

## **MAPEAMENTO GEOTÉCNICO DO SUBSOLO DE LUCAS DO RIO VERDE – MT COM BASE EM ENSAIOS DPL E SPT**

### **GEOTECHNICAL MAPPING OF THE SUBSOIL OF LUCAS DO RIO VERDE - MT BASED ON DPL AND SPT TESTS**

**MAYANY LUPATINI.** Acadêmica do curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT *Campus* de Sinop

**KATIANE BACKES BRUNHAUSER.** Acadêmica do curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT *Campus* de Sinop

**FRANCIELI SCHOENHALS DELAVY.** Acadêmica do curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT *Campus* de Sinop.

**GUSTAVO HENRIQUE NUNES.** Acadêmico do curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT *Campus* de Sinop.

**JOÃO PAULO BOFF ALMEIDA.** Acadêmico do curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT *Campus* de Sinop.

**FLÁVIO ALESSANDRO CRISPIM.** Doutor pela Universidade Federal de Viçosa, Mestre pela Universidade Federal de Viçosa, Engenheiro Civil Universidade Federal de Viçosa, Docente do curso de graduação em Engenharia Civil da UNEMAT *Campus* de Sinop.

Endereço para correspondência: Avenida dos Ingás, 3001, Jardim Imperial, Sinop, Mato Grosso, Brasil. CEP: 78550-000. E-mail: fran.delavy@hotmail.com Tel: (66) 99625-4052

#### **RESUMO**

No que diz respeito à investigação do subsolo de áreas urbanas, o mapeamento geotécnico é um documento que contém informações do subsolo de maneira sistematizada, de modo a orientar a elaboração de estratégias de planejamento urbano quanto ao uso e ocupação do solo. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo confeccionar cartas geotécnicas do subsolo da área urbana de Lucas do Rio Verde com base em dados de ensaios DPL e SPT. Para a criação do banco de dados, realizou-se o levantamento de dados topográficos, geológicos e geotécnicos. As informações geotécnicas foram obtidas por meio de 66 relatórios de sondagem SPT e de 11 relatórios de ensaio DPL. Por meio do ensaio DPL obteve-se o comportamento da resistência do solo, da resistência de ponta e do atrito lateral ao longo da profundidade. Com os dados dos relatórios SPT obteve-se o  $N_{SPT}$  médio em 7 intervalos de profundidade gerando 7 cartas geotécnicas. Assim, pode-se concluir que o subsolo é composto por solo dos tipos areia, silte e argila de granulação média à fina. O  $N_{SPT}$  variou de 1 a 41 e o  $N_{10}$  de 1 a 32, com o avanço da profundidade. De modo geral, o mapa de zoneamento urbano do município encontra-se condizente com o mapeamento geotécnico realizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mapeamento geotécnico. Ensaio DPL. Ensaio SPT. Resistência. Lucas do Rio Verde.

#### **ABSTRACT**

In relation to the investigation of the subsoil of urban areas, the geotechnical mapping is a document that contains information of the subsoil in a systematized way, in order to guide the elaboration of urban planning strategies about the use

and occupation of the ground. In this way, this work has the objective of making geotechnical maps of the subsoil of the urban area of Lucas do Rio Verde based on DPL and SPT data. For the creation of the database, the data survey of topographic, geological and geotechnical data was carried out. The geotechnical information was obtained through 66 SPT survey reports and 11 DPL test reports. Through the DPL test the behavior of soil resistance, tip resistance and lateral friction along the depth was obtained. With the data from the SPT reports the medium  $N_{SPT}$  in 7 depth intervals was obtained generating 7 geotechnical charts. Therefore, it can be concluded that the subsoil is composed of sand, silt and clay to medium to fine grain soil. The  $N_{SPT}$  ranged from 1 to 41 and the  $N_{10}$  from 1 to 32 with depth advancement. In general, the city zoning map of the municipality is consistent with the geotechnical mapping performed.

**KEYWORDS:** Geotechnical mapping. DPL test. SPT test. Resistance. Lucas do Rio Verde.

## INTRODUÇÃO

A investigação do subsolo é fundamental para a elaboração de um projeto geotécnico, pois através dela é possível conhecer as características do solo e obter os parâmetros necessários para o dimensionamento de qualquer tipo de obra. As características do subsolo podem ser obtidas por meio de ensaios de campo e de laboratório.

O ensaio de campo tradicionalmente empregado no Brasil é o *Standard Penetration Test* (SPT). Apesar de amplamente difundido, existem detalhes durante a execução deste ensaio que podem interferir nos resultados finais da investigação. Além disso, devido à alta energia utilizada pelo equipamento, alguns estudos como, por exemplo a comparação entre os ensaios de SPT e DPL realizado por Nilsson (2004a), mostraram que o SPT apresenta pouca sensibilidade nos solos de baixa capacidade de carga, evidenciando a necessidade de utilização de um ensaio de campo alternativo, de execução simples e que utilize uma baixa energia aplicada na penetração do solo.

Uma alternativa ao SPT é o ensaio de Penetrômetro Dinâmico Leve (*Dynamic Probing Light* - DPL), que vem apresentando bons resultados em prospecções nos solos brasileiros, comprovados em estudos já realizados por vários autores, tais como: Mota (2003), que estudou argilas em Brasília-DF utilizando o DPL juntamente com outros ensaios; Nilsson (2004a), que fez comparações entre o DPL e o SPT; Ávila e Conciani (2005), que relataram as primeiras experiências com DPL em Mato Grosso e Nilsson (2008), que trouxe correlações e obtenções de parâmetros do solo por meio do DPL.

O DPL é um instrumento de ensaio de investigação geotécnica que fornece índices sobre a resistência do solo através da cravação de uma ponteira cônica metálica. O equipamento possui como vantagens a praticidade, o baixo custo operacional e do equipamento e dimensões reduzidas que facilitam a sua mobilização e utilização em regiões de difícil acesso.

Como forma de análise das características geotécnicas obtidas por meio de ensaios de campo, surge o mapeamento geotécnico, que contém informações a respeito do subsolo de maneira sistematizada, de modo a orientar o melhor uso e ocupação do solo, seja na construção de edificações, obras subterrâneas ou ainda, na execução de infraestruturas.

O emprego de mapas/cartas geotécnicas por parte dos órgãos competentes responsáveis pelo planejamento urbano de um município possibilita que as áreas urbanas sejam mais bem exploradas e ocupadas, aproveitando as potencialidades e respeitando as limitações que o solo e subsolo oferecem.

Dentro deste contexto, este trabalho tem como objetivo confeccionar cartas geotécnicas do subsolo da área urbana do município de Lucas do Rio Verde com base em dados de ensaios DPL e SPT.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

### **ENSAIOS GEOTÉCNICOS**

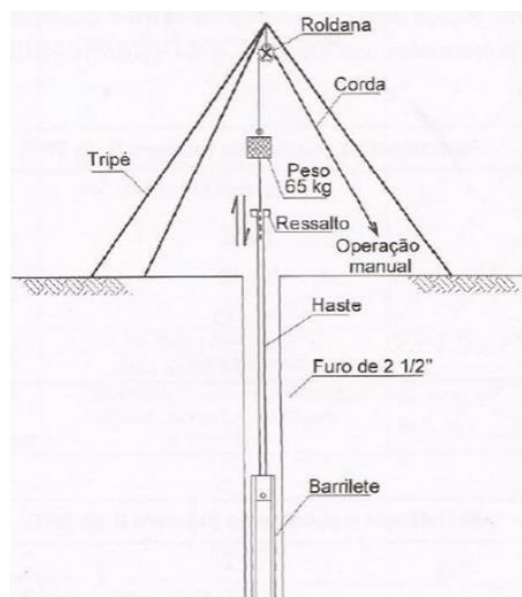
#### ***Standart Penetration Text – SPT***

O *Standard Penetration Test – SPT*, desenvolvido no final da década de 1920 e é atualmente a ferramenta de investigação geotécnica mais utilizada na prática da engenharia. É normatizado no Brasil pela ABNT (2001).

Segundo a ABNT (2001), a sondagem deve ser iniciada com a utilização do trado-concha até a profundidade de 1 metro. Na base do furo desta escavação, apoia-se o amostrador-padrão de diâmetro externo de 50,8 mm +- 2 mm, e acoplado a ele, a haste de perfuração que deverá ter marcações, com giz, de um seguimento de 45 cm dividido em três trechos iguais de 15 cm.

A ABNT (2001) preconiza que a cada metro de perfuração devem ser colhidas amostras do solo por meio do amostrador-padrão, a partir de 1 metro de profundidade.

Prossegue-se a cravação do amostrador por meio da queda sucessiva do martelo padronizado de 65kg que cai livremente de uma altura de 75 cm, conforme esquematizado na Figura 1. Deve-se então, anotar o número de golpes necessários à cravação de cada segmento de 15 cm. Assim, o valor do índice de resistência do solo ( $N_{30}$  ou  $N_{spt}$ ) é a soma do número de golpes para a penetração do amostrador nos últimos 30 cm do solo.



**Figura 1** - Esquema de Ensaio do SPT. **Fonte:** Pinto (2006).

O ensaio será interrompido quando atingir o impenetrável ou o critério técnico adequado para a obra.

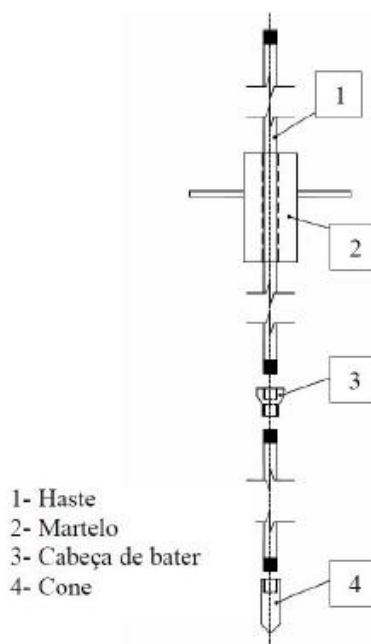
Apesar da ampla utilização desse ensaio em regiões que apresentam solos de baixa resistência, tal qual o solo objeto de estudo, o SPT não apresenta sensibilidade para bem avaliar este tipo de solo (ÁVILA e CONCIANI, 2006). Nilsson (2004a) indica a utilização do SPT em solos com  $N_{SPT} > 20$ , em furos com mais de 12 metros ou ainda em solo granular.

### **Penetrômetro Dinâmico Leve – DPL**

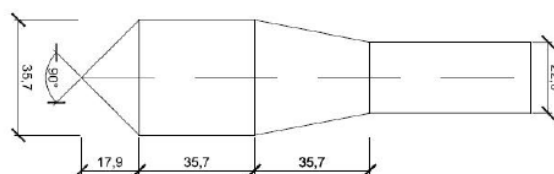
O penetrômetro dinâmico leve (*Dynamic Probing Light – DPL*) é um penetrômetro dinâmico que consiste na cravação de um cone metálico no solo, através de uma pequena energia por golpe e, por esse motivo, é empregado nas sondagens em solos moles (ÁVILA; CONCIANI, 2005).

Apesar de ser amplamente difundido internacionalmente e normatizado na União Europeia (AENOR, 2008) e Estados Unidos (ASTM, 2009), no Brasil ainda não existe uma normativa que regulamenta este ensaio.

A composição do equipamento (Figura 2) segundo Aenor (2008) consiste em uma ponteira cônica de diâmetro 35,7 mm com ângulo de 90° (Figura 3), acoplada a um conjunto de hastes formadas por segmentos de barras extensoras rosqueáveis, sendo as barras com 22 mm de diâmetro e as roscas com 16 mm de diâmetro. Cada segmento de haste possui 1 metro de comprimento com marcações a cada 10 cm, de modo a facilitar o registro de dados no campo. Há ainda, a cabeça de bater que receberá os golpes do martelo, de peso igual a 10 kg, com altura de queda de 50 cm.



**Figura 2** - Esquema do equipamento DPL. **Fonte:** Ávila e Conciani (2006).



**Figura 3** - Dimensões da ponteira cônica do DPL. **Fonte:** Pinto (2012).

De acordo com a Aenor (2008), o procedimento de ensaio consiste na cravação do equipamento de maneira contínua no terreno, em uma velocidade entre 15 e 30 golpes por minuto, realizando o registro do número de golpes para cada 10 cm de penetração ( $N_{10}$ ), e a medida do torque a cada 1 metro de penetração, no mínimo. Desse modo, obtêm-se o perfil de resistência do solo ao longo da perfuração e a leitura do nível d'água através do furo deixado pela cravação do equipamento. A cravação será cessada quando o ensaio atingir os critérios de paralização, ou seja, quando ocorrer 100 golpes para a penetração de 10 cm, ou 50 golpes continuamente durante 1 metro de penetração.

O resultado inicial obtido pelo ensaio DPL são os valores de  $N_{10}$  em função da profundidade, que irá fornecer uma ideia inicial do comportamento do solo ao longo da perfuração (NILSSON, 2008).

Segundo a Aenor (2008), a interpretação dos resultados é feita através das Equações 1, 2 e 3.

A energia transmitida ao cone é calculada conforme a Equação 1.

$$E_{teor.} = m * g * h \quad \text{(Equação 1)}$$

Em que:

$E_{teor.}$  = Energia teoricamente transmitida ao cone;

$m$  = massa do martelo, em kg;

$g$  = aceleração da gravidade, em  $m/s^2$ ;

$h$  = altura de queda do martelo, em m.

A resistência de trabalho da ponta para penetrar no terreno é determinada pela Equação 2.

$$r_d = \frac{E_{teor.}}{A * e} \quad \text{(Equação 2)}$$

Em que:

$r_d$  = valores de resistência de trabalho para penetração no terreno;

$A$  = área de base da ponta, em  $m^2$ ;

$e$  = a penetração média, em metros por golpe.

A tensão de resistência de ponta é dada pela Equação 3.

$$q_d = \left( \frac{m}{m + m'} \right) * r_d \quad \text{(Equação 3)}$$

Em que:

$q_d$  = valores de resistência de ponta para o penetrômetro, (0,10/ $N_{10}$  para o DPL);

$N_{10}$  = número de golpes necessário para a penetração de 100 mm;

$m$  = massa do martelo, em kg;

$m'$  = massa total das hastes de prolongação, da cabeça de impacto e das barras guias até a cota considerada, em kg.

A partir do acoplamento de um torquímetro na haste do equipamento, é possível a mensuração de parâmetros geotécnicos, como a resistência ao cisalhamento entre a ponteira do DPL e o solo, que é obtida através da tensão de cisalhamento ou atrito lateral ( $f$ ), por meio da Equação 4, com o momento de torque ( $M$ ) em N.m e o atrito lateral ( $f$ ) em kPa (NILSSON, 2008).

$$f = 10 * M \quad \text{(Equação 4)}$$

Com os valores de  $N_{10}$ , torque máximo, tensão de resistência de ponta ( $q_d$ ) e atrito lateral ( $f$ ), pode-se obter de maneira aproximada outros parâmetros geotécnicos como: a coesão, o ângulo de atrito das camadas de solo, a consistência dos solos argilosos e a compacidade dos solos granulares (NILSSON, 2008).

Neste contexto, valores para coesão e ângulo de atrito do solo podem ser obtidos, de modo que, se o solo é composto por mais de 40% de argila, o solo é considerado como coesivo, com  $c > f$ ; se o solo é composto por mais de 75% de areia, é considerado como granular, com ângulo de atrito dominante e coesão

aproximada a zero; e se o solo é saturado, a coesão e principalmente o ângulo de atrito diminuem consideravelmente (NILSSON, 2008).

Pode-se então, estimar esses parâmetros através da equação de Mohr-Coulomb (Equação 5).

$$\tau_f = c + \sigma' * \text{tag}\phi \quad (\text{Equação 5})$$

Em areias, o ângulo de atrito estimado pode ser expresso pela Equação 6.

$$\phi' > \frac{f}{0,019 * \sigma'} \quad (\text{Equação 6})$$

Em que:

$\phi'$  = Ângulo de atrito do solo;

$\sigma'$  = Tensão do solo;

f = Atrito lateral medido.

Para facilitar a interpretação direta dos valores obtidos pelo DPL ( $N_{10}$ ), Nilsson (2008) desenvolveu uma tabela (Tabela 1) na qual pode-se determinar a compacidade de solos granulares. A norma Alemã DIM 4094, apresenta uma mesma tabela (Tabela 2), porém para obtenção da consistência coesiva de solos não-saturados.

**Tabela 1** – Compacidade de solos granulares avaliados a partir do DPL

<b>Golpes <math>N_{10}</math></b>	<b>Compacidade</b>
< 1	Muito solto
< 7	Solto
7 – 83	Medianamente solto
> 83	Compacto

**Fonte:** Adaptado de Nilsson (2008).

**Tabela 2** – Consistência de solos finos avaliados a partir do DPL

<b>Golpes <math>N_{10}</math></b>	<b>Consistência</b>
< 3	Muito mole
3 – 6	Mole
6 – 12	Medianamente mole
13 – 22	Duro
23 – 45	Muito duro
> 45	Rígido

**Fonte:** Adaptado de DIM (1991 apud NILSSON, 2008).

Nilsson (2008) ressalta ainda que, em projetos geotécnicos, deve-se ter uma atenção especial para solos com  $N_{10} < 7$ , pois são solos moles e normalmente precisam ser reforçados. Solos com  $N_{10}$  maior que 80 golpes são considerados solos de alta resistência. Solos com  $N_{10}$  de 3 a 25 golpes são

normalmente fáceis de escavar. Nilsson (2004a) recomenda que o ensaio de DPL seja utilizado em solos com baixa resistência, com  $N_{SPT} < 4$ .

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **LOCAL**

O local de estudo foi a área urbana do município de Lucas do Rio Verde – MT, que atualmente possui aproximadamente 33 km<sup>2</sup> de extensão. No “ANEXO A” é apresentado o mapa de zoneamento do município, por meio do qual é possível observar a delimitação do perímetro urbano e como a cidade está dividida. Assim, as zonas residenciais são identificadas pelas cores vermelha, laranjada e amarela; as zonas comerciais pelas cores azul claro e azul escuro; e a zona industrial pela cor marrom.

### **FORMAÇÃO DO SOLO DE LUCAS DO RIO VERDE**

Segundo Giacheti et al. (2006) o conhecimento da história geológica dos terrenos é fundamental para a adequada interpretação da geometria das camadas, além de propiciar, através de suas características, um melhor entendimento da formação e do comportamento do solo.

A Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – CPRM disponibiliza o mapa geológico do Estado de Mato Grosso, o qual descreve as principais características do solo e suas unidades litoestratigráficas.

Com base no mapa geológico o município de Lucas do Rio Verde está na delimitação da unidade litoestratigráfica de sigla NQdl, que significa “Coberturas Detrito-Lateríticas Ferruginosas: lateritas com concentrações ferruginosas, níveis de cascalho e horizontes mosqueados”. Além disso, este solo teve formação na era Fanerozoicas, era Cenozoico, entre os períodos quaternário e terciário, a cerca de 1,8 milhão de anos. De acordo com o mapa de domínios tectono-estratigráficos, o município pertence a Bacia do Parecis (CPRM, 2004). O mapa de solos ainda caracteriza o solo como LVAd – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (IBGE, 2009).

A região de estudo pertence a Bacia do Parecis uma das oito bacias sedimentares Fanerozoicas do Brasil. A Bacia é formada por uma área de 500.000 km<sup>2</sup> nos estados de Rondônia e Mato Grosso, com mais de 6.000 metros de sedimentos Paleozoicos, Mesozoicos e Cenozoicos (BAHIA, 2007).

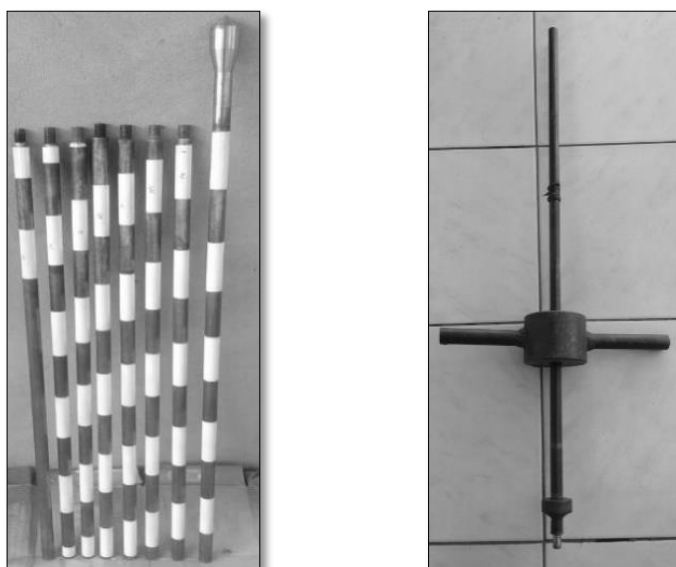
Apesar de pertencer a Bacia do Parecis, as unidades litoestratigráficas que caracterizam o solo do município são de formação mais recente.

### **Penetrômetro Dinâmico Leve – DPL**



Para o ensaio de DPL com torque utilizou-se o equipamento existente no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, *Campus* de Sinop, construído de acordo com a AENOR (2008) por Pinto (2012).

O instrumento (Figura 4) consiste em uma ponteira cônica de 35,7 mm de diâmetro com ângulo de 90°, acoplada a um conjunto de hastes metálicas ajustáveis por meio de rosca, sendo cada haste de 1 metro de comprimento com marcações a cada 10 cm (Figura 4a), de modo a facilitar o registro de dados no campo. Há ainda, a cabeça de bater que recebe os golpes do martelo, de massa padronizada igual a 10 kg, com altura de queda de 50 cm (Figura 4b).



a) Hastes extensoras      b) Haste com cabeça de bater e martelo

**Figura 4** - Detalhe do equipamento DPL. **Fonte:** Os autores.

Na Tabela 3 são exibidas as partes que compõe o equipamento DPL, suas dimensões e suas respectivas massas.

**Tabela 3** – Características do equipamento

Peças	Comprimento (m)	Massa (kg)
Haste 1 – c/ ponteira	1,18	3,740
Haste de extensão – 2 a 8	1,00	2,925
Haste 9 – c/ cabeça de bater	1,20	3,914
Martelo de bater	0,10	10,00

**Fonte:** Os autores.

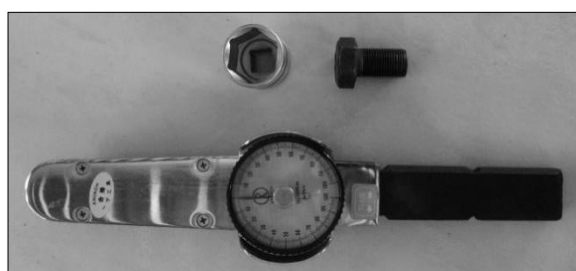
Na Figura 5 são apresentados todos os equipamentos e materiais auxiliares utilizados durante a execução do ensaio.



**Figura 5** - Equipamentos e materiais auxiliares. **Fonte:** Os autores.

### **Torquímetro**

O torquímetro utilizado é do tipo relógio, com possibilidade de medidas nominais de até 100 N.m e resolução de 1 N.m.



**Figura 6** - Torquímetro e adaptador. **Fonte:** Os autores

### **Levantamento topográfico, geológico e geotécnico**

Para criar um banco de dados e melhor entender o comportamento do subsolo da área urbana de Lucas do Rio Verde, realizou-se o levantamento de dados topográficos, geológicos e geotécnicos.

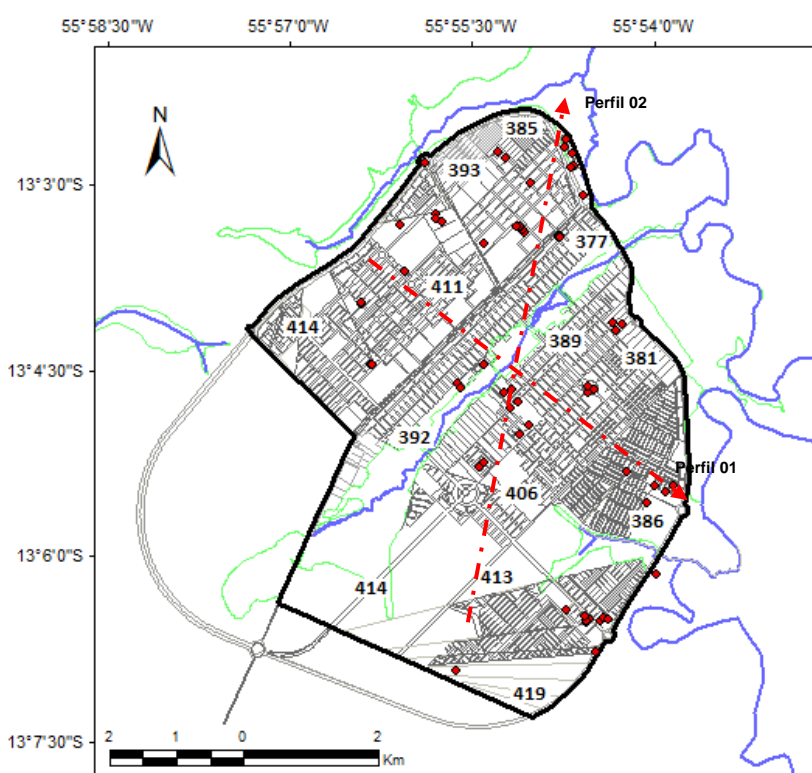
A topografia do terreno foi obtida por meio de imagens SRTM do sistema geodésio SIRGAS 2000, zona 21S e com auxílio da ferramenta SIG.

Os dados geológicos foram obtidos através da análise dos relatórios de perfuração de poços dos municípios de Nova Mutum, Lucas do Rio Verde, Sorriso e Sinop, fornecidos pelas empresas responsáveis pelo abastecimento de água da região.

Os dados geotécnicos foram obtidos através da análise de relatórios de sondagens de simples reconhecimento com ensaio SPT da área urbana do município, fornecidos por uma empresa que realiza esse tipo de sondagem na região.

Na Figura 7 são apresentados os 66 locais de realização do ensaio, o traçado de dois perfis longitudinais e seus sentido com relação ao terreno e a indicação de algumas cotas altimétricas.

Os dados dos relatórios de SPT foram compilados em planilha eletrônica de modo a obter o  $N_{SPT}$  médio de cada ponto de ensaio nos seguintes intervalos de profundidades: de 0,0 m à 3,5 m, de 3,5 m à 7,0 m, de 7,0 m à 11,0 m, de 11,0 m à 15,0 m, de 15,0 m à 21,0 m, de 21,0 m à 25,0 m e de 25,0 m à 30,0 m. Esses intervalos foram determinados analisando o comportamento da resistência do solo e o tipo de solo encontrado ao longo da prospecção, obtendo assim valores de  $N_{SPT}$  médio em profundidades com  $N_{SPT}$  parecidos e com um mesmo tipo de solo.



**Figura 7** - Pontos dos ensaios de SPT e traçados dos perfis longitudinais. **Fonte:** Os autores.

### Ensaio DPL

A execução do ensaio DPL seguiu as recomendações da AENOR (2008): posicionou-se sobre uma superfície nivelada a ponteira com a barra aprumada e nivelada. Em seguida rosqueou-se o conjunto formado pela haste-guia e a cabeça de bater posicionando o martelo a uma altura de 50 cm e liberando-o em queda livre, iniciando uma sequência de golpes.

Para garantir o nivelamento do equipamento foram utilizados quatro painéis de andaime e um caibro de madeira, conforme pode ser observado na Figura 8.



**Figura 8** - Montagem do equipamento. **Fonte:** Os autores.

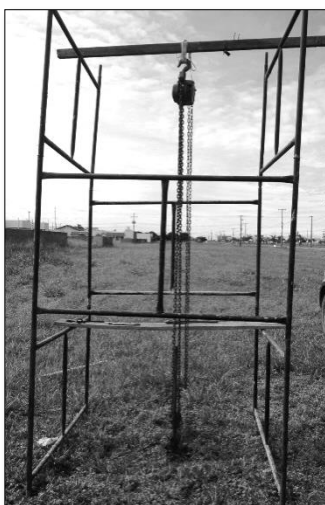
Com o equipamento devidamente posicionado, iniciou-se a sequência de golpes com velocidade entre 15 a 30 golpes por minuto, registrando em uma planilha de campo o número de golpes ( $N_{10}$ ) necessários para a cravação de 10 cm do aparelho no solo.

Esse procedimento foi repetido várias vezes até que a parte inferior da cabeça de bater estivesse a 10 cm da superfície. Quando isso ocorreu, o martelo foi removido e o conjunto haste-guia e cabeça de bater desrosqueados e retirados do sistema.

Neste momento, nos pontos escolhidos para medição do torque o torquímetro foi acoplado no topo da haste, e a medida do torque máximo entre a ponteira e o solo mensurada e registrada. Logo após, retirou-se o torquímetro e acrescentou-se uma nova haste dando sequência ao ensaio.

Todos os pontos ensaiados cessaram ao atingirem a profundidade de 7 metros, limite de sondagem do equipamento utilizado.

Ao término do ensaio e com auxílio de uma talha manual, a ponteira e as hastes cravadas no solo foram retiradas. Na Figura 9 é mostrada a montagem do equipamento de extração das hastes.



**Figura 9** - Montagem do equipamento de extração. **Fonte:** Os autores.

Durante a execução dos ensaios, o equipamento apresentou desgaste nas roscas, provavelmente devido a fadiga mecânica ocasionada pelo golpes sucessivos do martelo.

Além disso, por se tratar de um solo composto predominantemente por granulometria fina, conforme indicado nos dados geológicos e geotécnicos obtidos, realizou-se a classificação de sua consistência de acordo com o  $N_{10}$  e conforme a Tabela 2.

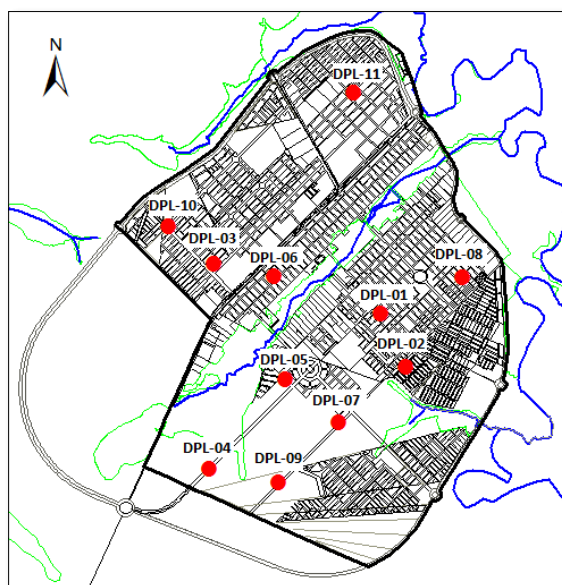
## ANÁLISE DOS RESULTADOS

### DADOS GEOLÓGICOS

Por meio da análise dos relatórios de perfuração de poços dos municípios de Nova Mutum, Lucas do Rio Verde, Sorriso e Sinop, tem-se que estes possuem a mesma formação geológica, uma vez que pertencem a Bacia do Parecis, apresentam características do subsolo semelhantes, com solo sedimentar composto por areia, argila e silte de granulação predominante de média à fina.

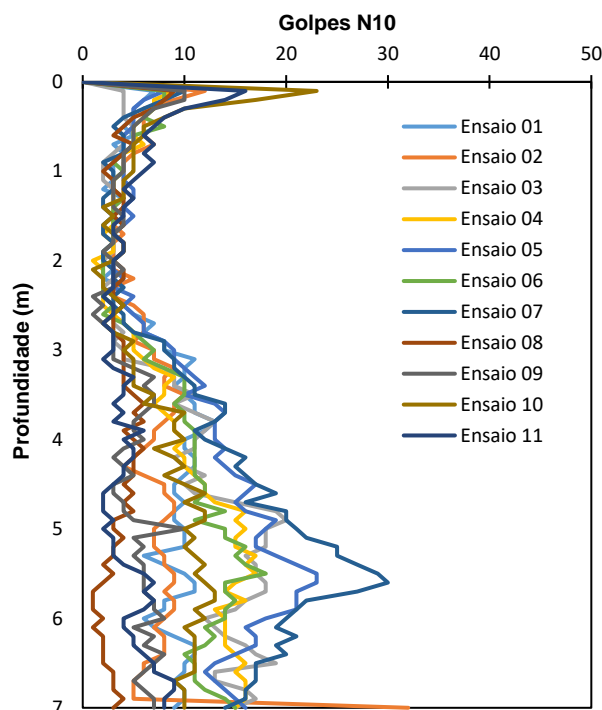
### ENSAIO DPL

O ensaio DPL foi realizado em 11 pontos (Figura 10) e destes houve a mensuração do torque nos locais apontados como DPL-08, DPL-09, DPL-10 e DPL-11. Esses pontos foram escolhidos de modo que a área do perímetro urbano fosse dividida em quatro partes, onde todas estas teriam pelo menos um ponto representante. Apenas no DPL-08, foi encontrado o nível da água na profundidade de 5,90 m.



**Figura 10** - Locais de execução do ensaio DPL. **Fonte:** Os autores.

A partir dos valores  $N_{10}$  registrados pôde-se elaborar um gráfico do número de golpes ( $N_{10}$ ) *versus* profundidade (Figura 11).

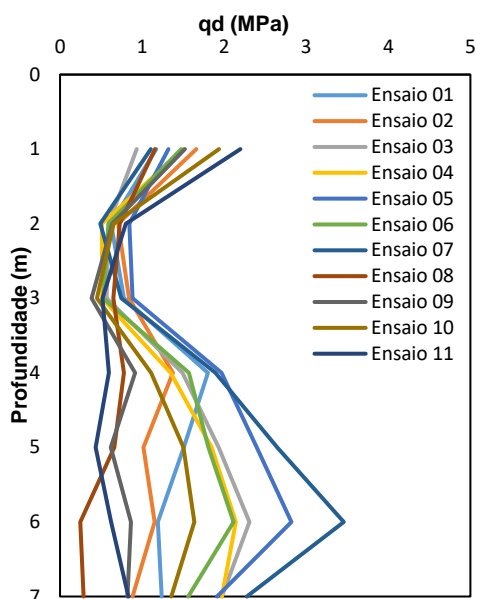


**Figura 11** - Valores de número de golpes *versus* profundidade. **Fonte:** Os autores.

Analisando a Figura 11 pode-se perceber que o solo apresenta um comportamento parecido ao longo de toda a área estudada, em que no primeiro 0,50 metro apresentou-se uma maior resistência, provavelmente devido à compactação da camada superficial do solo. Nas profundidades entre 1 m a 3 m tem-se valor de  $N_{10}$  médio de 4 golpes. A partir dos 3 metros de profundidade tem-se um aumento da resistência de modo geral com valores de  $N_{10}$  médio de 10 golpes. Exceções neste trecho foram os ensaio 08, 09 e 11 onde se tem ainda um solo com baixa resistência à penetração.

Pinto (2012) apresentou resultados de DPL para o solo de Sinop-MT, a 150 km de Lucas do Rio Verde e encontrou predominantemente valores de  $N_{10}$  entre 3 e 6 golpes ao longo dos 7 metros de sondagem, indicando também um solo com baixa resistência a penetração.

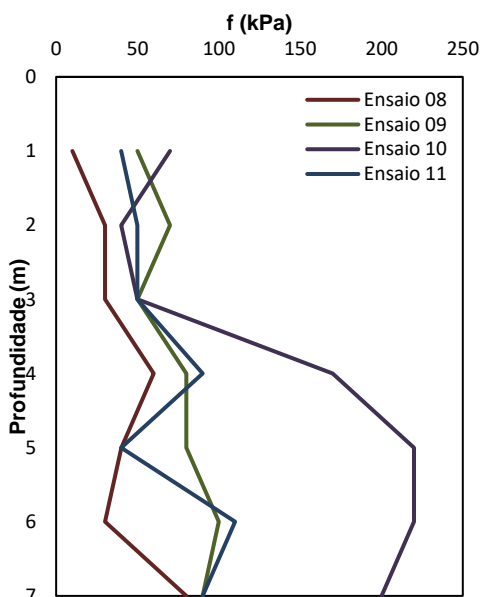
O cálculo da tensão de resistência de ponta ( $q_d$ ) foi realizado por meio das Equações 1, 2 e 3, gerando o gráfico resistência de ponta *versus* profundidade para cada metro de avanço da profundidade (Figura 12).



**Figura 12** - Valores de resistência de ponta (qd) versus profundidade. **Fonte:** Os autores.

Conforme observado, nas profundidades entre 1 m e 3 m a resistência de ponta é de aproximadamente 1 MPa e com avanço da profundidade tende a aumentar para o valor médio de 1,50 MPa. O maior valor obtido foi de 3,46 MPa no ensaio 07. No ensaio 08, a resistência de ponta diminui, chegando ao menor valor mensurado de 0,25 MPa, isso pode ter ocorrido porque na profundidade de 5,90 m foi encontrado o nível da água.

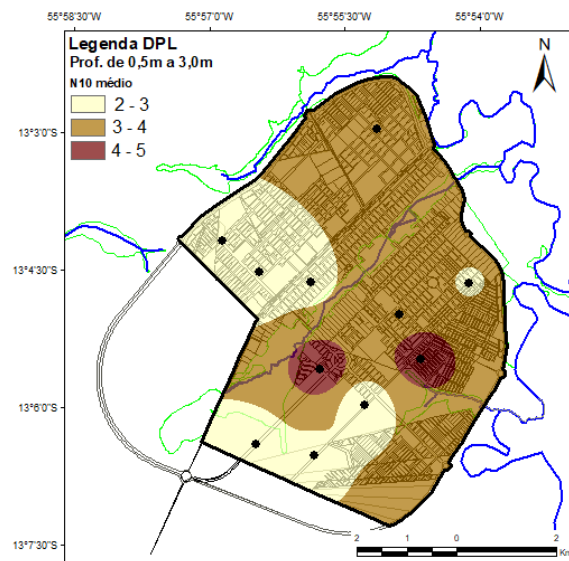
Para a obtenção do gráfico atrito lateral versus profundidade (Figura 13) foram calculados o atrito lateral (f) por meio da Equação 4 para cada metro de avanço da profundidade.



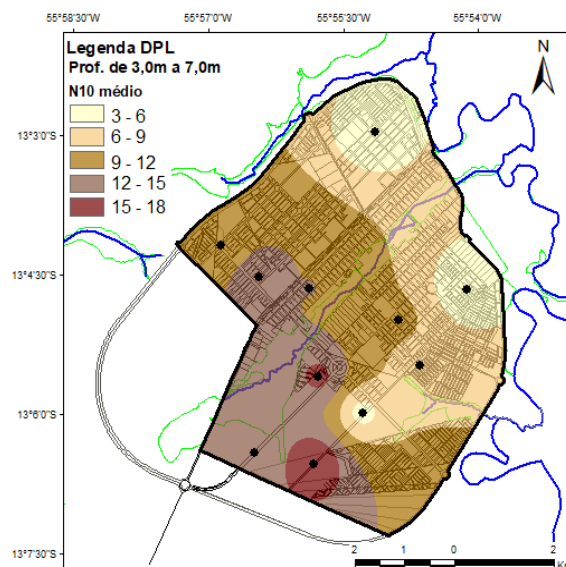
**Figura 13** - Valores de atrito lateral (f) versus profundidade. **Fonte:** Os autores.

Nas profundidades analisadas o valor do atrito lateral está, predominantemente, entre 40 kPa e 70 kPa. Houve uma discrepância nos valores de  $f$  obtidos no ensaio 10 que não condizem com os valores de resistência obtidos nos gráficos das Figuras 11 e 12. Logo, este ponto deve ser refeito pois o resultado aqui obtido não é conclusivo.

Com os dados da Figura 11, confeccionou-se duas cartas de resistência do solo com base no ensaio DPL. A primeira considerando a média dos valores de  $N_{10}$  para as profundidades de 0,5 metro à 3,0 metros, desconsiderando assim a camada superficial do solo (Figura 14). E a segunda, utilizando os valores de  $N_{10}$  médio para as profundidades de 3,0 metros à 7,0 metros (Figura 15).



**Figura 14** - Carta de isoietas com  $N_{10}$  médio nas profundidade de 0,5 m a 3,0 m. **Fonte:** Os autores.



**Figura 15** - Carta de isoietas com  $N_{10}$  médio nas profundidade de 3,0 m a 7,0 m. **Fonte:** Os autores.



Conforme classificação da Tabela 2, nas regiões com  $N_{10}$  menores do que 3 golpes tem-se um solo de consistência muito mole, nas regiões com  $N_{10}$  entre 3 e 6 golpes tem-se um solo mole, nas regiões com  $N_{10}$  entre 6 e 12 golpes tem-se um solo medianamente mole e nas regiões com  $N_{10}$  entre 12 e 18 um solo de consistência dura, este por sua vez, encontrado em pequena proporção.

Pode-se perceber que a partir da profundidade de 3 metros, o solo apresenta uma menor resistência à penetração nas áreas próximas aos cursos de rios, onde o nível do terreno é mais baixo.

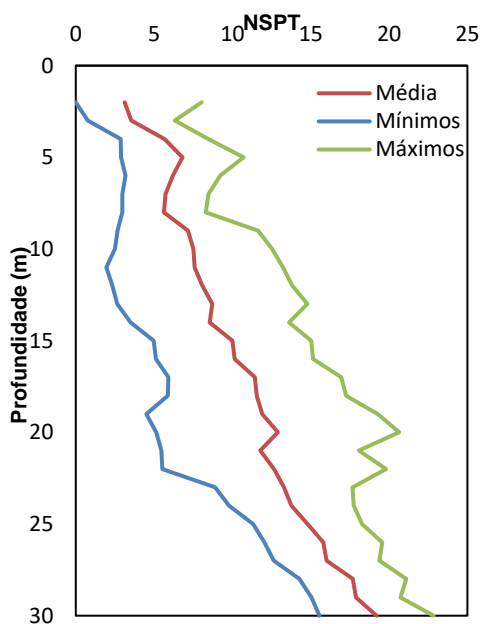
## CARTAS E PERFIS GEOTÉCNICOS

Com os dados dos relatórios de SPT foram elaborados sete cartas geotécnicas da área urbana do município, as quais são apresentadas no apêndice.

Dos 66 relatórios de SPT, 36 deles foram executados no período de seca, entre os meses de Abril e Setembro, e os outros 30 no período chuvoso entre os meses de Outubro e Março.

Até os 15,0 m de sondagem foram interpolados os resultados dos 66 pontos de ensaio de SPT. A partir de então, na carta geotécnica de 15,0 m a 21,0 m foram utilizados 58 pontos, na carta de 21,0 m a 25,0 m utilizou-se 26 pontos e na carta de profundidade entre 25,0 m e 30,0 m apenas 20 pontos de ensaio. Essa redução na quantidade de ensaios realizados acontece devido ao limite de cravação em cada ponto.

A Figura 16 mostra os valores médio de  $N_{SPT}$  e seus mínimos e máximos com base no cálculo do desvio padrão, para cada metro do avanço da profundidade, sendo possível verificar que os valores de  $N_{SPT}$  aumentam em maiores profundidades.



**Figura 16** - Valores de  $N_{SPT}$  versus profundidade. **Fonte:** Os autores.

Analisando os resultados apresentados nas cartas, tem-se que: nos primeiros 3,5 metros o solo apresenta uma menor resistência nas áreas de maior cota altimétrica, com  $N_{SPT} < 2$ . Essa resistência aumenta nas regiões centrais, onde tem-se  $N_{SPT}$  próximo à 8.

Nas profundidades de 3,5 m a 7,0 m, o comportamento da resistência do solo começa a acompanhar a altimetria do terreno, apresentando menor resistência em pontos de cotas mais baixas.

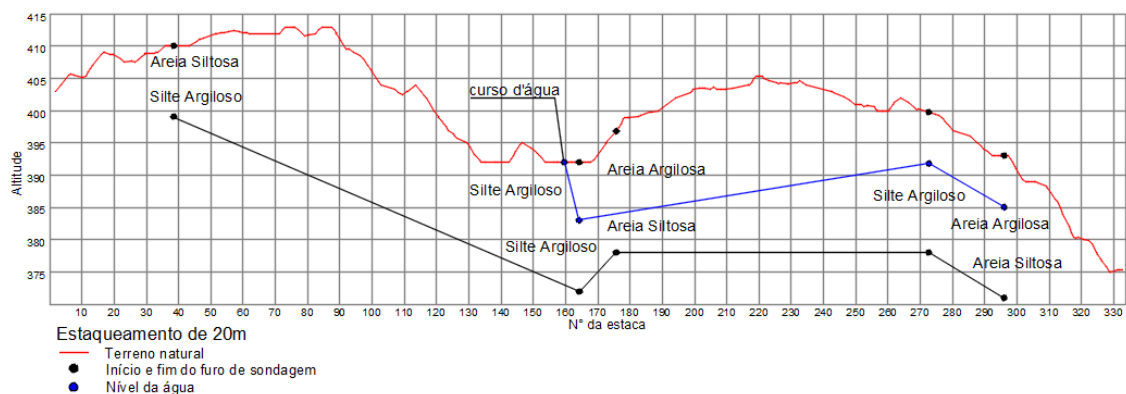
As cartas de 7,0 m a 11,0 m e de 11,0 m a 15,0 m, apresentam um comportamento muito parecido com resistência constante ao longo dessa profundidade. A maior região possui  $N_{SPT}$  entre 6 e 12, tendendo ao maior valor de  $N_{SPT} = 36$ .

Na carta de profundidade entre 15,0 m e 21,0 m começam a aparecer regiões de maiores resistências. A partir dos 21,0 m, conforme o avanço da profundidade, os maiores registros de resistência do solo começam a se concentrar nas regiões mais altas do terreno.

Os pontos de ensaio de DPL denominados como DPL-04, DPL-05, DPL-07 e DPL-09, foram realizados para suprir a falta de informação por parte do ensaio SPT daquela região. Com isso, ao analisar as cartas geotécnicas dos dois ensaio para essa localidade, pode-se concluir que o ensaio de DPL confirma a maior resistência obtida pela interpolação dos dados de SPT, e que o aumento da resistência à penetração ocorre principalmente em áreas de altitude mais elevada.

Além das cartas geotécnicas, foram elaborados dois perfis longitudinais (Figuras 17 e 18), através dos quais é possível observar que os tipos de solos que podem ser encontrados são: areia siltosa e silte argiloso, areia argilosa, silte, areia, argila e argila arenosa, com maiores e menores ocorrências, respectivamente.

É possível verificar também que o comportamento do nível da água ocorre ao longo das cotas altimétricas entre 390 e 375 metros e estando a aproximadamente 9 metros de profundidade.



**Figura 17** - Perfil Longitudinal 01.

**Fonte:** Os Autores.

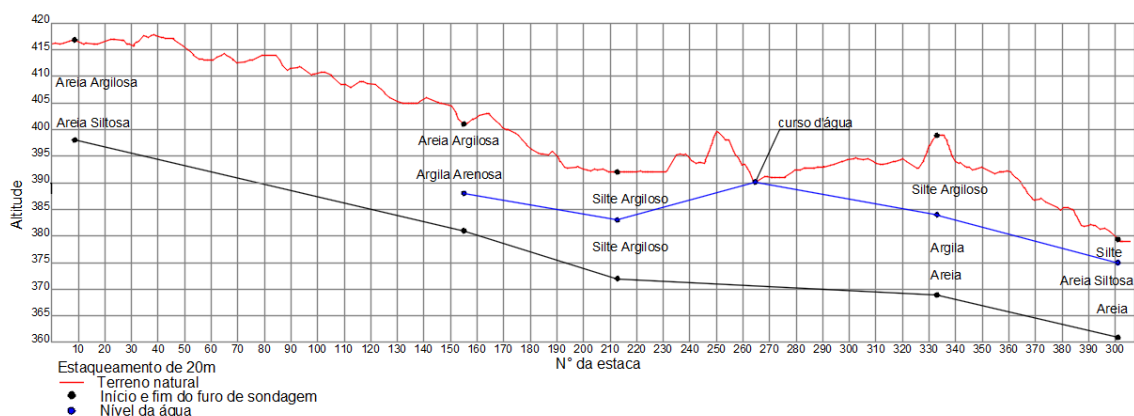


Figura 18 - Perfil Longitudinal 02. Fonte: Os autores.

## CONCLUSÃO

Ao correlacionar os dados geológicos e geotécnicos obtidos, tanto por meio de ensaio de SPT quanto pelo ensaio DPL, conclui-se que o subsolo da área urbana de Lucas do Rio Verde é composto por um solo de granulometria de média à fina, de consistência predominante mole nas camadas até 3 metros.

Por meio dos perfis longitudinais conclui-se que os tipos de solo que podem ser encontrados no subsolo são areia, silte e argila e suas interações. A ocorrência desses solos é confirmada pelas informações geológicas, por se tratar de um solo sedimentar.

Com relação ao uso e ocupação do solo, conclui-se que nas zonas residenciais, onde a fundação mais utilizada é a do tipo superficial, tem-se um solo de baixa resistência com  $N_{SPT} < 4$ . Nas áreas de zona comercial e industrial, onde tende-se a ter fundações mais profundas, o mapa geotécnico confirmam a boa localidade para esse tipo de ocupação. De modo geral, o mapa de zoneamento urbano do município encontra-se condizente com o mapeamento geotécnico realizado.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

AENOR – ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. UNE – EN ISO 22476-2: **Investigación y ensayos geotécnicos**: ensayos de campo: parte 2: ensayo de penetración dinámica. Madri: AENOR, 2008.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D6951-03: **Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications**. Philadelphia: ASTM, 2009.

ÁVILA, S. P.; CONCIANI, W. Previsão de capacidade de carga de solos através de correlação de dados obtidos com o cone dinâmico (DPL). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA. 2006.

ÁVILA, S. P.; CONCIANI, W. Primeiras experiências com Cone Dinâmico em Mato Grosso. In: SEMINÁRIO MATO-GROSSENSE DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL, I, 2005, Cuiabá. Anais Eletrônicos do I Seminário Matogrossense de Habitação de Interesse Social. Cuiabá: IFMT, 2005. CD-ROM.

BAHIA, R. B. C. **Evolução tectonossedimentar da Bacia dos Parecis – Amazônia.** Ouro Preto, 2007. 149 p. Tese (Doutorado). Departamento de Geologia. Fundação Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2007.

CPRM, **Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais.** Mapa geológico do estado de Mato Grosso. 2004. Mapa: 91,4 x 160 cm. Escala: 1:1.000.000.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Exploratório de Solos,** Pedologia, Estado de Mato Grosso. 2009. Mapa: 91 x 155 cm. Escala: 1:1.500.000.

GIACHETI, Heraldo Luiz et al. Ensaio de campo na investigação geotécnica e geoambiental. In: XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Curitiba-PR, Vol. Palest. 2006. p. 1-24.

MOTA, N. **Ensaio avançado de campo na argila porosa não saturada de Brasília:** interpretação e aplicação em projetos de fundação. Brasília, 2003. 335 p. Tese (Doutorado). Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasília, 2003.

NILSSON, T. U. Comparações entre DPL Nilsson e SPT. IV SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DA REGIÃO SUL (IV GEOSUL). Curitiba, 2004. Disponível em: <<http://www.nilsson.com.br/Downloads/GEOSUL.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2016.

NILSSON, T. U. O penetrômetro portátil DPL Nilsson. V SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA (V SEFE). São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.nilsson.com.br/Downloads/SEFEV.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2016.

NILSSON, T. U. **Parameter approach from DPL test.** 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON SITE CHARACTERIZATION (ISC3). Taipei, 2008. Disponível em: <<http://www.nilsson.com.br/Downloads/CH182.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2016.

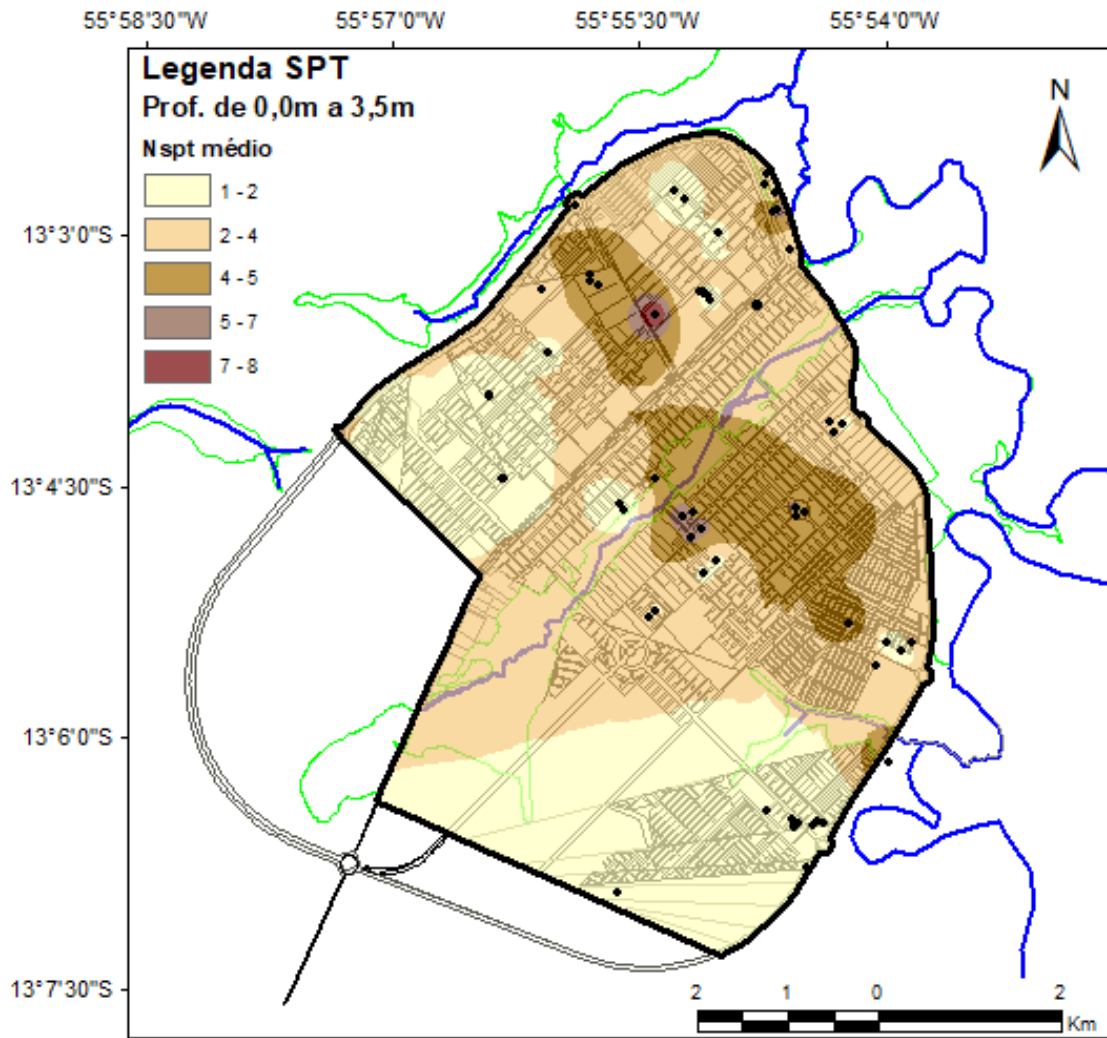
SECRETARIA de Infraestrutura e obra de Lucas do Rio Verde – MT. Mapa urbano. 2016. Mapa: 841 x 1189 mm. Escala: 1:11000.

PINTO, T.P. **Avaliação do uso do Penetrômetro Dinâmico Leve na região norte mato-grossense**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Estado de Mato Grosso/Campus Universitário de Sinop, Sinop -MT.

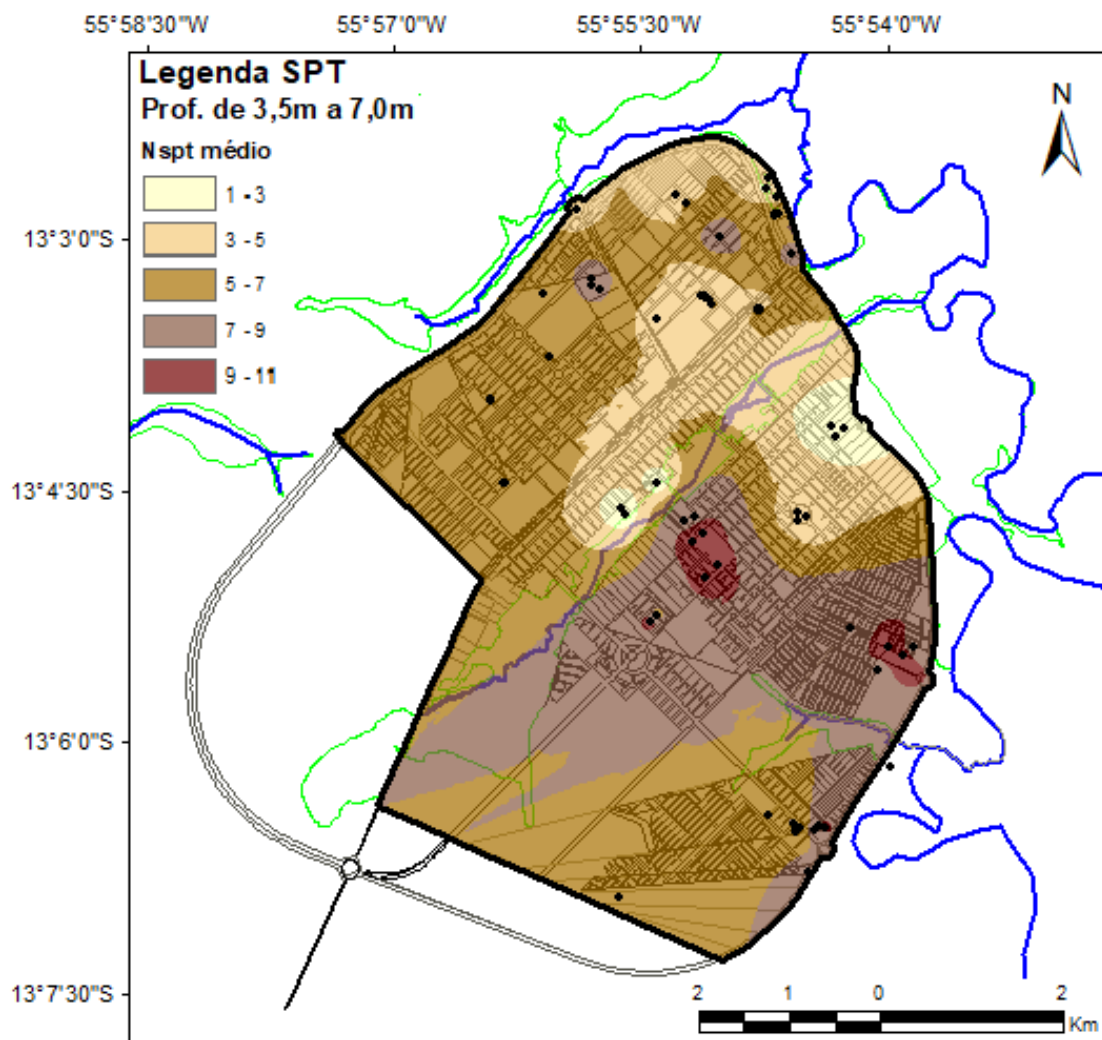
## APÊNDICE

Mapeamento geotécnico da área urbana de Lucas do Rio Verde em profundidade de até 30 metros.

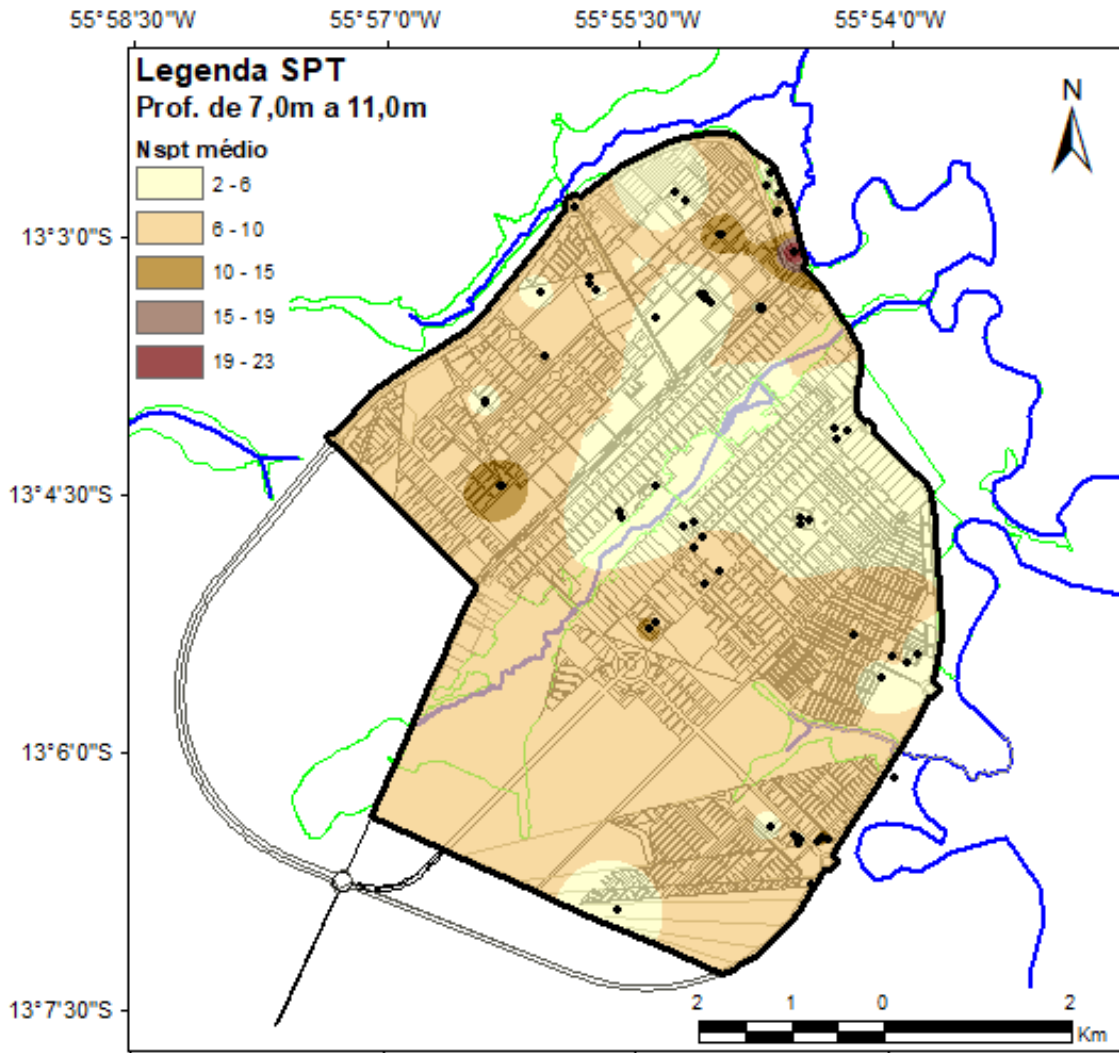
APÊNDICE A – Carta geotécnica do intervalo de profundidade de 0,0 m a 3,5 m.



APÊNDICE B – Carta geotécnica do intervalo de profundidade de 3,5 m a 7,0 m.

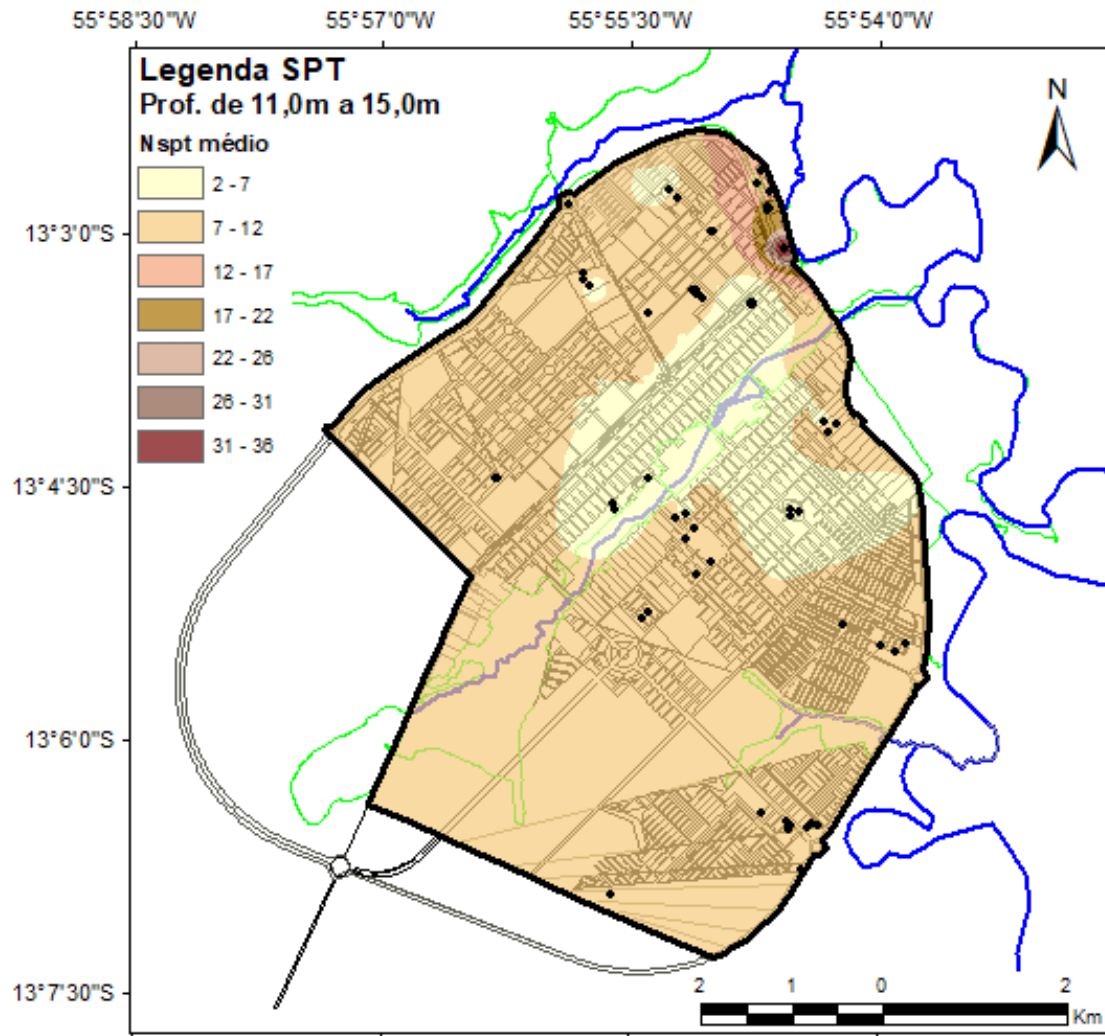


APÊNDICE C – Carta geotécnica do intervalo de profundidade de 7,0 m a 11,0 m.

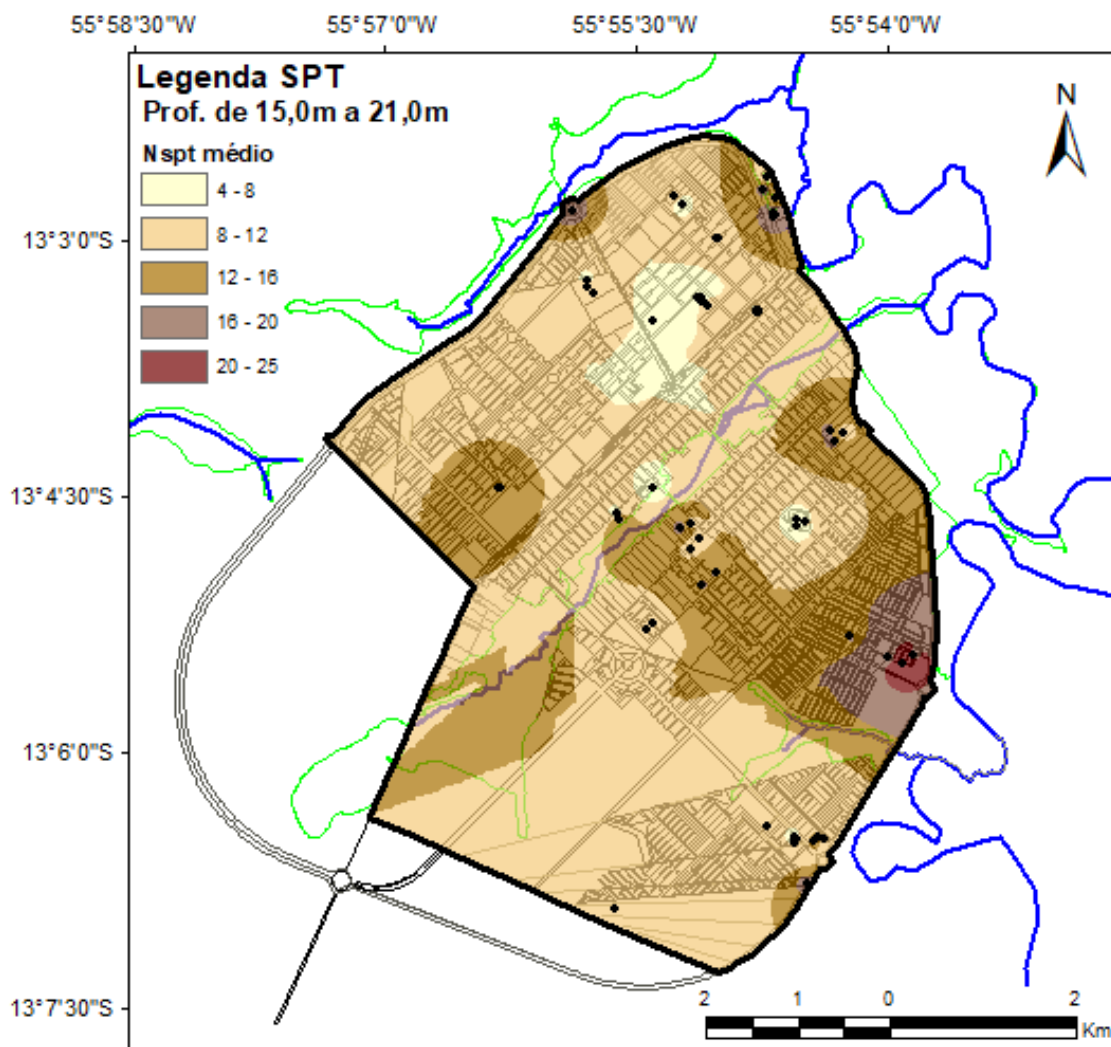




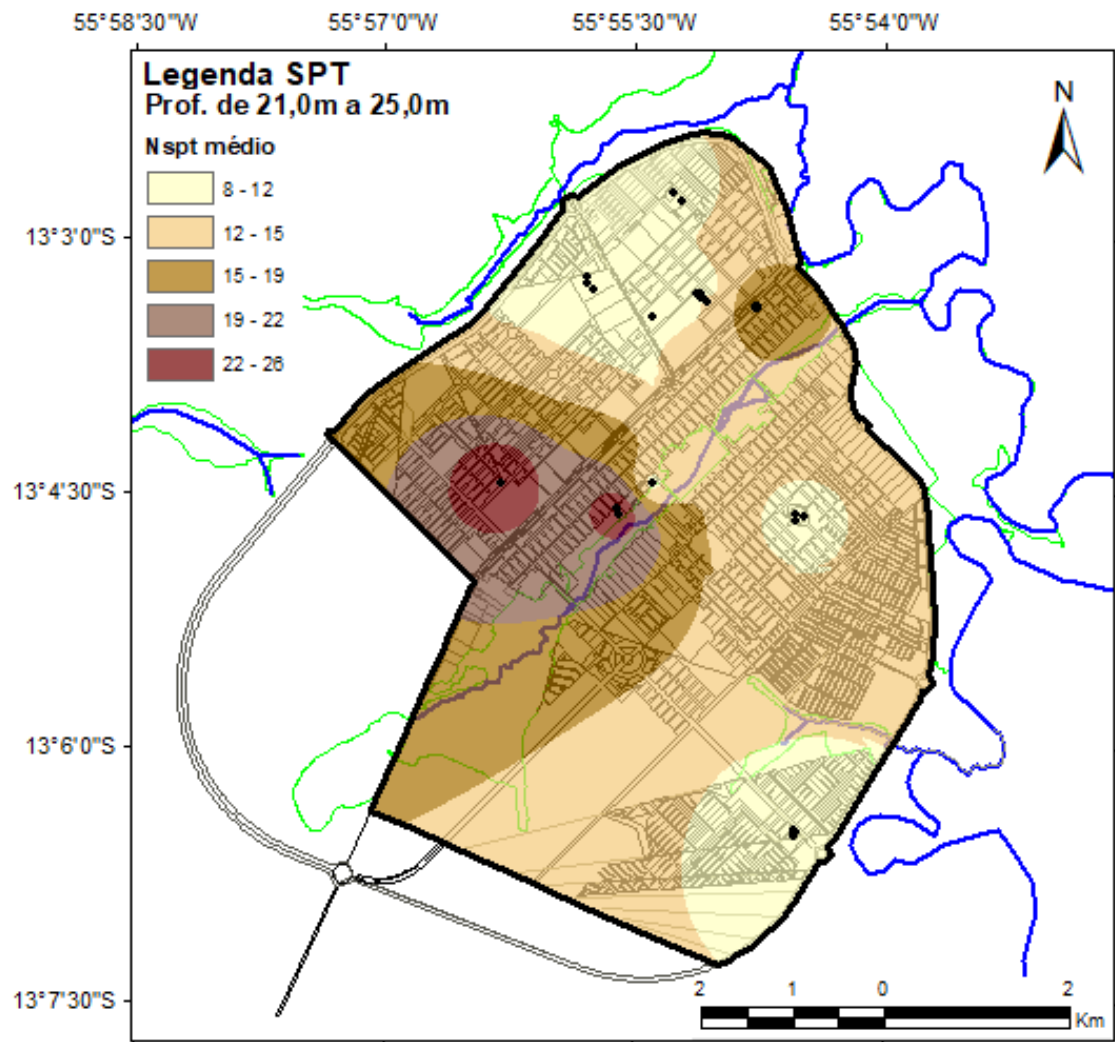
APÊNDICE D – Carta geotécnica do intervalo de profundidade de 11,0 m a 15,0 m.



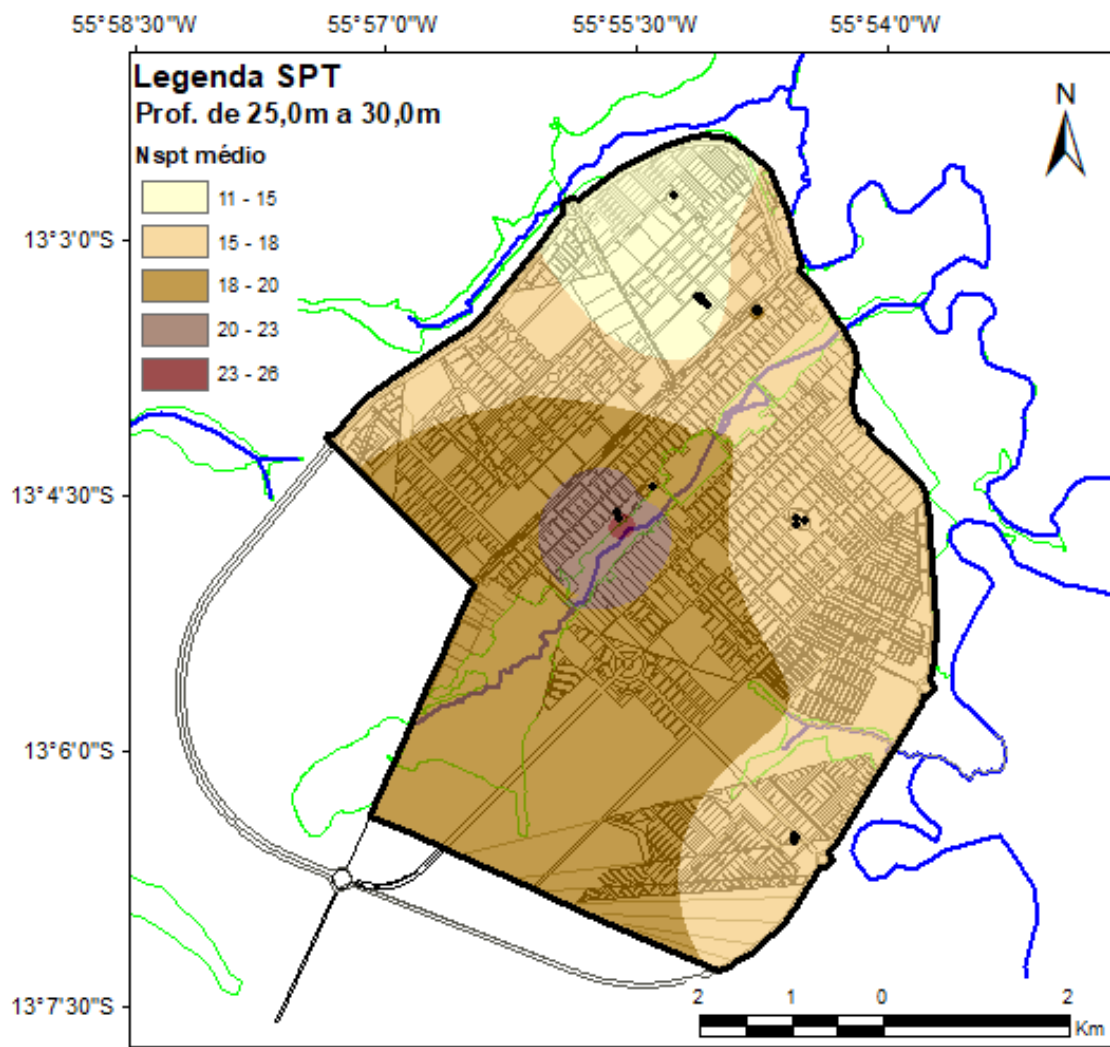
APÊNDICE E – Carta geotécnica do intervalo de profundidade de 15,0 m a 21,0 m.



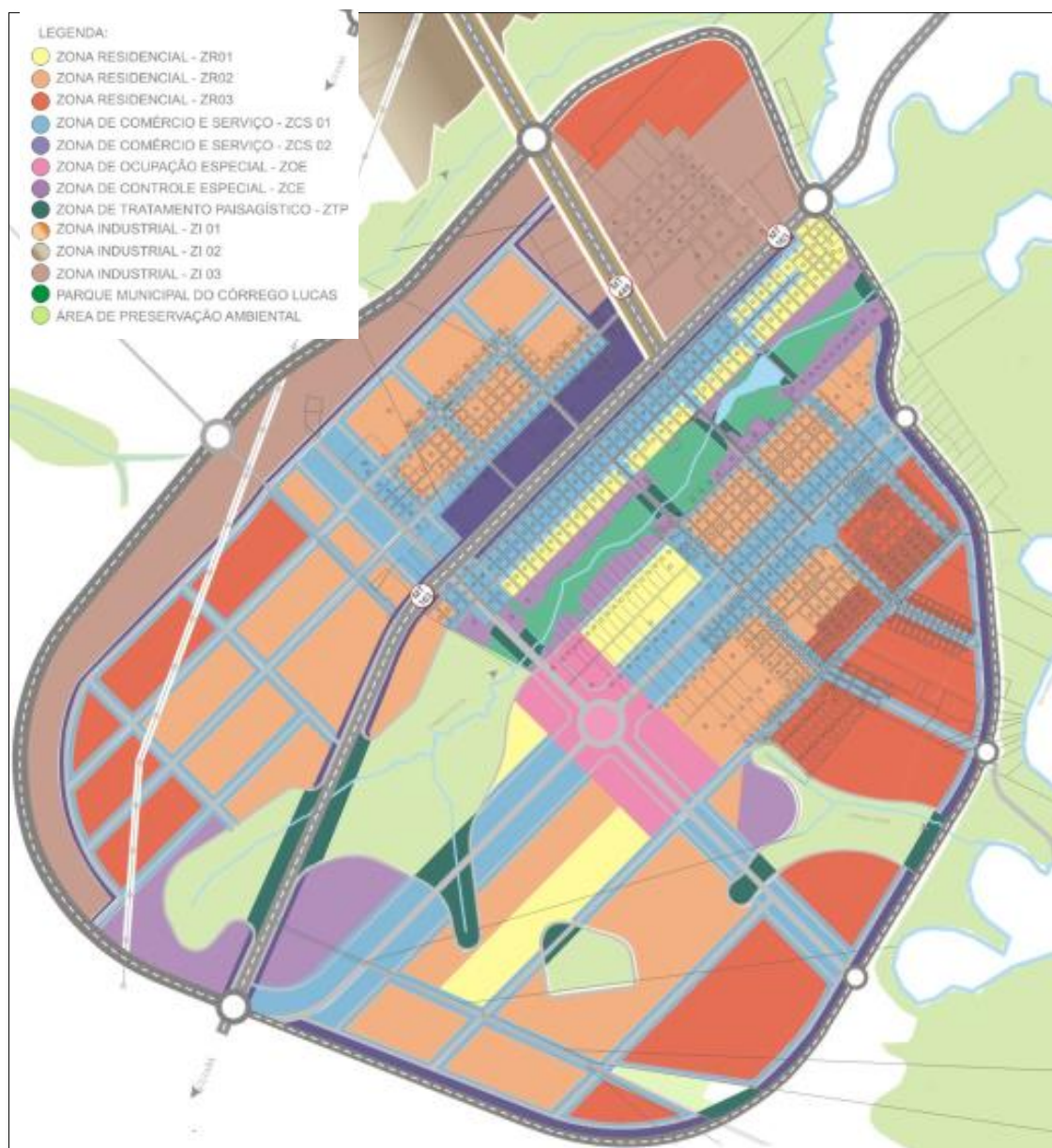
APÊNDICE F – Carta geotécnica do intervalo de profundidade de 21,0 m a 25,0 m.



APÊNDICE G – Carta geotécnica do intervalo de profundidade de 25,0 m a 30,0 m.



ANEXO A – Mapa de zoneamento de Lucas do Rio Verde



Fonte: Secretaria de Infraestrutura e Obra de LRV, 2016.