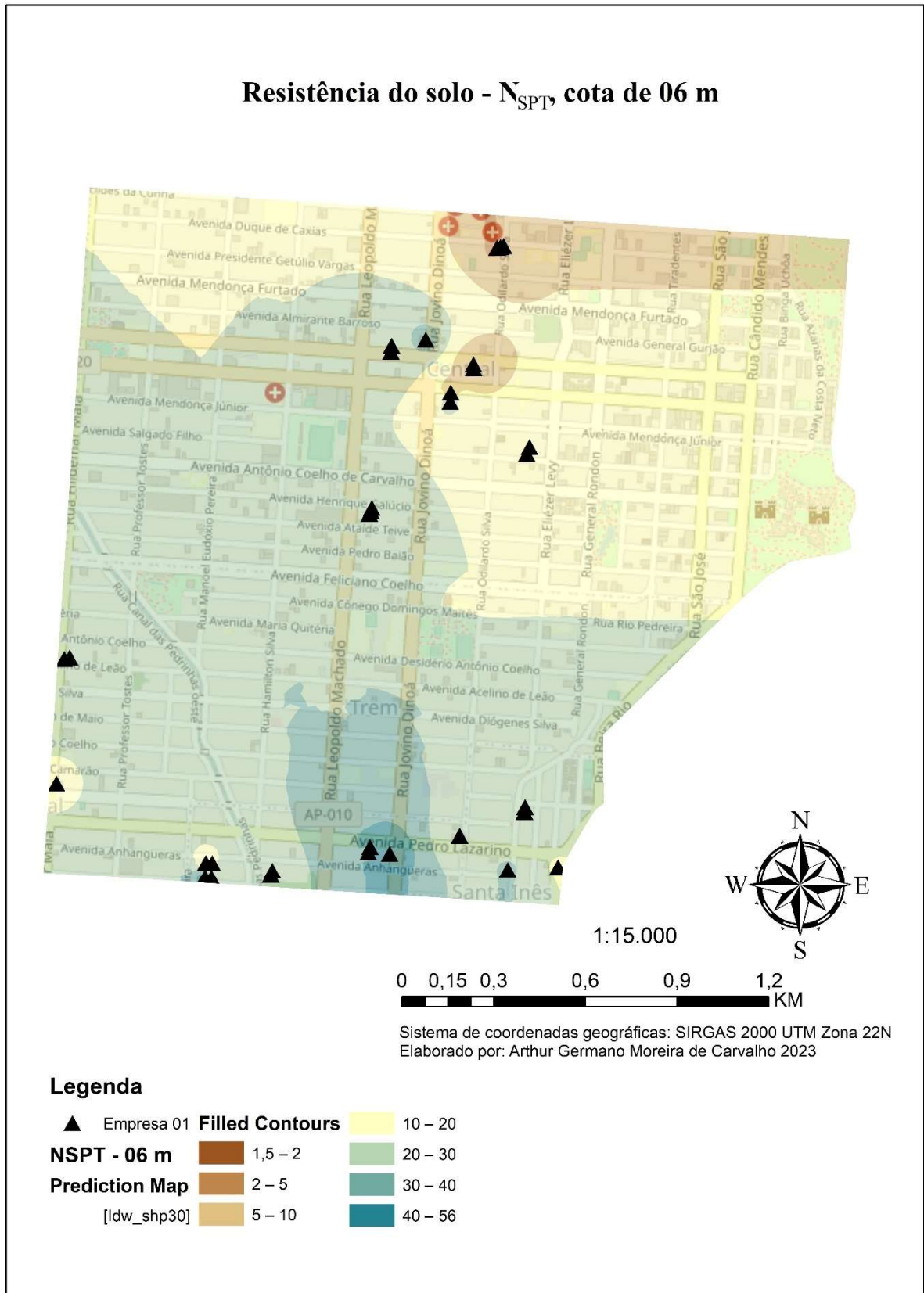
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 26 - NSPT, Cota 05 m.



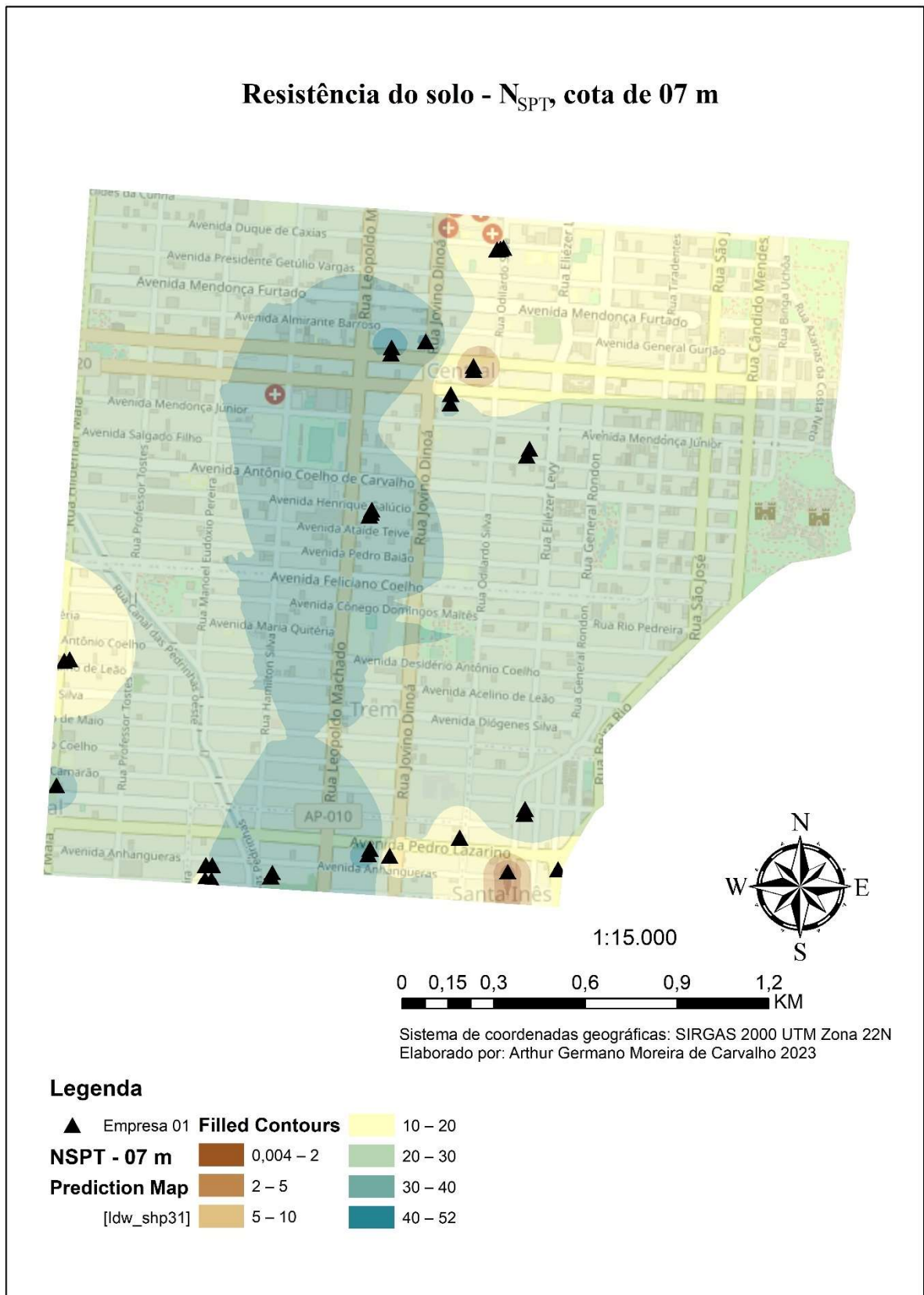
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 27 - NSPT, Cota 06 m.



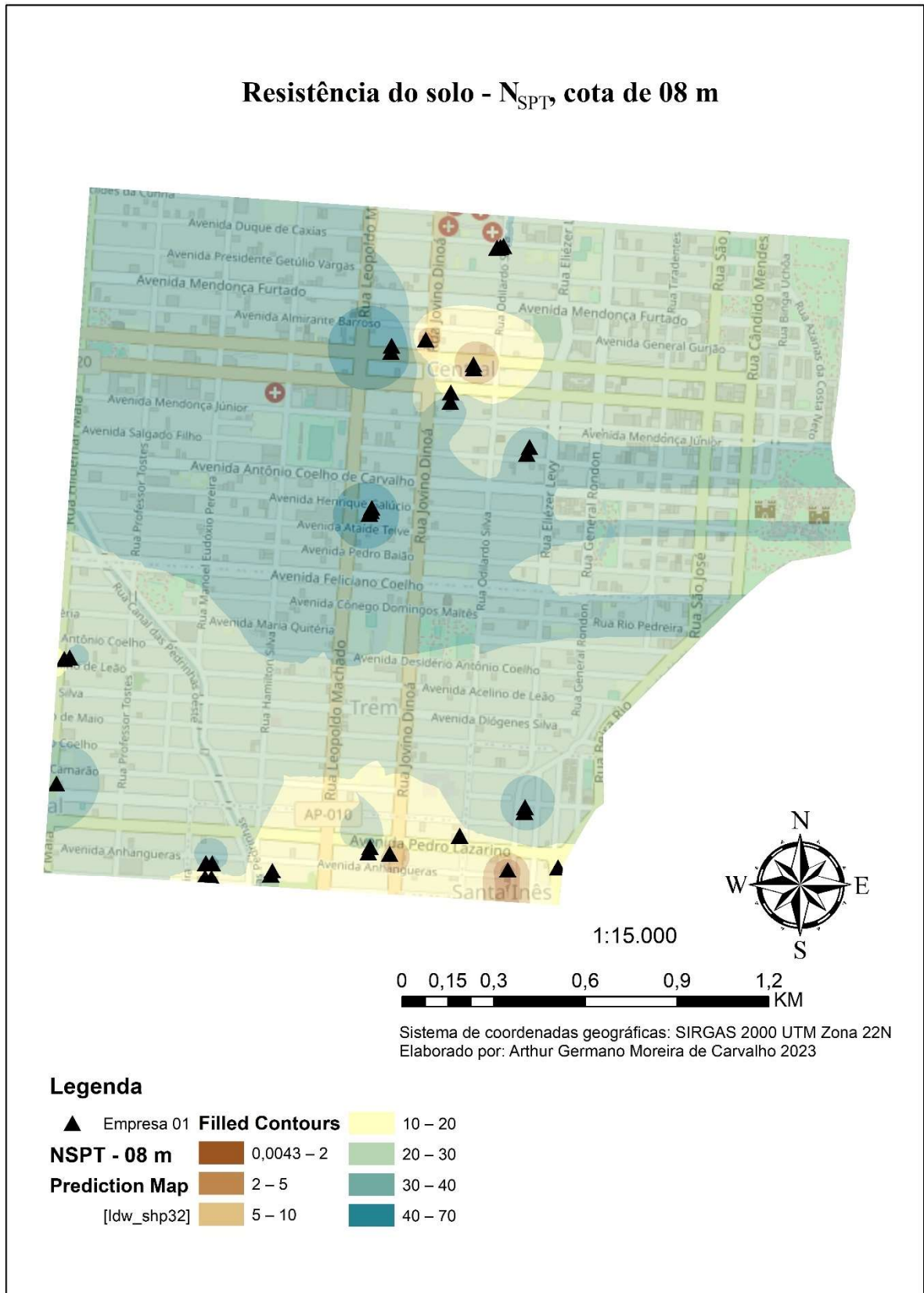
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 28 - NSPT, Cota 07 m.



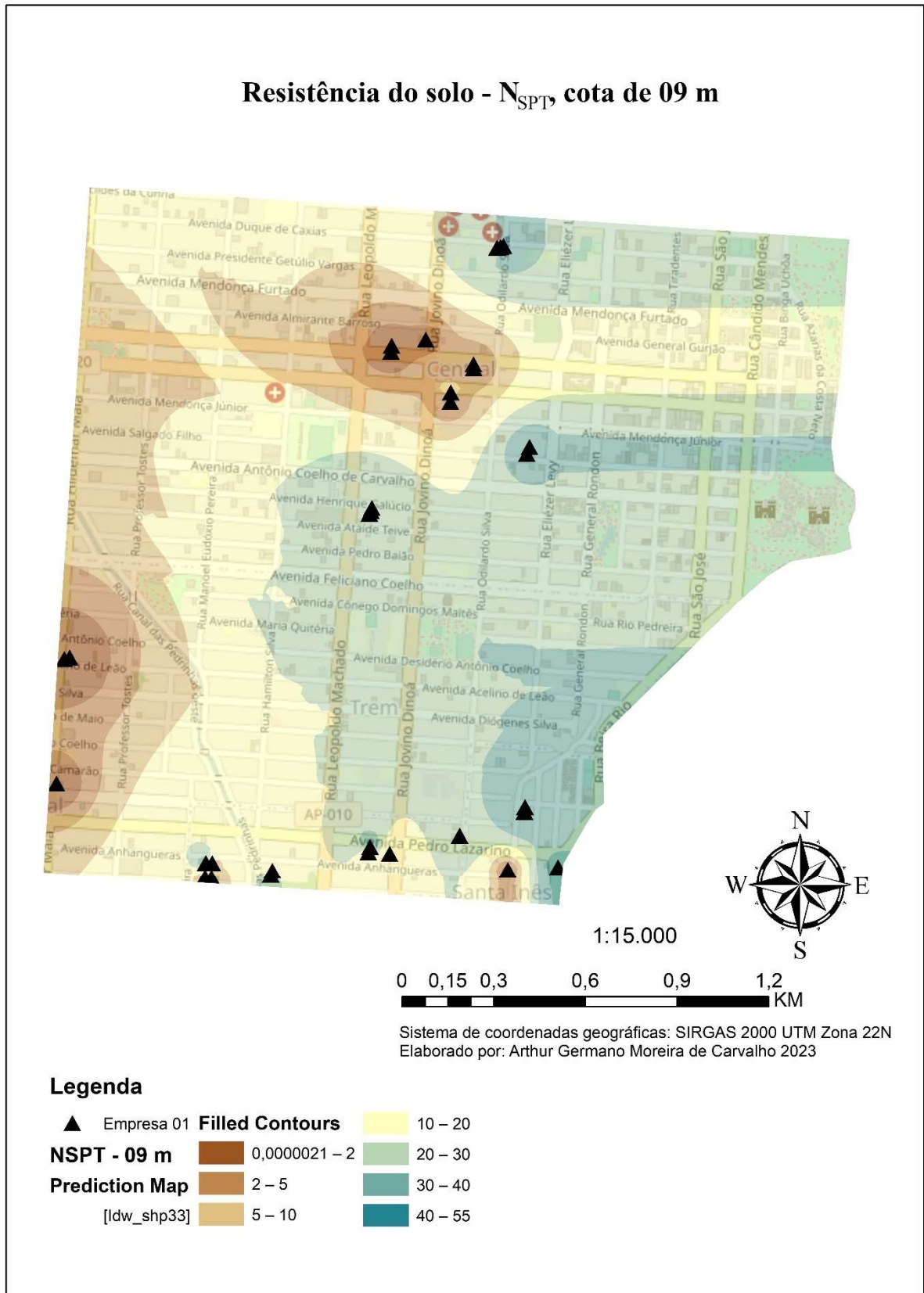
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 29 - NSPT, Cota 08 m.



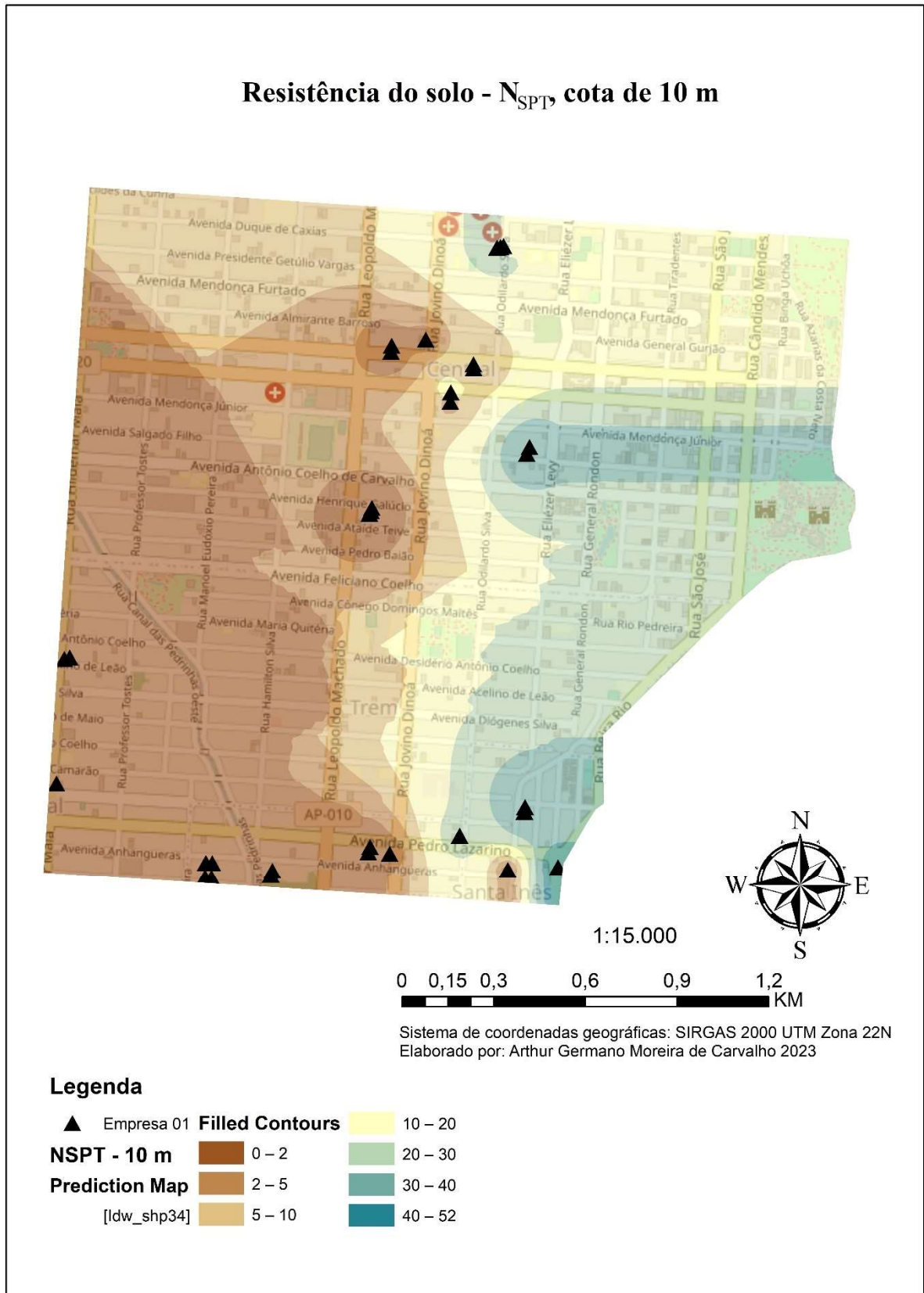
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 30 - NSPT, Cota 09 m.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 31 - NSPT, Cota 10 m.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Na figura 22 (cota de 01 m) é possível observar pela coloração marrom a existência de pontos com valores de N_{SPT} 02 a 05, caracterizado solos moles e/ou fofos na maior parte da área de estudo.

Já a figura 23 (cota de 02 m), há um visível ganho de resistência, passando a maior parte da área de estudo para a faixa de N_{SPT} 05 a 10, caracterizando solos pouco compacto/médio e apresentando ainda pontos N_{SPT} 10 a 20, medianamente compactos/rijos.

Por sua vez a figura 24 (cota de 03 m), a resistência do solo se mantém similar à da cota de 02 m, na faixa de N_{SPT} 05 a 10, onde predominam os solos pouco compacto/médio e apresentando uma expansão das áreas de N_{SPT} 10 a 20, medianamente compactos/rijos.

Na figura 25 (cota de 04 m), há novamente um ganho de resistência, passando a maior parte da área de estudo para a faixa de N_{SPT} 10 a 20, onde predominam os solos medianamente compactos/rijos.

4.4 MAPAS DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

Dando continuidade no estudo do solo, outro ponto relevante de estudo além da resistência e da capacidade de carga do solo é a sua composição. O tipo de solo influencia diretamente no comportamento e na decisão do tipo de fundação que será adotado pelo projetista, uma vez que cada tipo de solo possui um comportamento próprio.

Utilizando dos dados obtidos nas sondagens, foi gerada uma nova planilha de modo a realizar adaptações de interpolação, uma vez que a caracterização do solo é um fator qualitativo e não quantitativo, o que inviabiliza a interpolação como uma ferramenta de aproximação confiável, passando a ter um efeito ilustrativo e didático para a melhor compressão dos solos.

A caracterização dos solos foi feita da seguinte maneira:

- 11 – Solos Arenosos (S);
- 21 – Solos Argilosos (C);
- 22 – Solos Argilo-Arenoso (CS);
- 23 – Solos Argilo-Siltosos (CM)
- 31 – Solos Silto-Arenosos (MS);
- 32 – Solos Silto-Argilosos (MC);
- 33 – Solos Silto-Areno-Argilosos (MSC).

De modo a facilitar a compreensão e análise dos mapas foi adotado o mesmo sistema de siglas para a representação de estudos sobre geotecnia e classificação dos solos, originalmente apresentados por Berberian (2015), em seu livro Engenharia de Fundações. A figura 26 apresenta a tabela que foi usada como referência para a legenda dos solos no presente trabalho.

Figura 32 - Classificação dos Solos.

Tipos de Solo	Intensidade de Mistura	Umidade Tátil/Visual	Plasticidade
C. Argila	3. Mto. Pouco	3. Seca	L. Baixa
M. Silte	4. Pouco	4. Pouco Úmida	H. Alta
S. Areia	5. Medianamente	5. Úmida	I. Intermediária
G. Pedregulho	6. Muito	6. Muito Úmida	
K. Argila Kaolínica	7. Demasiadamente	7. Saturada	
L. Argila Laterítica	Porosa	9. Submersa	

Fonte: Adaptado de USCS/Berberian - Engenharia de Fundações p. 9.28

A partir dessa convenção, foi montada a tabela apresentada na figura 27 e foram geradas as interpolações pelo inverso da distância – IDW com a ajuda do software ArcGis 10.8

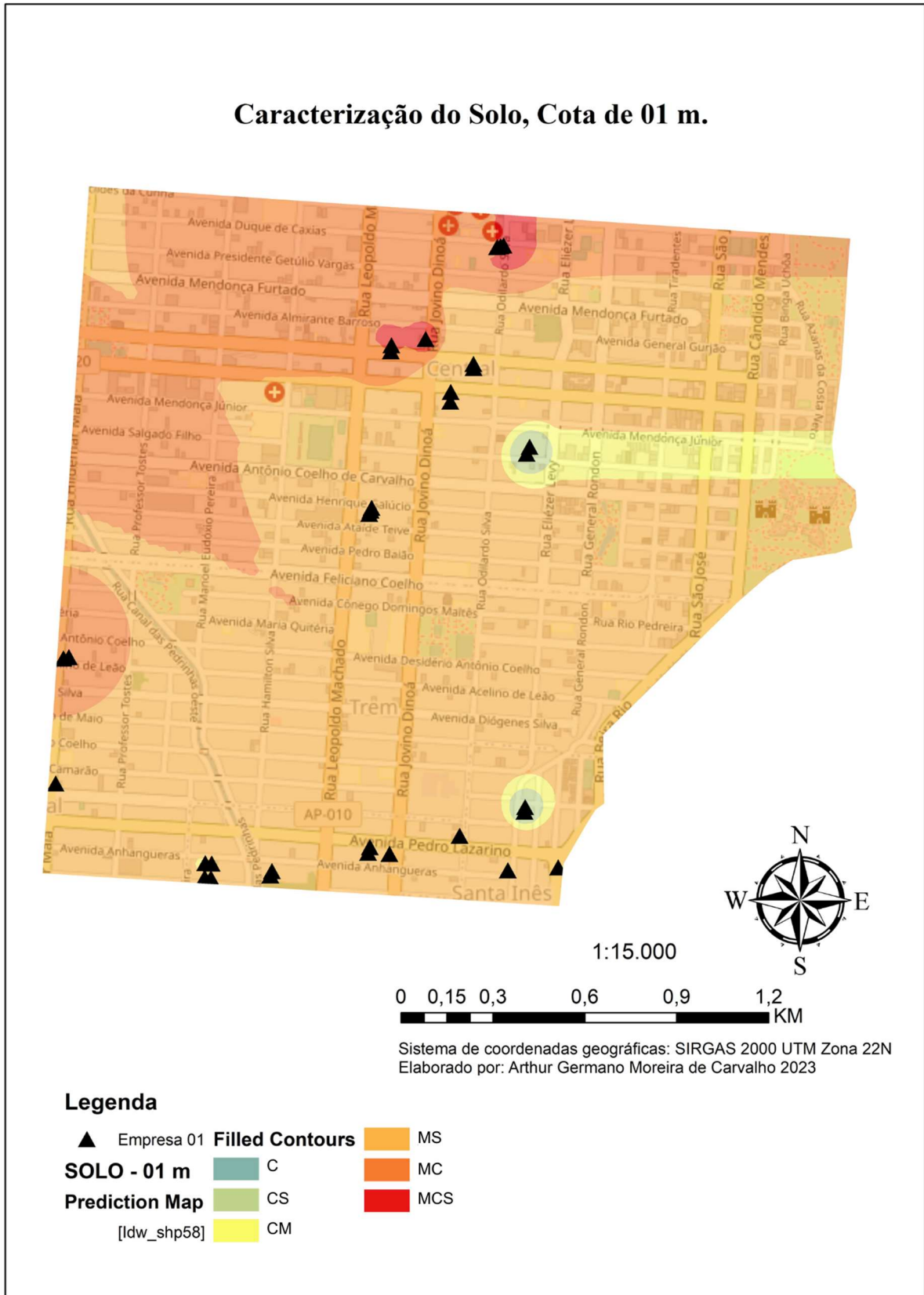
Figura 33 - Tabela de importação de dados de composição do solo para o software ArcGis

IMPENETRA	CARAC 01 m	CARAC 02	CARAC 03	CARAC 04	CARAC 05	CARAC 06	CARAC 07	CARAC 08	CARAC 09	CARAC 10
6	31	31	31	31	22	22	0	0	0	0
8	32	32	32	32	32	23	23	23	0	0
6	32	32	32	23	23	23	0	0	0	0
7	31	23	23	22	22	23	11	0	0	0
8	33	31	33	33	23	23	23	23	0	0
8	31	31	31	31	31	22	23	23	0	0
8	31	31	31	31	32	23	22	21	0	0
8	31	23	23	23	23	21	23	23	0	0
6	31	31	31	31	23	23	21	0	0	0
8	31	21	21	21	23	23	22	22	0	0
7	21	23	23	23	23	22	22	0	0	0
6	31	23	23	22	22	23	0	0	0	0
7	33	33	33	33	23	23	23	0	0	0
7	31	23	23	23	23	22	22	22	0	0
9	23	23	23	23	22	11	22	11	11	11
10	31	31	21	21	21	21	21	21	21	21
10	23	31	21	21	21	22	21	21	21	21
10	31	11	11	11	22	23	11	11	21	21
9	31	31	31	31	31	22	22	21	21	0
9	31	31	31	31	32	22	22	21	21	0
9	33	33	33	21	21	21	21	21	21	0
10	33	33	33	33	33	33	21	21	21	21
10	31	33	33	33	33	33	21	21	21	21
9	21	21	21	21	23	22	23	22	22	0
9	31	23	23	23	22	22	22	22	22	0
10	22	22	22	22	22	23	23	22	22	22
10	22	22	23	23	23	22	22	22	22	22
8	31	33	33	23	23	22	23	23	23	0
10	31	21	21	21	21	21	21	21	23	23
10	31	31	31	23	23	23	23	23	23	23
10	22	22	22	11	11	11	11	23	23	23
10	22	22	22	11	11	23	23	23	23	23

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023.

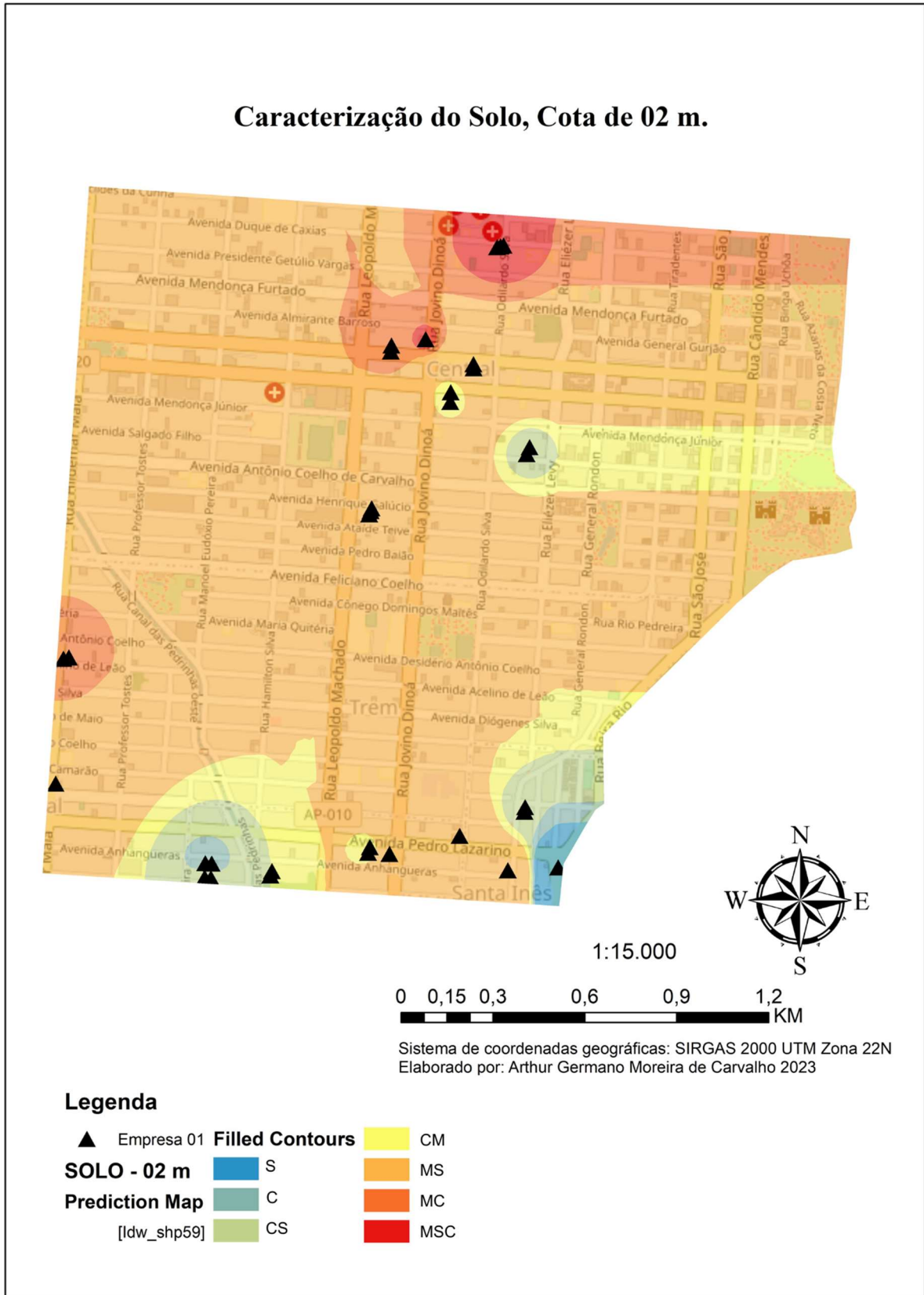
Desse modo a seguir serão apresentados os mapas referentes aos 10 metros de estudos, com comentários específicos aos quatro primeiros metros, de modo a complementar os mapas apresentados no capítulo 4.3.

Figura 34 - Caracterização do solo, cota de 01 m.



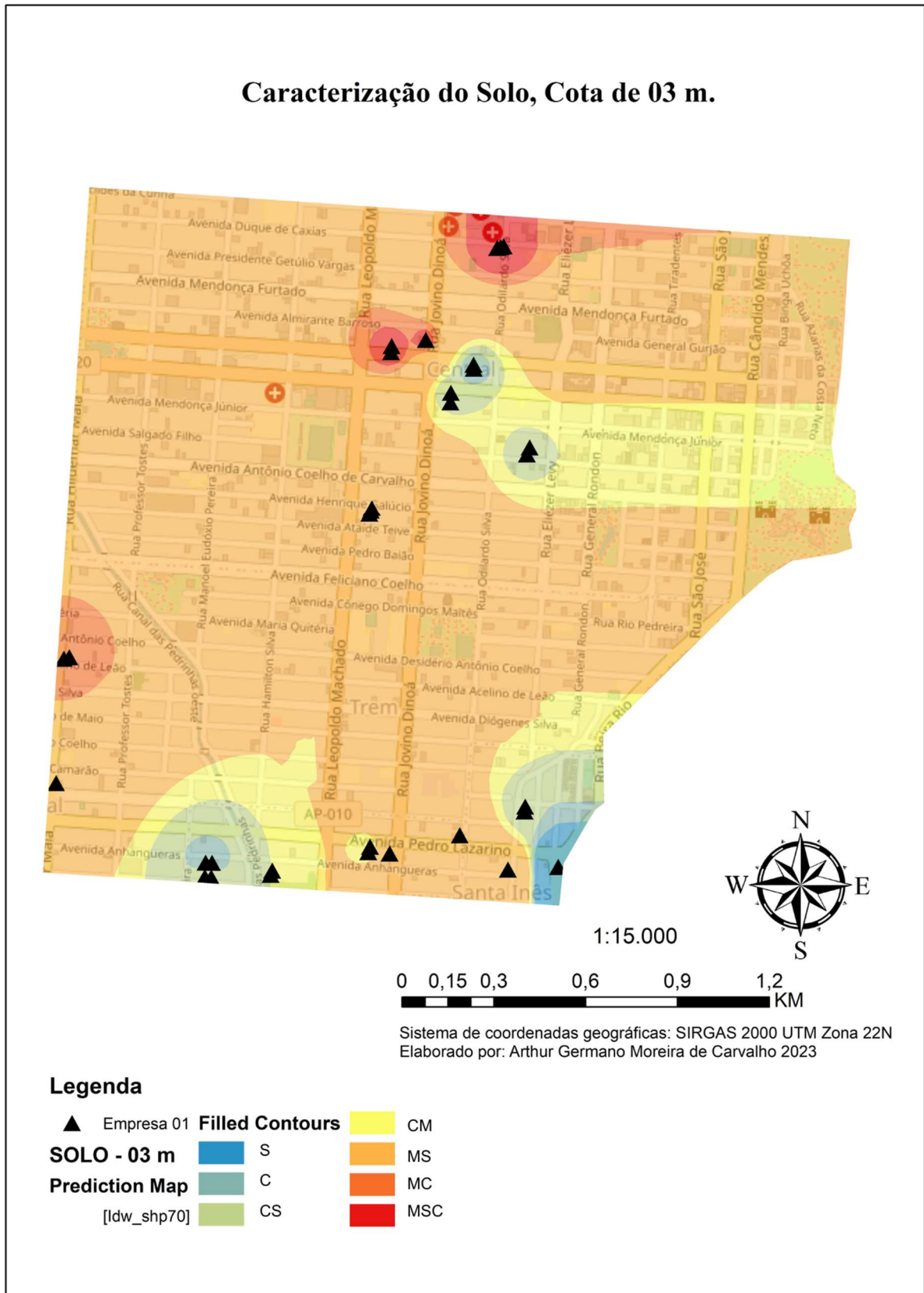
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 35 – Caracterização do solo, cota de 02 m.



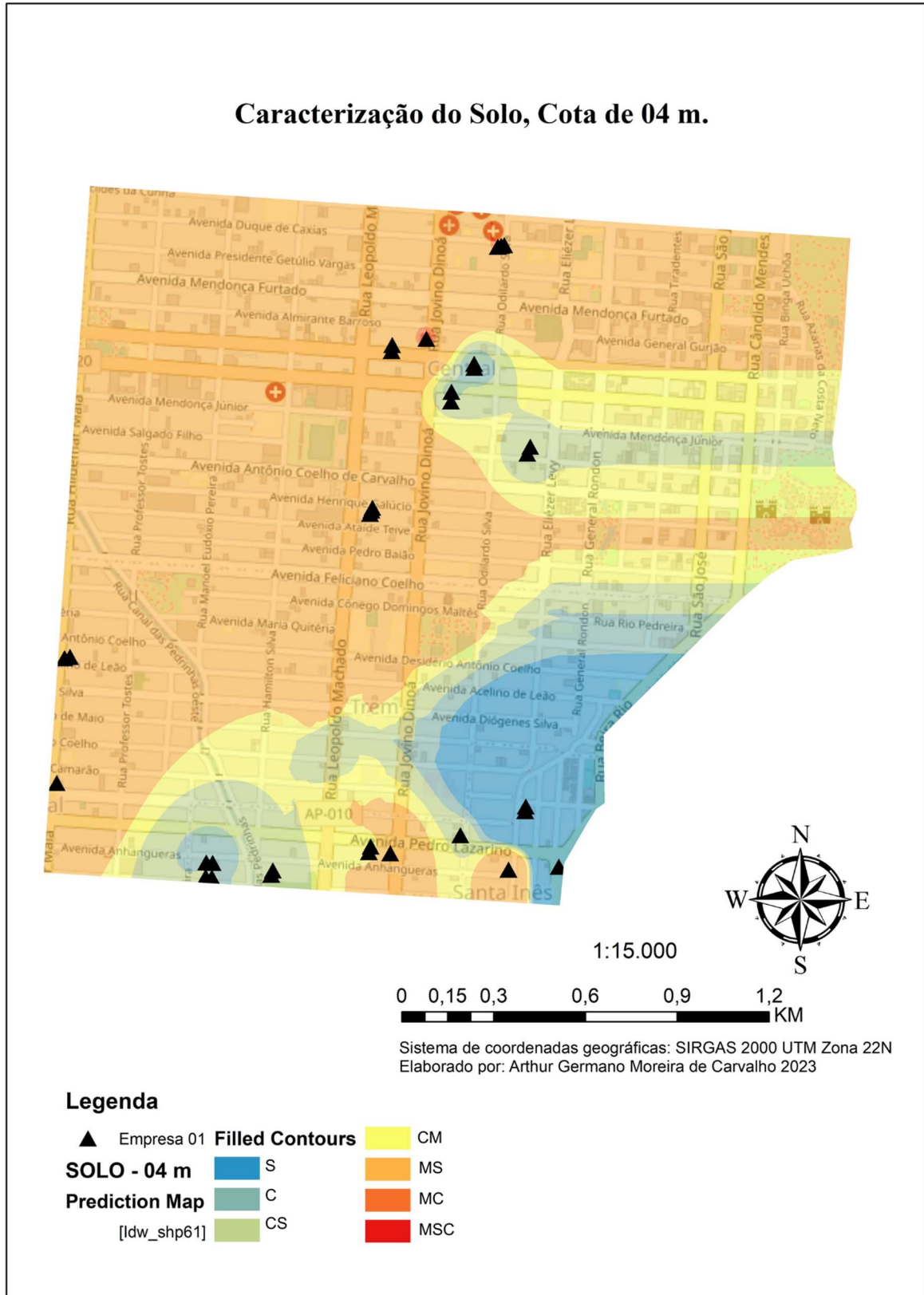
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 36 - Caracterização do solo, cota de 03 m.



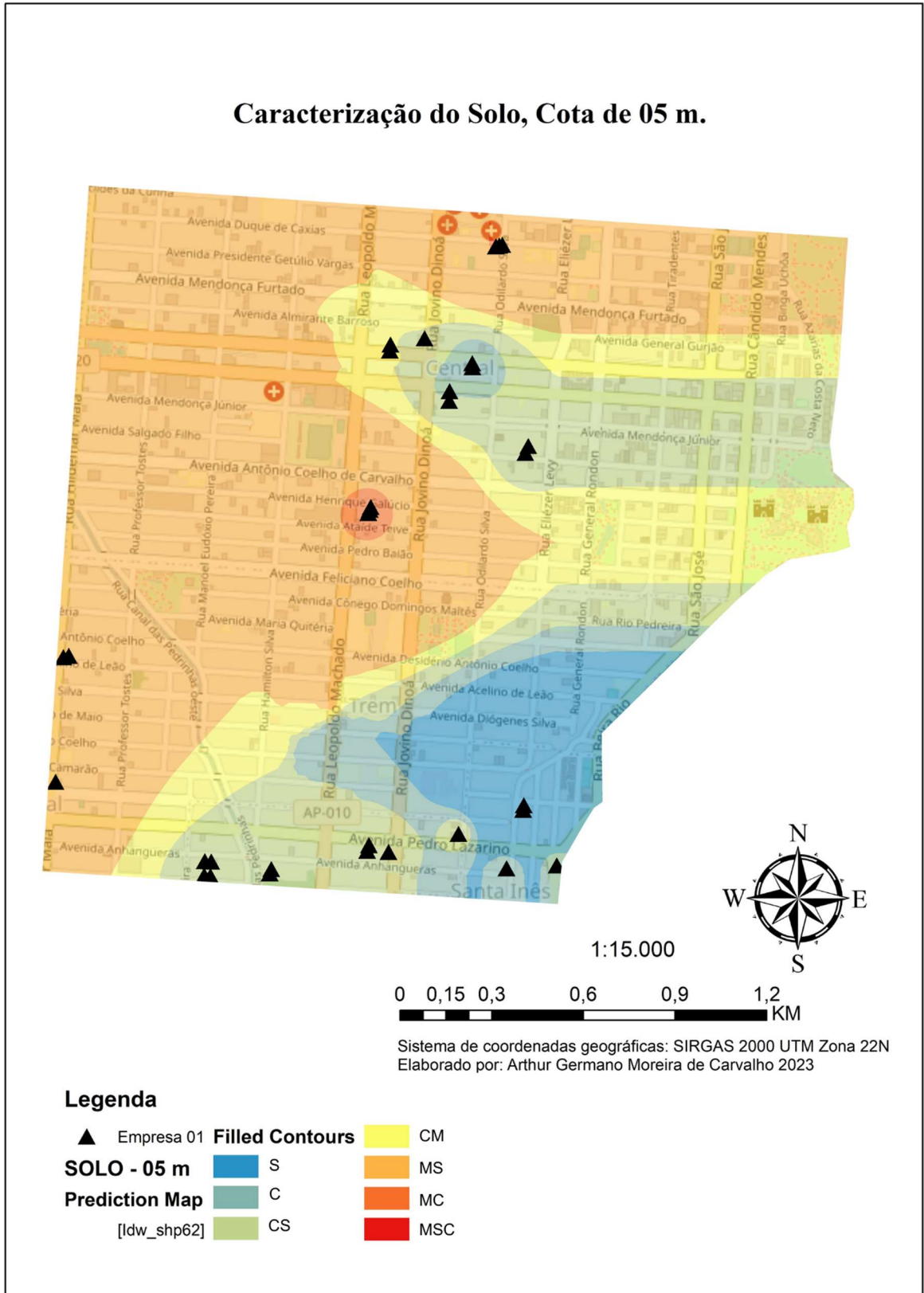
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 37 - Caracterização do solo, cota de 02 m



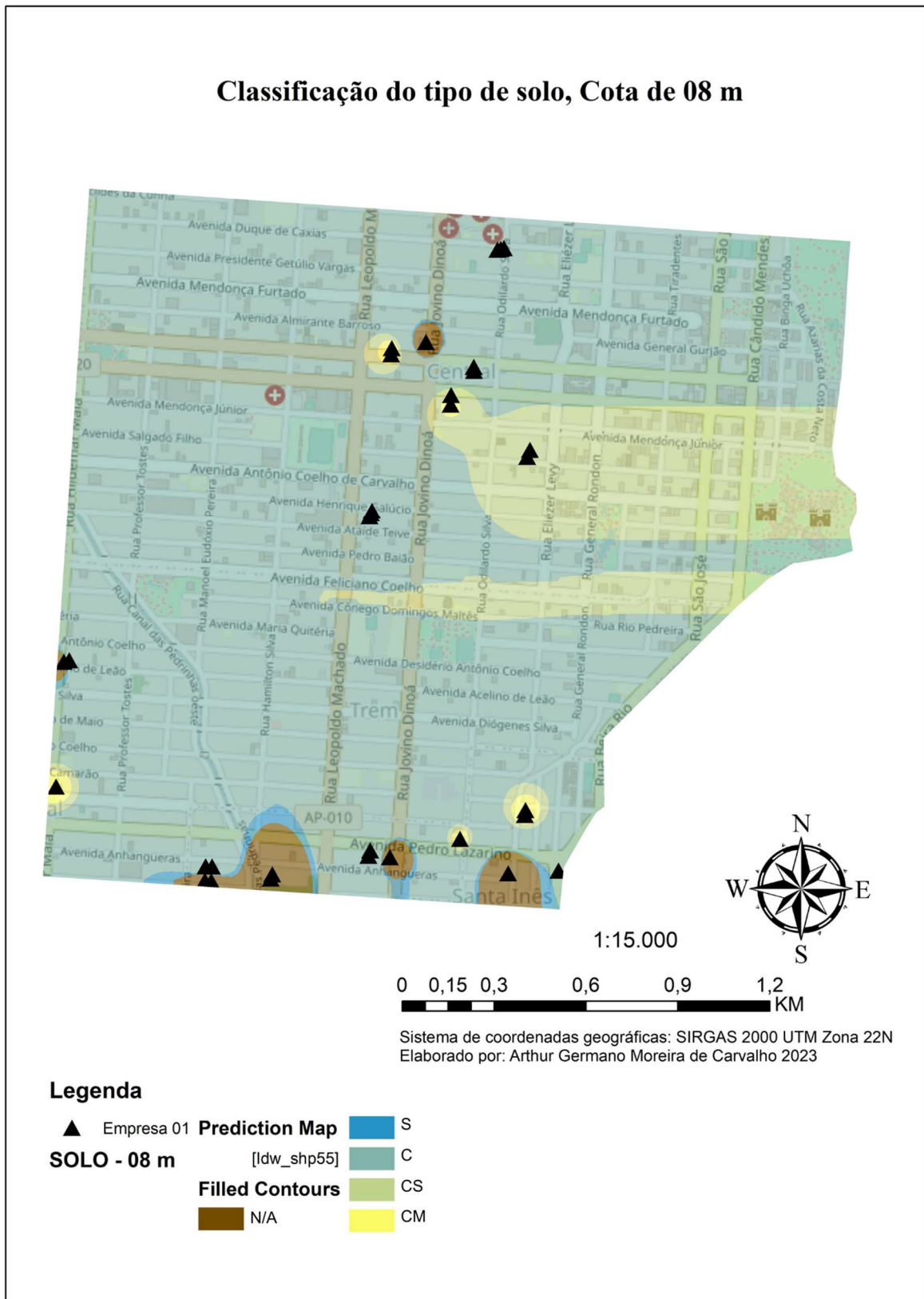
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 38 - Caracterização do solo, cota de 05 m.



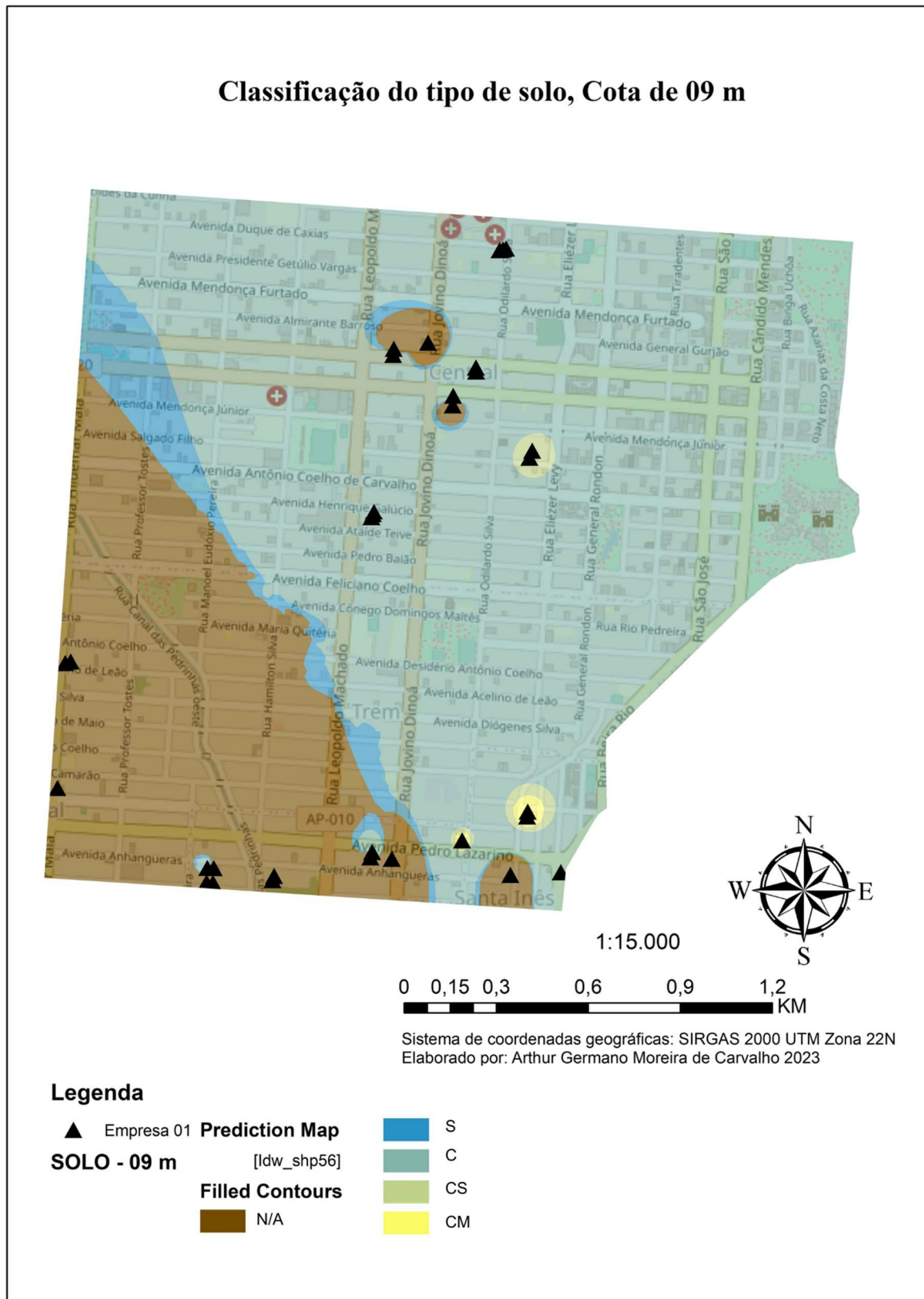
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 41- Caracterização do solo, cota de 08 m.



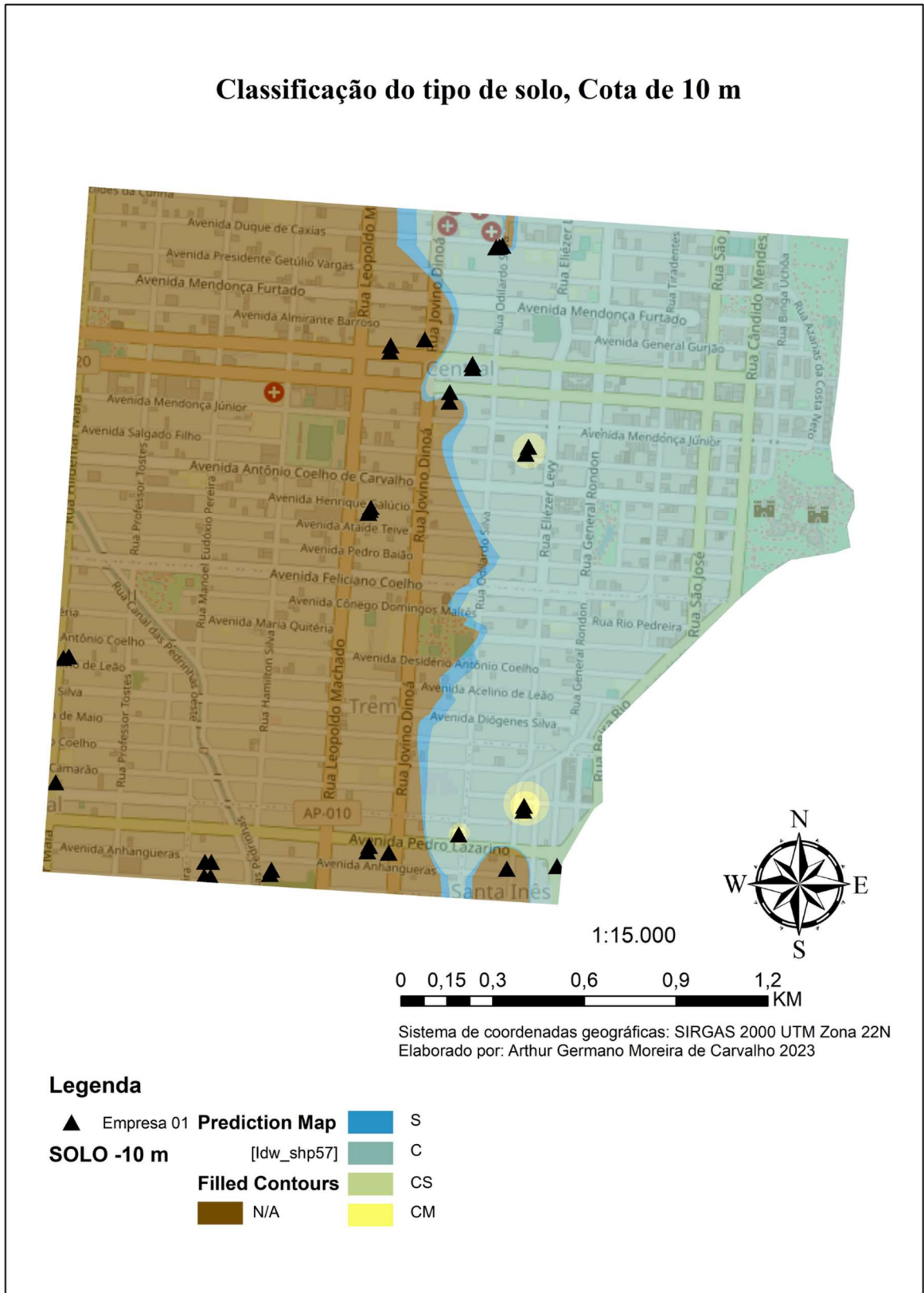
Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 42 - Caracterização do solo, cota de 09 m



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 43 - Caracterização do solo, cota de 10 m



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No mapa apresentado na figura 34 (cota de 01 m) é possível observar pela coloração alaranjada a predominância de solos Silto-arenoso seguida pela alaranjada-vermelho representando solos Silto-argilosos, isso pode ser indício que os essa primeira camada de solos da área de estudo é majoritariamente composta por aterros, não representando a verdadeira composição do solo na região.

Já no mapa apresentado na figura 35 (cota de 02 m) é possível observar que há o aparecimento de solos *Argilo-siltosos*, apresentados nesse mapa em amarelo, junto do aparecimento de pontos em tons azuis-esverdeados solos argilosos e azul solos arenosos, principalmente nas regiões próximas a fontes de água, como o canal das Pedrinhas e o rio Amazonas (situado a leste).

O mapa apresentado na figura 36 cota de 03 m, é possível observar um comportamento similar ao apresentado no mapa 35, porém com o avanço na presença de solos *Argilo-siltosos*, representados pelo amarelo.

No mapa apresentado na figura 37 cota de 04 m, é possível observar que começa a se evidenciar uma mudança significativa na composição das amostras, os solos *Argilo-siltosos*, representados em amarelo, passam a ocupar uma área significativamente maior juntamente do crescimento dos solos arenosos, representados em azul e de solos argilosos, representados por tons azuis-esverdeados.

5 CONCLUSÕES

O presente capítulo apresenta as conclusões e considerações finais a respeito do estudo realizado, mediante a observação dos seus objetivos e seguindo as recomendações para trabalhos futuros de Silva (2019).

Obter mais laudos de sondagens junto a outras empresas através de cooperação técnica com a comunidade acadêmica, tendo como objetivo futuro realizar a continuidade do trabalho. Porém, com mais dados, aumenta-se a confiabilidade dos mapas em face do maior número de informações e, conseqüentemente, diminui o erro das estimativas.

(SILVA, p.73, 2019)

Mantendo a área de estudo foi feita a análise com furos de outra empresa e utilizada uma nova metodologia de interpolação para a geração de mapas, devido a redução do banco de dados.

O estudo demonstra o potencial do uso do banco de dados para analisar perfis geológicos geotécnicos, uma vez que permite a espacialização dessas informações. Nesse sentido, o uso de ferramentas SIG se mostra essencial, tendo em vista que a interface do software permite realizar operações de georreferenciamento de forma prática e eficiente, e principalmente aplicar modelagem geoestatística para realizar interpolação, geração de mapas apresentados ao longo do estudo.

Na análise dos mapas, algumas características da área podem ser extraídas. Como esperado, no mapa de profundidade do lençol freático, foram identificados os níveis de água mais aflorados ao longo dos cursos d'água como o rio Amazonas e na proximidade do canal das Pedrinhas. No entanto, o lençol freático apresentou-se mais profundo nas áreas mais centrais da área de estudo.

Para o estudo do impenetrável, não há predominância em uma profundidade específica. Por outro lado, a distribuição entre profundidades é quase uniforme, dominada pela camada de 8 a 9 m, mas as diferenças em outras profundidades não são tão grandes. Assim, o impenetrável mais aparente no mapa varia em altura de 6 metros a profundidades superiores a 9 metros.

Outra contribuição deste trabalho foi o desenvolvimento do mapa de contorno N_{SPT} , que quando visualizado mostra um aumento gradual da média N_{SPT} com a profundidade, principalmente nas regiões próximas as áreas molhadas onde encontra-se solos com maiores resistências, contudo tal resistência pode ser resultado de erro humano uma vez que a água pode influenciar nos resultados obtidos para o N_{SPT} .

Nos mapas de caracterização do solo confirma-se que a área de estudo é de natureza predominantemente arenosa, nos primeiros metros, salvo exceções das áreas próxima aos dois

canais da cidade e ao rio Amazonas, que apresentam solos mais argilosos. Por outro lado, a partir da profundidade de 6 m a área de estudo apresenta a transição das características de solos arenosos-siltosos para solos argilosos que se tornam ainda mais predominantes conforme se avança a camada de solo.

Apesar desses esforços, a necessidade de sondagem nunca deve ser descartada, nessa ideia, Zuquette (2004) afirma que o mapeamento geotécnico visa orientar, mas nunca substituir as investigações geotécnicas locais. Dessa forma, os mapas produzidos têm a finalidade fornecer orientações sobre a qualidade do subsolo de partes da cidade de Macapá em termos de engenharia de fundação e, portanto, não devem substituir investigações geotécnicas específicas para obtenção de parâmetros específicos para um correto dimensionamento elementos da estrutura de futuros empreendimento.

Vale ressaltar ainda que a ABNT NBR 6122:2022 no item 1 apresenta a nota 1 em que consta:

Reconhecendo que a engenharia geotécnica não é uma ciência exata e que riscos são inerentes a toda e qualquer atividade que envolva fenômenos ou materiais da Natureza, os critérios e procedimentos constantes desta Norma procuram traduzir o equilíbrio entre condicionantes técnicos, econômicos e de segurança usualmente aceitos pela sociedade na data de sua publicação. Nos projetos civis que envolvem mecânica dos solos e mecânica das rochas, o profissional habilitado com notória competência é o profissional capacitado a dar tratamento numérico ao equilíbrio mencionado. (ABNT NBR 6122:2022, p.1)

Dessa forma a investigação geotécnica jamais poderá ser descartada, uma vez que em casos de sinistro a NBR passa a ter valor de lei no que tange o julgamento pelo CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia.

Logo, os resultados do estudo visam fornecer um subsídio técnico que possa orientar a tomada de decisão dos profissionais da construção civil e demais interessados, pois o banco de dados criado fornece, além de informações importantes, o conhecimento geográfico dos tipos de solo presentes na área de estudo e parâmetros geotécnicos relevantes dentro do processo da construção civil e da elaboração de planos urbanísticos.

Além disso, o banco de dados e os mapas temáticos gerados quando lançados em um ambiente GIS são informações manuseáveis permitindo assim futuras atualizações e adições de novas informações que venham agregar outras perspectivas não abordadas nesse trabalho.

Dessa forma, os resultados apresentados neste estudo mostraram-se adequados como base para estudos de futuras construções, compras de terrenos, orientação sobre tipos de fundações e suas dimensões e análise inicial de investimentos, levando em consideração

profundidade que as perfurações podem alcançar além da composição dos solos, melhorando assim as estimativas e reduzir tempo e custo na fase de análise de viabilidade do projeto.

O trabalho realizado pode, portanto, servir de base para ações de planejamento e ordenamento do território no centro de Macapá, permitindo assim que a prefeitura do município obtenha, de modo especializado, informações sobre a região podendo assim reorganizar o uso e ocupação da região, e conforme o banco de dados é alimentado com mais informações e mais regiões abranger, talvez, o município inteiro.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Apesar dos esforços empregados, a escassez de informações ainda esteve presente e representou um desafio para o estudo, no entanto, não impediu a elaboração dos mapas. Com vistas a futuras investigações, sugerem-se as seguintes abordagens:

- Adquirir mais relatórios de sondagem, estabelecendo colaborações com outras empresas e instituições acadêmicas, visando a continuidade do trabalho. A ampliação do conjunto de dados contribuirá para a confiabilidade aprimorada dos mapas, devido à maior quantidade de informações disponíveis, resultando em estimativas mais precisas.
- Gestar uma parceria com a Prefeitura Municipal de Macapá ou com o Exército para acessar a planta topográfica da cidade e desenvolver um Modelo Digital de Terreno (MDT). Essa abordagem auxiliará na análise aprofundada dos mapas.
- Deliberadamente selecionar locais de sondagem durante épocas distintas, representadas por períodos chuvosos e de estiagem, a fim de investigar as variações no comportamento do lençol freático através dos mapas gerados.
- Incluir no estudo uma relação direta com a periodização das chuvas e verificar sua influência na capacidade de carga através do N_{SPT} dos ensaios.
- Sobrepor o estudo realizado por Silva (2019) e o presente mesclando as ferramentas de interpolação adotadas para a verificação dos resultados obtidos, e se possível, a adição de um terceiro banco de dados.

Por fim, é crucial ressaltar a relevância da contínua atualização do banco de dados geológico-geotécnico. Além disso, a inclusão de novos dados é altamente recomendada, uma vez que a fidedignidade dos mapas produzidos está diretamente ligada à robustez do banco de dados empregado.

7 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Paulo José Rocha de; GARCIA, Jean Rodrigo. **Engenharia de Fundações**, 1. Ed, Rio de Janeiro, LTC, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6484: Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2020.

BERBERIAN, Dickran. **ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES**. 2º Edição, UNB, 2015.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>. Acesso em 22 de abril, 2023.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V.; FUCKS, S.D.; CARVALHO, M.S. **ANÁLISE ESPACIAL E GEOPROCESSAMENTO**. In: DRUCK, S. et al (Ed.). Análise espacial de dados geográficos. Brasília: EMBRAPA, 2004.

COROA, Beatriz Carolina Lopes. **CONTRIBUIÇÃO DE BASE DE DADOS DE MAPAS DE ÍNDICE DE RESISTÊNCIA À PERCUSSÃO DO SOLO PARA O PLANO DIRETOR DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ**. 2022. 57 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amapá, Macapá.

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **CARTA DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA E INUNDAÇÕES MUNICÍPIO DE CUBATÃO – SP**. ITP, 2015

LANDIM, Paulo Milton Barbosa. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Lab. Geomatématica, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Texto Didático 02, 2000.

LANDIM, Paulo Milton Barbosa; STURARO, José Ricardo. **Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Lab. Geomatématica, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Texto Didático 06, 2002.

OLIVEIRA, Ronaldo Pereira; GREGO, Célia Regina; BRANDÃO, Ziany Neiva. 2015. **Geoestatística aplicada na agricultura de precisão utilizando o Vesper**. Editores Técnicos. Brasília, DF: Embrapa, PDF.

REBELLO, Yopanan Conrado Pereira. **Fundações: guia prático de projeto, execução e dimensionamento**. 3. ed. São Paulo: Ed. Ziguarte, 2011.

ROSA, Roberto.; **Introdução ao geoprocessamento**. Uberlândia: Universidades Federais de Uberlândia, 2013.

SANTOS, Juliana Vieira dos. **Aplicação de SIG para análise do perfil geológico-geotécnico do campus sede da UFSC e elaboração de cartas de aptidão para fundações utilizando sondagem SPT**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 2016.

SILVA, Ronaldo Umbelino Rolim da. **APLICAÇÃO DE FERRAMENTA SIG PARA A INTERPOLAÇÃO DE DADOS OBTIDOS EM ENSAIOS SPT: ANÁLISE DA PROFUNDIDADE DO LENÇOL FREÁTICO, DO IMPENETRÁVEL E DOS VALORES DE NSPT DA REGIÃO CENTRAL DE MACAPÁ – AP**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2019.

THIESEN, Stephanie. **Aplicação de ferramenta SIG para mapeamento geotécnico e cartas de aptidão para fundação a partir de ensaios SPT – um estudo de caso em Blumenau/SC**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis, 2016

VELLOSO, Dirceu de Alencar; LOPES, Francisco de Rezende. **FUNDAÇÕES: CRITÉRIOS DE PROJETO, INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO, FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS, FUNDAÇÕES PROFUNDAS**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

ZUQUETTE, Lázaro V.; GANDOLFI, Nilson. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.