



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Curso de Graduação em Engenharia Civil



Valquíria Pereira Lima

INFLUÊNCIA DA CONTAMINAÇÃO POR COMBUSTÍVEIS NA CAPACIDADE DE SUPORTE DOS SOLOS DE FUNDAÇÕES

Ouro Preto

2023

Influência da contaminação por combustíveis na capacidade de suporte dos solos de fundações.

Valquíria Pereira Lima

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto.

Área de concentração: Geotecnia e Fundações.

Orientador: Eng^o M.SC Hebert da Consolação Alves.

Ouro Preto

2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L732i Lima, Valquíria Pereira.
Influência da contaminação por combustíveis na capacidade de
suporte dos solos de fundações. [manuscrito] / Valquíria Pereira Lima. -
2023.

53 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Me. Hebert da Consolação Alves.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Fundações (Engenharia). 2. Solos - Poluição. 3. Fundações
(Engenharia) - Capacidade de carga. I. Alves, Hebert da Consolação. II.
Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Valquíria Pereira Lima

Influencia da contaminação por combustíveis na capacidade de solos de fundações

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Aprovada em 01 de setembro de 2023

Membros da Banca

Engº M.Sc.- Hebert da Consolação Alves- Orientador-Universidade Federal de Ouro Preto
Profº D.Sc.- Lucas Deleon Ferreira - Universidade Federal de Ouro Preto
Engº M.Sc. Victor Antônio Moreira de Faria - Universidade Federal de Ouro Preto

Hebert da Consolação Alves, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 15/09/2023



Documento assinado eletronicamente por **Hebert da Consolacao Alves, TECNICO DE LABORATORIO AREA**, em 18/09/2023, às 18:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0591447** e o código CRC **24B63CBB**.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, pois tudo posso se nele confio, e aos meus pais Flausino e Rosângela, pois tudo que conquistei foi graças aos esforços deles.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por essa conquista e me mostrar que tudo posso se nele confio.

Aos meus pais, Flausino e Rosângela, por toda dedicação e que nunca pouparam esforços para que tudo isso se tornasse realidade.

Ao meu namorado, Bruno por todo incentivo e companheirismo nessa jornada.

Ao meu orientador, Eng^o MSc. Hebert da Consolação Alves por todo conhecimento compartilhado e por todos os conselhos.

A todos que compõe o Laboratório de Ferrovias e Asfalto da UFOP, por todo apoio e incentivo nesses anos de convivência.

Ao NUGEO, especialmente ao Eng^o Diogo Reis Stavaux Baudson, Eng^o Whilison Marques Mendonça, por me auxiliarem nas realizações dos ensaios.

A todos os professores do departamento de Engenharia Civil e todos que contribuíram para a minha graduação, pelos ensinamentos compartilhados.

E ao Eng^o Pedro da Mata Amora que disponibilizou as amostras de solos para que esse trabalho fosse realizado.

RESUMO

O solo também já foi depósito de resíduos gerados pelo ser humano. Mas o solo tem vários papéis importantes, sendo um deles na construção civil, sendo a base para qualquer construção e determinando características essenciais do projeto devido a suas propriedades. As fundações são os elementos estruturais, um dos mais importante de uma edificação, que a transmitem a carga da estrutura para o solo. Assim, capacidade de carga dos solos é definida como a tensão transmitida pela fundação para o solo que pode rompê-lo. Para a determinação da capacidade dos solos a ABNT NBR 6122-2022 recomenda três métodos: Prova de carga sobre placa, métodos teóricos, métodos semiempíricos. No presente trabalho realizou-se o estudo da influência da contaminação na capacidade de suporte dos solos de fundações, para isso determinou-se a caracterização física e mecânica dos solos contaminado e não contaminado por combustíveis. As capacidades de cargas dos solos foram determinadas seguindo a Teoria de Terzaghi e a Teoria de Vésic, a sondagem também determinou a capacidade o solo arenoso e medianamente compacto. Embora os parâmetros da caracterização física não alterarem muito, verificou-se que os parâmetros de resistência, necessários para aplicar a Teoria de Terzaghi e a Teoria de Vésic, do solo contaminado foi inferior aos parâmetros de resistência do solo não contaminado, impactando diretamente na capacidade de carga dos solos.

Palavras-chaves: Fundações, solo contaminado, capacidade de carga de fundações.

ABSTRACT

The soil has also been a depository for waste generated by humans. But soil has several important roles, one of which is in civil construction, being the basis for any construction and determining essential characteristics of the project due to its properties. Foundations are the structural elements, one of the most important elements of a building, which transmit the load from the structure to the ground. Thus, soil bearing capacity is defined as the tension transmitted by the foundation to the soil that can rupture it. To determine soil capacity, ABNT NBR 6122-2022 recommends three methods: Plate load test, theoretical methods, semi-empirical methods. In the present work, the influence of contamination on the bearing capacity of foundation soils was studied. To this end, the physical and mechanical characterization of soils contaminated and not contaminated by fuels was determined. The load capacities of the soils were determined following the Terzaghi Theory and the Vésic Theory, the survey also determined the capacity of the sandy and moderately compact soil. Although the physical characterization parameters did not change much, it was found that the resistance parameters, necessary to apply the Terzaghi Theory and the Vésic Theory, of the contaminated soil were lower than the resistance parameters of the uncontaminated soil, directly impacting the capacity soil load.

Keywords: Foundations, contaminated soil, foundation load capacity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Viga de fundação ou Sapata corrida	3
Figura 2- Sapata isolada.....	3
Figura 3- Radier	4
Figura 4- Blocos de Fundação.....	5
Figura 5- Estaca.....	6
Figura 6- Execução de um tubulão a ar comprimido.....	7
Figura 7-Ensaio de Prova de Carga.....	8
Figura 9- Fatores de carga.	11
Figura 10- Ruptura geral.....	12
Figura 11- Ruptura por puncionamento	12
Figura 12- Ruptura local	13
Figura 13- Dimensões em planta de uma sapata isolada.	16
Figura 14- Fluxograma da metodologia adotada.	18
Figura 15- Planta de locação.....	19
Figura 16- Secagem e destorroamento da amostra.....	20
Figura 17-Análise granulométrica por peneiramento	21
Figura 18- Análise granulométrica e por sedimentação.....	21
Figura 19- Ensaio de Limite de Liquidez.....	22
Figura 20- Ensaio de Limite de Plasticidade.....	22
Figura 21- Ensaio de Teor de Umidade.	23
Figura 22- Ensaio de Densidade.....	23
Figura 23- Ensaio de Cisalhamento Direto.	24
Figura 24- Ensaio de adensamento unidirecional.....	25

Figura 25- Boletim de sondagem SPT 01	28
Figura 26- Boletim de sondagem SPT 02	29
Figura 27-Curva granulométrica	30
Figura 28- Gráfico de altura do corpo de prova (mm) x raiz do tempo (minuto)	32
Figura 29- Gráfico tensão de cisalhamento (kPa) x deformação horizontal (%).	33
Figura 30- Gráfico tensão normal (kPa) x Tensão de cisalhamento (kPa).....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Fatores de forma.	10
Tabela 2- Fatores de forma de De Beer (1967)	11
Tabela 3- Correlações entre NSPT e a tensão admissível de solos arenosos ...	14
Tabela 4- Correlações entre NSPT e a tensão admissível de solos argilosos....	14
Tabela 5- Fator de segurança.....	15
Tabela 6- Parâmetros dos solos	30
Tabela 7- Parâmetros dos solos obtidos pelo adensamento	32
Tabela 8-Coesão e ângulo de atrito dos solos.....	34
Tabela 9- Fatores de capacidade de carga e fatores de forma.	35
Tabela 10- Fatores de capacidade de carga e fatores de forma.	36
Tabela 11- Dimensões da sapata.	36

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivo	2
1.1.1	Objetivos Específicos.....	2
2	Revisão Bibliográfica.....	3
2.1	Fundações.....	3
2.2	Capacidade de carga dos solos de fundações	7
2.2.1	Prova de carga sobre placa	7
2.2.2	Métodos teóricos.....	8
2.3	Sondagem Standart Penetration Test (SPT)	13
2.4	Dimensionamento geométrico em planta de uma sapata.....	15
2.5	Solos contaminados	16
2.5.1	Influência da contaminação de solo em parâmetros de capacidade de fundação	17
3	Metodologia.....	18
3.1	Coleta das amostras.....	18
3.2	Caracterização do Solo Contaminado e Não Contaminado	20
3.2.1	Análise granulométrica.....	20
3.2.2	Índices de consistência	22
3.2.3	Ensaio de densidade e teor de umidade.....	23
3.2.4	Ensaio de cisalhamento direto	24
3.2.5	Ensaio de adensamento	24
3.2.6	Estudo da capacidade de carga.....	25

3.2.7	Dimensionamento geométrico em planta de uma sapata	26
4	Resultados	27
4.1	Relatório de avaliação de risco à saúde humana	27
4.2	Sondagem	27
4.3	Ensaio de caracterização física	29
4.3.1	Granulometria	29
4.3.2	Índices de consistência, Teor de umidade e Densidade	30
4.4	Ensaio de caracterização mecânica e de capacidade de suporte dos solos	31
4.4.1	Adensamento	31
4.4.2	Cisalhamento direto	33
4.5	Estudo da capacidade de carga	35
4.5.1	Teoria de Terzaghi (1943).....	35
4.5.2	Teoria de Vésic (1974).....	35
4.6	Dimensionamento geométrico em planta de uma sapata.....	36
5	Conclusão	37
5.1	Sugestões para trabalhos futuros	37

1 Introdução

O solo exerce um papel importante na construção civil, sendo a base para qualquer construção e determinando características essenciais do projeto devido a suas propriedades. O solo exerce um papel importante na construção civil, sendo a base para qualquer construção e determinando características essenciais do projeto devido a suas propriedades.

Desde o século XVIII, com os processos de industrialização e a exploração não sustentável dos recursos naturais a humanidade gera resíduos que pode causar a contaminação do solo. (MORITA, 2010). No solo, ao contrário da água ou ar não se detecta facilmente a contaminação ou as consequências dos danos. Por este motivo o solo se transforma em um depósito dos resíduos gerados pelas indústrias, causando danos irreparáveis ao meio ambiente.

A Morita, 2010, ressalta a dificuldade da realização de trabalhos envolvendo solos contaminados no Brasil e a escassez de pesquisadores nessa área. Percebe-se a mesma carência devido a pesquisas realizadas para o decorrente trabalho e ressalta-se a importância do mesmo para a área de construção civil.

As fundações são elementos estruturais importantes da construção civil devido a transferência de carga da estrutura para o solo. É necessário a realização de estudos geotécnicos para a concepção de um bom projeto de fundação para que não ocorram patologias indesejáveis na construção. Sendo assim, a investigação do subsolo se torna primordial para qualquer construção, pois o resultado de uma investigação ineficiente pode comprometer a edificação. (MAGALHÃES, SEGRE, URBAN; 2022)

1.1 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo comparar as propriedades do solo contaminado por combustíveis oriundo de vazamentos de tanque subterrâneo de posto de combustível e do solo não contaminado, para avaliar a influência em suas características geotécnicas aplicados em fundações.

1.1.1 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos a seguir têm como finalidade estruturar e embasar o desenvolvimento do estudo para que se alcance objetivo principal:

- Realizar uma revisão de Literatura abordando o conceito de fundações, capacidade de suporte de solos à fundações, contaminação de solos por combustíveis e alterações na capacidade de carga dos solos devido a contaminação;
- Caracterizar em laboratório as propriedades dos solos contaminados e não contaminados;
- Comparar as propriedades dos solos e avaliar a influência do solo contaminado sobre as fundações.

2 Revisão Bibliográfica

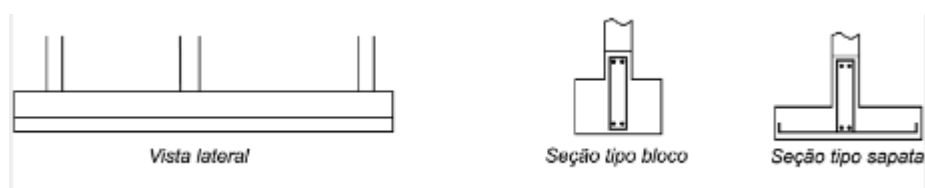
2.1 Fundações

As Fundações são elementos estruturais que tem a função de transmitir as cargas da estrutura para o solo, podendo ser considerada um dos mais importantes elementos que constitui a edificação, sendo que suporta o peso próprio e as cargas provenientes do uso da edificação. (BARROS, 2011) A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 6122-2022 classifica em dois grandes grupos: fundações superficiais e fundações profundas.

As fundações superficiais são definidas pela ABNT NBR 6122-2010 como elementos que transmite a carga estrutural diretamente para o solo, sendo que sua profundidade de assentamento em relação ao terreno adjacente à fundação é inferior a duas vezes a menos dimensão da fundação. Sendo as principais, sapata corrida ou contínua, sapata isolada e radier.

- Sapata corrida ou contínua: Elementos contínuos sujeitos a cargas por metro linear, apresentado na Figura 1. Utilizados em construções que não exercem cargas muito elevadas a fundação. (MELHADO; SOUZA; 2002)

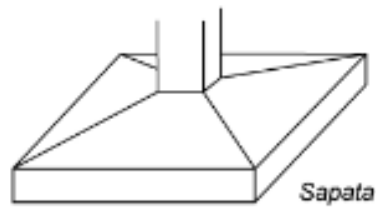
Figura 1- Viga de fundação ou Sapata corrida



Fonte: VELLOSO, LOPES, 2011

- Sapata isolada: Elemento de concreto armado que tem a função de transmitir ao solo a carga de um pilar ou de um conjunto de pilares, evidenciado na Figura 2. (MELHADO; SOUZA; 2002)

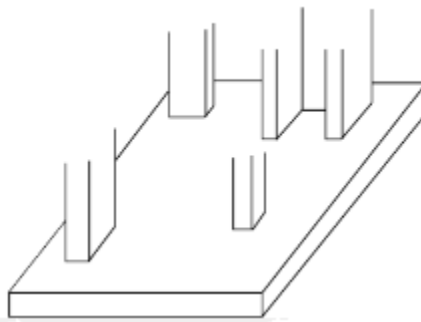
Figura 2- Sapata isolada



Fonte: VELLOSO, LOPES, 2011.

- Radier: Elemento em concreto armado que compreende todos os esforços dos pilares, mostrado na Figura 3. (MELHADO; SOUZA; 2002)

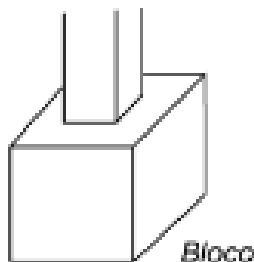
Figura 3- Radier



Fonte: VELLOSO, LOPES, 2011

- Blocos: Elemento constituído geralmente de concreto simples, que tem a função principal resistir a esforços de tração, Figura 4. Já os esforços de compressão são absorvidos pelas vigas baldrame que ligam os blocos. Utilizados quando há cargas pequenas atuando. (MELHADO; SOUZA; 2002)

Figura 4- Blocos de Fundação

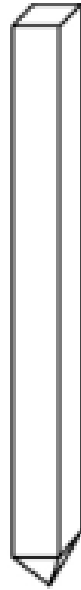


Fonte: VELLOSO, LOPES, 2011

Segundo a ABNT NBR 6122-2010, as fundações profundas são definidas como elementos que transmitem as cargas ao terreno por sua base (ou ponta) ou por sua superfície lateral, a base ou ponta deve ser assentada em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3,0 m. As estacas e tubulões são classificadas como fundações profundas.

- Estacas: Elementos de madeira, aço, concreto pré-moldado ou concreto in loco que não necessita que pessoas desçam sendo realizado por equipamentos ou ferramentas, apresentadas na Figura 5. Existem vários tipos de estacas, as mais utilizadas são:
 - ✓ Estacas pré-moldadas
 - ✓ Estaca metálica ou de aço
 - ✓ Estacas de madeira
 - ✓ Estaca de concreto moldada in loco
 - ✓ Estaca mista
 - ✓ Estaca Franki
 - ✓ Estaca hélice contínua

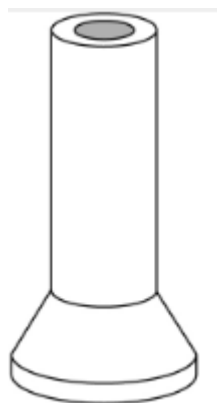
Figura 5- Estaca.



Fonte: VELLOSO, LOPES, 2011

- Tubulões: Elementos que possuem a função de transmitir a cargas ao solo através de sua base, evidenciados na Figura 6. Para sua execução se faz necessário a descida de pessoas para realizar o alargamento da base ou para limpeza do fundo. Este tipo de fundação está ficando em desuso no brasil pelos riscos aos operários oriundos de desmoronamentos e permanência em espaços confinados. A NR 18 (Norma Regulamentadora) apresenta várias recomendações para a construção de fundações do tipo tubulões com pressão hiperbárica, permitir a comunicação entre os trabalhadores do lado interno e externo da campânula pelo sistema de telefonia ou similar; executar plano de ação de emergência em caso de acidentes no interior do tubulão; entre outras recomendações. A Figura 6 apresenta a configuração de um tubulão.

Figura 6- Tubulão.



Fonte: VELLOSO, LOPES, 2011

2.2 Capacidade de carga dos solos de fundações

A capacidade de carga dos solos é definida como a tensão transmitida pela fundação para o solo que pode rompê-lo. Este parâmetro depende das características das fundações, da profundidade de assentamento, das características do solo e outros.

Para a determinação da capacidade dos solos a ABNT NBR 6122-2022 recomenda três métodos: Prova de carga sobre placa, métodos teóricos, métodos semiempíricos.

2.2.1 Prova de carga sobre placa

Prova de carga sobre placa é um ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR 6489-2019. Esse ensaio reproduz o comportamento da fundação no solo com as cargas da estrutura. Com uma placa rígida de ferro fundido com diâmetro de 80 cm, elevada com um macaco hidráulico, aplica-se pressão por essa placa ao solo (Figura 7). No macaco hidráulico fixa-se um manômetro para aferir a pressão aplicada e traça-se a curva pressão x recalque. Identifica-se que o solo apresenta ruptura geral e ruptura global e determina-se a tensão de ruptura do solo. Sendo que o solo

denominado solo de ruptura geral apresenta capacidade de carga ou tensão de ruptura definida, e o solo de baixa resistência.

Figura 7-Ensaio de Prova de Carga.



Fonte: WYDE

2.2.2 Métodos teóricos

Métodos teóricos são as teorias baseadas resistência ao cisalhamento e compressibilidade dos solos desenvolvidas por Karl Von Terzaghi, Vésic e outros. Além disso, Vésic (1975) determinou três modos de ruptura essenciais para a determinação da capacidade de carga e das Teorias que serão apresentadas. (VELLOSO, LOPES, 2011)

Teoria de Terzaghi (1943)

A Teoria de Terzaghi foi desenvolvida para determinar a capacidade de carga para fundações superficiais. A capacidade de carga pode ser calculada conforme equação (1).

$$\sigma_r = c \cdot N_c \cdot S_c + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma + q \cdot N_q \cdot S_q \quad (1)$$

σ_r - Capacidade de carga (kPa);

c - Coesão efetiva do solo (kPa);

γ - Peso específico do solo (kN/m³);

q - Tensão efetiva do solo (kPa);

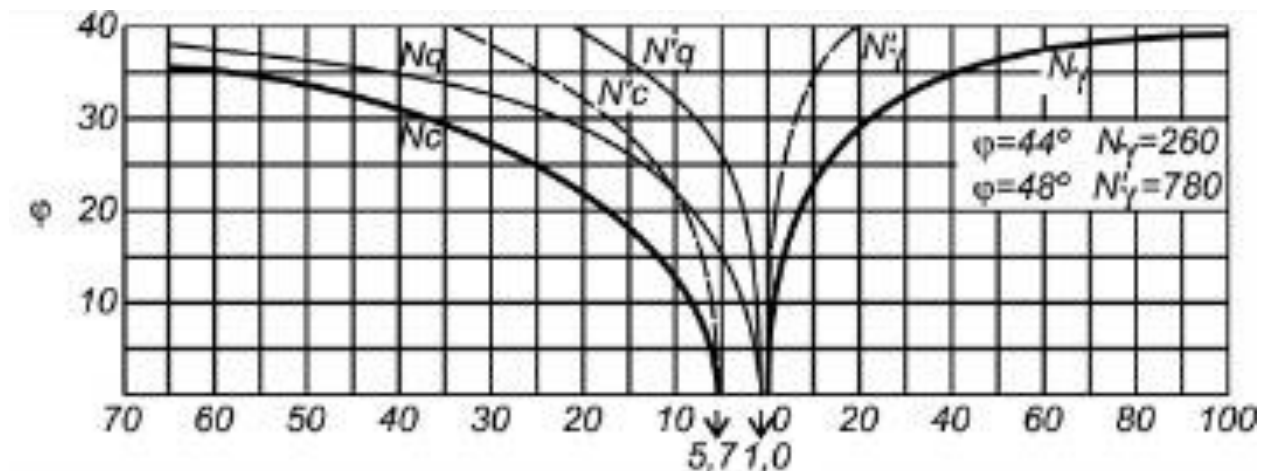
B - Comprimento da base (m);

$N_c; N_\gamma; N_q$ - Fatores de capacidade de carga em função dos ângulos de atrito do solo;

$S_c; S_\gamma; S_q$ - Fatores de forma

Os Fatores de carga são obtidos de acordo com o ábaco (Figura 8) em função do ângulo de atrito do solo φ . Os Fatores de forma são obtidos através da Tabela 1, de acordo com o formato da sapata.

Figura 8- Fatores de capacidade de carga.



Fonte: VELLOSO, LOPES, 2011

Tabela 1- Fatores de forma.

Forma da fundação	Fatores de forma		
	S_c	S_γ	S_q
Corrida	1,0	1,0	1,0
Quadrada	1,3	0,8	1,0
Circular	1,3	0,6	1,0
Retangular	1,1	0,9	1,0

Fonte: (CINTRA, AOKI, ALBIERO, 2011)

Sendo a equação (1) indicada para Ruptura Geral, Terzaghi apresenta uma adaptação empírica para que a equação possa ser utilizada para ruptura por puncionamento, utiliza-se a equação 2 para calcular a coesão e obtém a tangente do ângulo de atrito.

$$c^* = \frac{2}{3} \cdot c \quad (2)$$

$$\tan \varphi^* = \frac{2}{3} \cdot \tan \varphi \quad (3)$$

Teoria de Vésic (1974)

Vésic(1974), reformulou a Teoria clássica de Terzaghi e considerou duas mudanças: as equações de fatores de capacidade de carga em função dos ângulos de atrito do solo formulada por Hassan (1961) e os Fatores de forma de De Beer (1967) indicados na Tabela 2. (VELLOSO, LOPES, 2011)

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan \varphi} \cdot \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (4)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \varphi \quad (5)$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi \quad (6)$$

Tabela 2- Fatores de forma de De Beer (1967)

Forma da fundação	Fatores de forma		
	S_c	S_γ	S_q
Corrida	1,0	1,0	1,0
Retangular	$1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}$	$1 + \frac{B}{L} \cdot \tan \varphi$	$1 - 0,4 \cdot \frac{B}{L}$
Circular ou Quadrada	$1 + \frac{N_q}{N_c}$	$1 + \tan \varphi$	0,6

Fonte: VELLOSO, LOPES, 2011.

Para ruptura por punção Vésic apresenta uma Tabela (Figura 9) para determinar os Fatores de carga.

Figura 8- Fatores de carga.

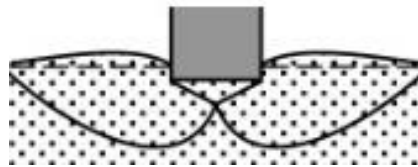
φ	N_c	N_q	N_γ	φ	N_c	N_q	N_γ
0	5,14	1,00	0,00	28	25,80	14,72	16,72
				29	27,86	16,44	19,34
5	6,49	1,57	0,45	30	30,14	18,40	22,40
				31	32,67	20,63	25,99
10	8,35	2,47	1,22	32	35,49	23,18	30,22
				33	38,64	26,09	35,19
15	10,98	3,94	2,65	34	42,16	29,44	41,06
16	11,63	4,34	3,06	35	46,12	33,30	48,03
17	12,34	4,77	3,53	36	50,59	37,75	56,31
18	13,10	5,26	4,07	37	55,63	42,92	66,19
19	13,93	5,80	4,68	38	61,35	48,93	78,03
20	14,83	6,40	5,39	39	67,87	55,96	92,25
21	15,82	7,07	6,20	40	75,31	64,20	109,41
22	16,88	7,82	7,13	41	83,86	73,90	130,22
23	18,05	8,66	8,20	42	93,71	85,38	155,55
24	19,32	9,60	9,44	43	105,11	99,02	186,54
25	20,72	10,66	10,88	44	118,37	115,31	224,64
26	22,25	11,85	12,54	45	133,88	134,88	271,76
27	23,94	13,20	14,47				

Fonte: VELLOSO, LOPES, 2011

Modos de ruptura do solo

Ruptura Geral (Figura 10): Apresenta um mecanismo de ruptura bem definida, tombamento da sapata e elevação do solo no entorno da sapata, acontecendo geralmente com solos mais resistentes e sapatas rasas. (CINTRA, AOKI, ALBIERO, 2011)

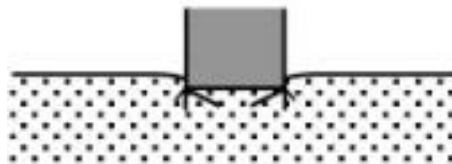
Figura 9- Ruptura geral



Fonte: VELLOSO, LOPES, 2011.

Ruptura por Puncionamento (Figura 11): Nessa ruptura acontece a compressão do solo e causa a penetração da fundação ocasionando recalques. Acontece geralmente em solos mais deformáveis. (CINTRA, AOKI, ALBIERO, 2011)

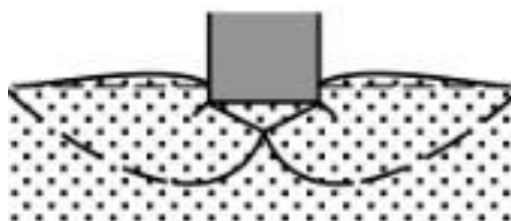
Figura 10- Ruptura por puncionamento



Fonte: VELLOSO, LOPES, 2011

Ruptura Local (Figura 12): Sendo um caso intermediário entre os outros dois modos, frequente em sapatas mais profundas e solos com media resistência. (CINTRA, AOKI, ALBIERO, 2011)

Figura 11- Ruptura local



Fonte: VELLOSO, LOPES, 2011

2.3 Sondagem Standart Penetration Test (SPT)

A sondagem SPT é um ensaio utilizado desde 1902, mas a primeira norma surgiu em 1958, D1586-58T da American Society for Testing and Materials (ASTM). Assim, o ensaio teve várias modificações ao longo do tempo. Na atualidade a NBR 6484-2020 evidencia que a sondagem determina o índice de resistência a penetração do solo. Existem 3 tipos de sondagens, a sondagem rotativa, sondagem a trado manuais e sondagem a trado mecânica. (GALVÃO, SANTOS, SANTOS, 2019)

A sondagem rotativa perfura um terreno através do movimento de rotação, esse procedimento possibilita atingir grandes profundidades reconhecendo assim rochas e solos. A sondagem a trado manuais utilizados mais em camadas com solos com baixa resistência e acima do nível da água, amostrador é cravado no solo pelos operadores através de um martelo manual elevado por um cabo têxtil. A sondagem a trado mecanizado utiliza-se uma máquina para auxiliar na cravação do martelo. (GALVÃO, SANTOS, SANTOS, 2019)

A sondagem SPT é empregada como método para a obtenção da capacidade de carga de fundação, sendo o método mais empregado. Correlacionando a tensão

admissível do solo e a resistência a penetração obtida pela sondagem. Apresentado nas tabelas 3 e 4. Obtém-se o NSPT pelo boletim de sondagem somando o número de golpes aos 30 cm finais da amostragem. (LIMA, 1979)

Tabela 3- Correlações entre NSPT e a tensão admissível de solos arenosos

Areia	N _{SPT}	Tensão admissível provável (kg/cm ²)	
		Sapata quadrada	Sapata contínua
Fofa	< 4	<1,0	
Pouco compacto	05-10	1,0-2,0	
Medianamente compacto	11-30	2,0-4,0	
Compacto	31-50	4,0-6,0	
Muito compacto	> 50	>6,0	

Fonte: LIMA, 1979.

Tabela 4- Correlações entre NSPT e a tensão admissível de solos argilosos.

Argila	N _{SPT}	Tensão admissível provável (kg/cm ²)	
		Sapata quadrada	Sapata contínua
Muito mole	<2	< 0,30	< 0,22
Mole	3-4	0,33 - 0,60	0,22 - 0,45
Media	5-8	0,60 - 1,20	0,45 - 0,90
Rija	9-15	1,20 - 2,40	0,90 - 1,80
Muito rija	16-30	2,40 - 4,80	1,80 - 3,60
Dura	>30	> 4,80	> 3,60

Fonte: LIMA, 1979.

Para a utilização das Tabelas 3 e 4, deve levar em consideração a forma, as dimensões e a profundidade da fundação, e também ao terreno que servirá de apoio tipo de profundidade, ocorrência do nível de água, possibilidade de recalques, existência de camadas mais fracas abaixo da cota prevista para assentamento das fundações.

2.4 Dimensionamento geométrico em planta de uma sapata

Primeiramente define-se se a disposição da sapata no projeto, isso se dá em quatro classificações: sapata isolada transmitem ações de único pilar, corridas recebem a ações verticais, associadas ou combinadas transmitem ações de dois ou mais pilares adjacentes, com vigas de equilíbrio quando se tem pilares junto a divisa.

O dimensionamento geométrico da sapata, expressa pela equação (7) se dá pela sua área (S_{sap}) que deve assegurar que a tensão aplicada no solo seja superior a tensão admissível do solo. A ABNT NBR 6122-2022 determina que o peso próprio da sapata deve ser estimado em 5% da carga vertical do pilar (P). (ARCENO,2018)

$$\sigma_{adm} = 1,05x \frac{P}{S_{sap}} \quad (7)$$

Para sapatas retangulares:

$$S_{sap} = Ax B \quad (8)$$

A tensão admissível do solo é determinada pela razão da tensão de ruptura ou escoamento pelo fator de segurança (Tabela 5). (VELLOSO, LOPES, 2011)

Tabela 5- Fator de segurança.

Categoria	Estruturas típicas	Prospecção	
		Completa	Limitada
A	Pontes Ferroviárias, alto fornos, armazéns, estruturas hidráulicas, muros de arrimo, silos	3	4

B	Pontes rodoviárias, edifícios públicos, indústrias leves	2,5	3,5
C	Prédios de escritórios e/ou de apartamentos	2	3

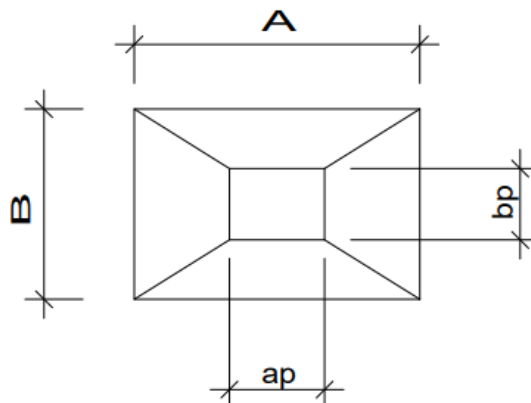
Fonte: VELLOSO, LOPES, 2011

Para sapatas isoladas as dimensões em planta são apresentadas na Figura 13, assim as dimensões a_p e b_p considera as seguintes equações (12). (ALVA, 2007)

$$A - B = a_p - b_p$$

(9)

Figura 12- Dimensões em planta de uma sapata isolada.



2.5 Solos contaminados

O ser humano desde seu primórdio sempre gerou resíduos e descartava os mesmos no solo ou nas águas. A Primeira Revolução Industrial com a exploração dos recursos naturais gerou muitos resíduos que foram inadequadamente descartados. Em 1976, criou-se as primeiras leis ambientais brasileiras que definiram poluição e contaminação e evidenciaram a importância do licenciamento das fontes poluidoras. (MORITA, 2010)

Os resíduos industriais brasileiros eram enterrados e jogados no solo, criadas as leis ambientais as empresas precisaram estocar os mesmos ou promover seu

tratamento. Sendo assim, o solo vem sendo utilizado como depósito para certos materiais, pois ao contrário dos cursos d'água, o solo não transparece a contaminação. (MORITA, 2010)

A maioria dos locais contaminados por derivados do petróleo são referente a combustíveis. Quando o solo é contaminado por combustíveis, é necessária uma elevada quantidade para que haja a saturação e assim o combustível atinja o nível freático, prejudicando-o. (JORGE, 2015)

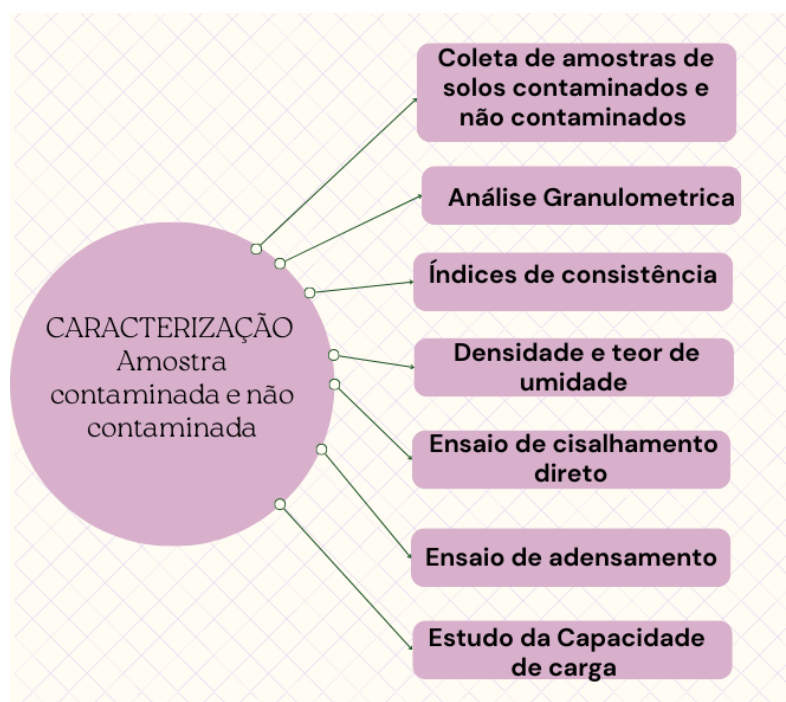
2.5.1 Influência da contaminação de solo em parâmetros de capacidade de fundação

A contaminação de solos por derivados do petróleo trás alterações nas propriedades geotécnicas do solo, afetando os parâmetros de capacidade de fundação. O petróleo bruto influencia na resistência ao cisalhamento, mas não é uniforme dependendo assim de cada solo. As características físico-químicas do solo também são afetadas pela contaminação. (CHARKHABI; KHAMEHCHIYAN; TAJIK; 2006) O estudo, realizado por ALHASSAN; FAGGE (2013) evidencia que solos contaminados com 6% de petróleo bruto podem ser aproveitados em obras de engenharia.

3 Metodologia

O estudo foi realizado abordando as seguintes etapas laboratoriais, conforme Figura 14 abaixo:

Figura 13- Fluxograma da metodologia adotada.



3.1 Coleta das amostras

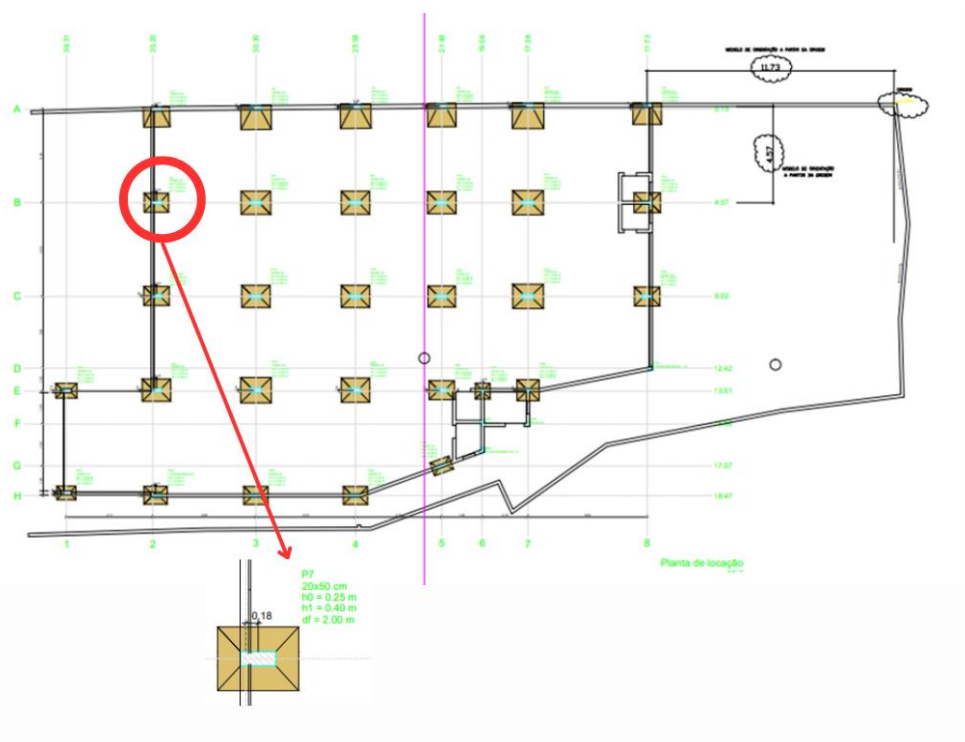
As amostras dos solos foram coletadas em um lote na cidade de Ponte Nova – MG, um ex aluno da Engenharia Civil da UFOP disponibilizou as amostras de solos de um terreno que o mesmo está trabalhando. As amostras foram coletadas em diversos locais onde serão realizados os pilares da edificação. As amostras do solo contaminado por combustíveis se deram através do vazamento de tanque subterrâneo de posto de combustível.

Foi definido para este procedimento experimental a realização da caracterização do solo da região apenas do um pilar devido ao curto período de estudo. O pilar

escolhido para amostragem foi o pilar 07 pela localização, análise visual de contaminação e pela tensão a ser aplicada em projeto, de acordo com a Figura 15.

As amostras foram levadas para o Laboratório de Ferrovias e Asfalto do Departamento de Engenharia Civil da UFOP em sacos plásticos. Após foram colocadas para secadas e realizou-se o destorroamento como mostra a Figura 16. Foram realizados os ensaios de Adensamento unidirecional e Cisalhamento direto do solo no Laboratório do Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada (CTGA) no Núcleo de geotecnia da Escola de Minas (NUGEO) da UFOP, os demais ensaios foram realizados no Laboratório de Ferrovias e Asfalto. As amostras utilizadas para os ensaios foram reconstituídas, a condição de campo foi efetuada realizando ensaios de densidade de amostras indeformadas e comparando com as amostras compactadas em laboratório. Não foi possível a retirada de amostras indeformadas em campo devido ao lençol freático elevado.

Figura 14- Planta de locação



Fonte: Fornecido pela construtora, 2023

Figura 15- Secagem e destorroamento da amostra.



Fonte: Arquivo pessoal.

Estudo foi feito na região do pilar de número sete. A empresa apresentou o ensaio de sondagem e o Relatório de Avaliação de Risco à Saúde Humana que apresenta uma análise qualitativa do potencial de risco à saúde humana causado pela exposição dos atuais e futuros receptores às substâncias químicas de interesse, identificadas na amostragem do solo oriundo de escavação realizada no terreno de estudo.

3.2 Caracterização do Solo Contaminado e Não Contaminado

3.2.1 Análise granulométrica

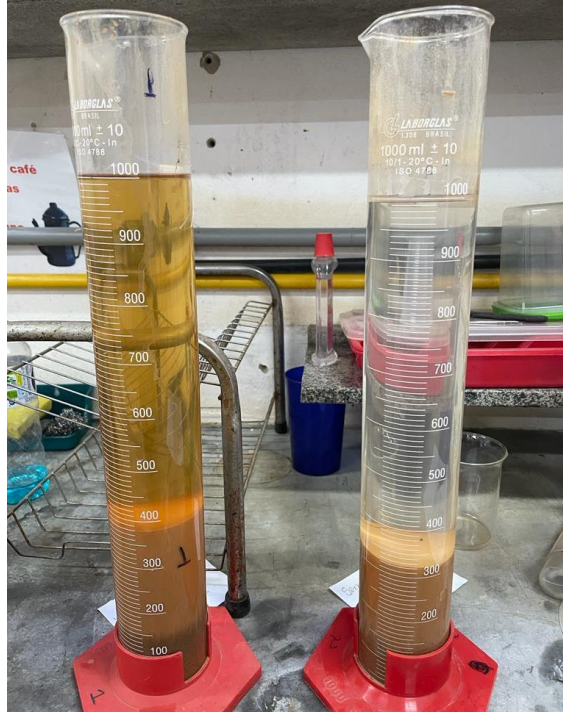
A análise granulométrica por peneiramento e por sedimentação foi realizado de acordo com a ABNT NBR 7181:2016. A realização do mesmo está apresentada na Figuras 17 e 18.

Figura 16-Análise granulométrica por peneiramento



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 17- Análise granulométrica e por sedimentação



Fonte: Arquivo pessoal.

3.2.2 Índices de consistência

O limite de liquidez e o limite de plasticidade foram obtidos seguindo as normas ABNT NBR 6459:2016 e ABNT NBR 7180:2016. A execução dos ensaios é evidenciada nas Figura 19 e Figura 20.

Figura 18- Ensaio de Limite de Liquidez.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 19- Ensaio de Limite de Plasticidade.



Fonte: Arquivo pessoal.

3.2.3 Ensaio de densidade e teor de umidade

O ensaio de teor de umidade e o ensaio de densidade foram obtidos seguindo as normas ABNT NBR 6457:2016 e ABNT NBR 6458:2016. A execução dos mesmos é apresentada nas Figura 21 e Figura 22.

Figura 20- Ensaio de Teor de Umidade.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 21- Ensaio de Densidade.

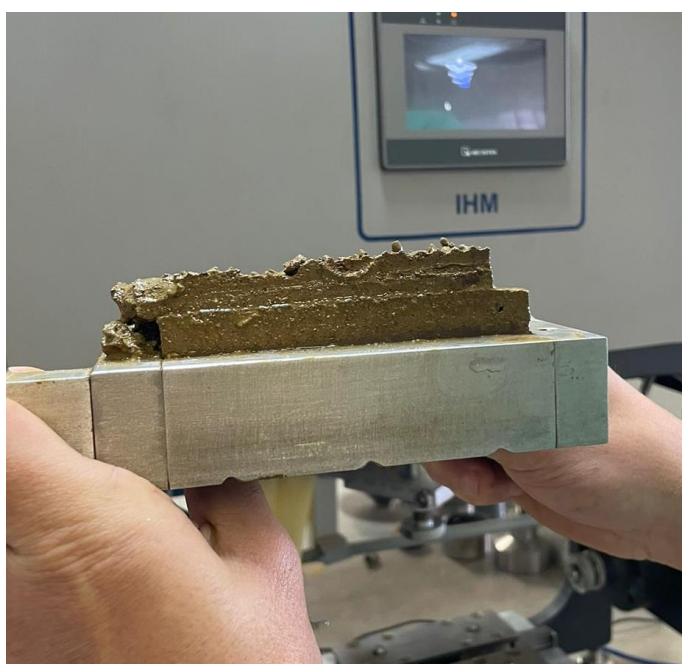


Fonte: Arquivo pessoal.

3.2.4 Ensaio de cisalhamento direto

O ensaio de cisalhamento direto foi desempenhado segundo a American Society for Testing and Materials (ASTM) D3080-11. A realização do mesmo é apresentada na Figura 23. O ensaio foi realizado para obtenção da coesão e ângulo de atrito dos solos, esses parâmetros são importantes para calcular a capacidade de carga demonstrada na equação 1.

Figura 22- Ensaio de Cisalhamento Direto.



Fonte: Arquivo pessoal.

3.2.5 Ensaio de adensamento

Para o ensaio de adensamento unidirecional foi empregado a seguinte norma ABNT NBR 1683:2020. A realização do ensaio é apresentada na Figura 24 O ensaio foi realizado para obter o coeficiente de adensamento, o T90 que é o tempo correspondente a 90% do adensamento primário, esse dado é utilizado para obter a

taxa de deslocamento máxima apropriada para realizar o ensaio de cisalhamento direto.

Figura 23- Ensaio de adensamento unidirecional



Fonte: Arquivo pessoal.

3.2.6 Estudo da capacidade de carga

O estudo de carga do Pilar 7 foi realizado baseando na Teoria de Terzaghi e Teoria Vésic.

Para realizar o estudo de capacidade carga utilizou-se a equação 1. Para calcular de acordo com Terzaghi, os fatores de carga utilizados seguiram o ábaco apresentado na Figura 9. Para os fatores de forma utilizou-se os valores apresentados na Tabela 1, seguiu a forma de uma sapata retangular já definida no projeto de locação.

Para calcular de acordo com Vésic, utilizou-se as equações 4, 5 e 6 para determinar os fatores de capacidade de carga e para os fatores de forma utilizou-se a Tabela 2.

3.2.7 Dimensionamento geométrico em planta de uma sapata

Para o dimensionamento utilizou-se a capacidade de carga determinada no item 3.2.6 para o solo contaminado e não contaminado. A tensão admissível foi obtida pela razão da capacidade de carga pelo fator de segurança determinado pela Tabela 5. Utilizou-se a carga máxima do pilar 7 fornecido pela empresa. Determinou-se a área da sapata e suas dimensões com as equações 7,8 e 9

4 Resultados

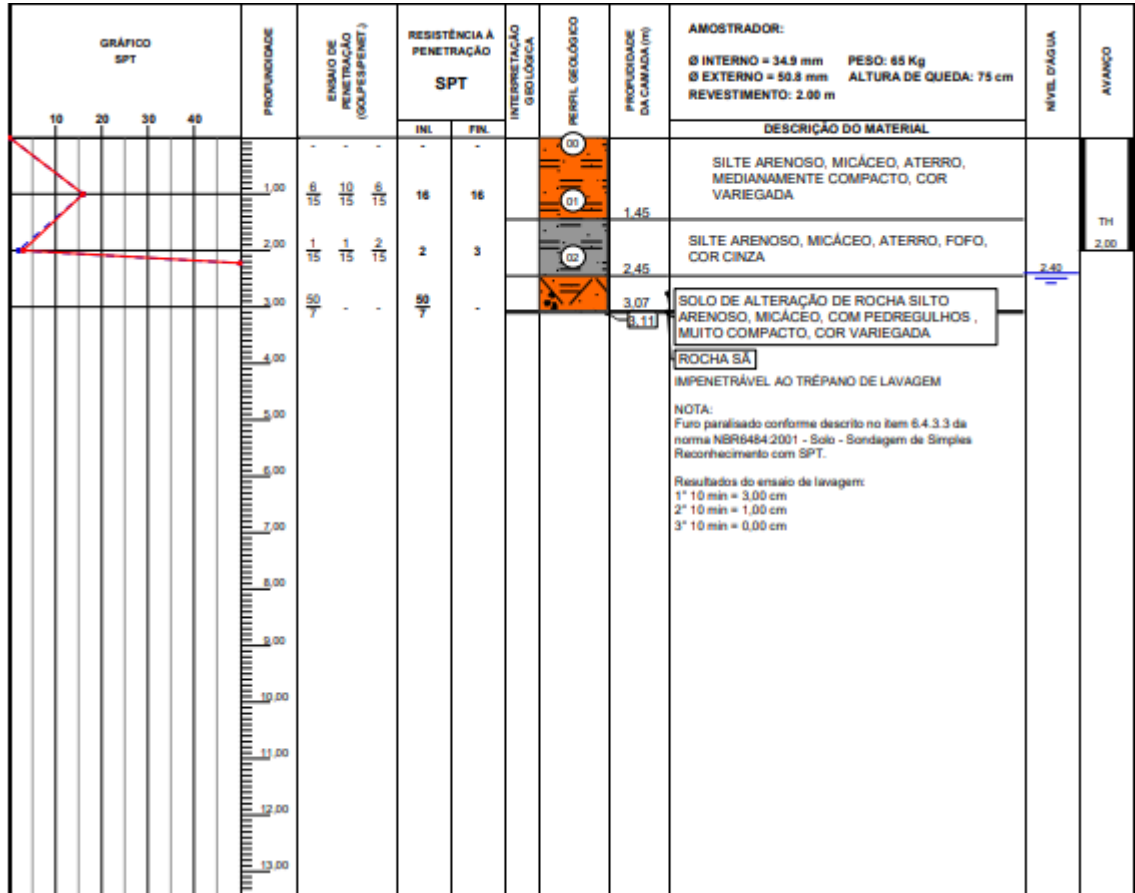
4.1 Relatório de avaliação de risco à saúde humana

Segundo o relatório fornecido pela empresa foram realizados ensaios laboratoriais visando determinar os seguintes parâmetros: carbono orgânico total (TOC), matéria orgânica, pH do solo, densidade de partículas, umidade natural, granulometria, porosidade total, porosidade efetiva e densidade aparente. O relatório de risco à saúde humana verificou que não há riscos à saúde para trabalhadores, sendo a área classificada como Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação (AMR), segundo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02, de 08 de setembro de 2010.

4.2 Sondagem

A empresa que realizou a sondagem identificou um solo com alta resistência superficial, sendo que no primeiro furo alcançou a rocha aos 3,07 metros de profundidade e nível da água em 2,40 metros apresentado na Figura 25, no segundo furo alcançou a rocha aos 3,50 metros de profundidade e nível da água em 2,60 metros, evidenciado na Figura 26. Analisando o nível em que foi encontrado água provavelmente o lenço freático, além do solo, foi contaminado com combustível. O número do SPT 01 foi de 16 e número do SPT 02 foi de 18. De acordo com a Tabela 3 o solo é definido como arenoso, medianamente compacto, com tensão admissível entre 2,0 e 4 kg/cm². Indicou-se fundações profundas do tipo estaca escavada ou fundações rasas.

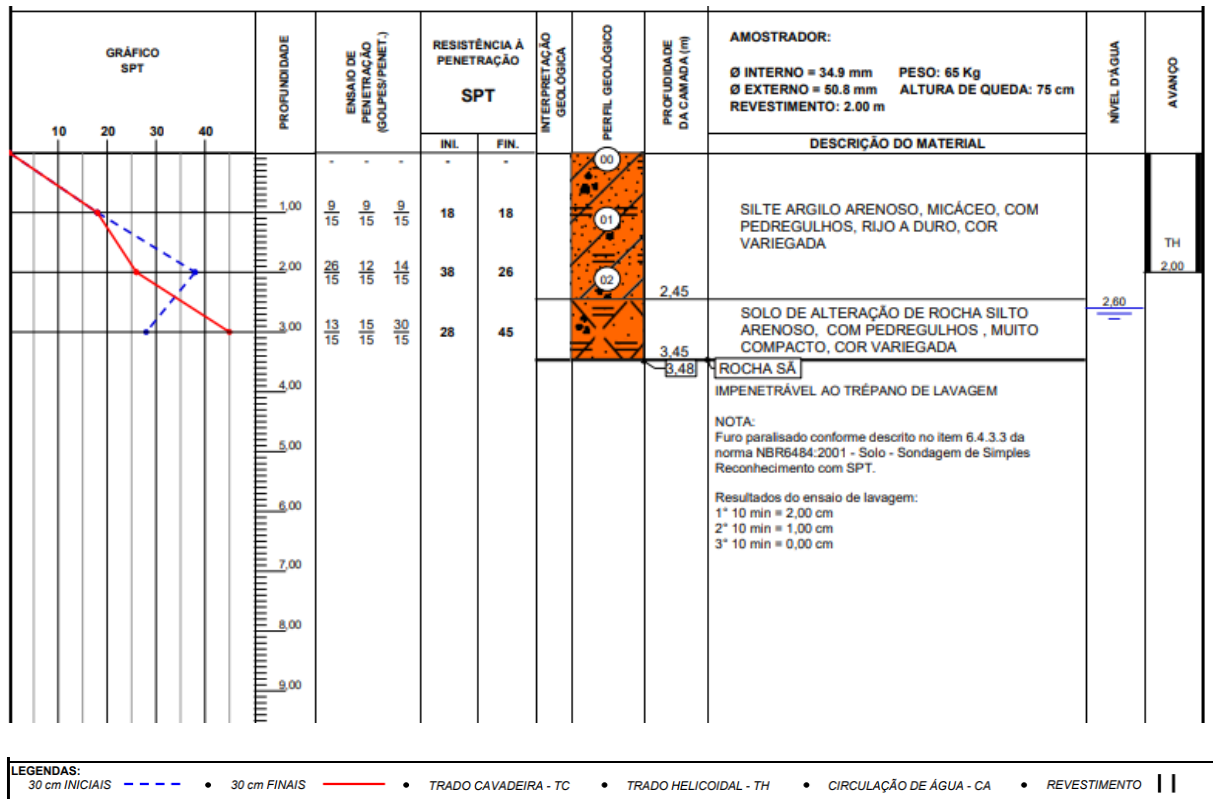
Figura 24- Boletim de sondagem SPT 01



LEGENDAS:
 30 cm INICIAIS - - - - • 30 cm FINAIS ——— • TRADO CAVADEIRA - TC • TRADO HELICOIDAL - TH • CIRCULAÇÃO DE ÁGUA - CA • REVESTIMENTO ||

Fonte: Fornecido pela construtora, 2023

Figura 25- Boletim de sondagem SPT 02



Fonte: Fornecido pela construtora, 2023

4.3 Ensaios de caracterização física

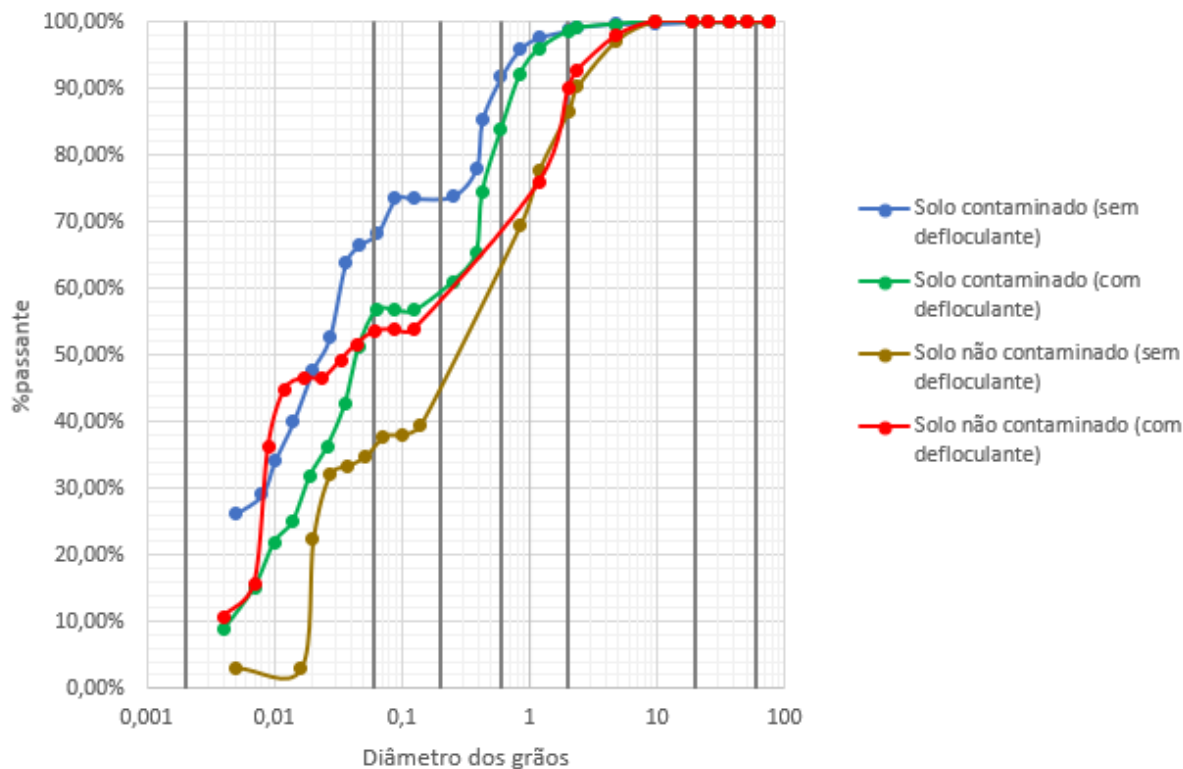
4.3.1 Granulometria

Na Figura 27 é apresentado as curvas granulométricas dos solos, realizou-se o ensaio de sedimentação como defloculante e sem o defloculante para analisar o comportamento do solo contaminado. Analisando a curva do solo não contaminado observou-se um solo grosso bem graduado, e para o solo contaminado um solo fino.

As curvas do solo contaminado apresentam um percentual passante na fração silte superior ao não contaminado. Tal fato pode ter ocorrido devido a maior

concentração de silte em determinada profundidade ou por algum processo químico que pode ter ocorrido devido ao processo de contaminação.

Figura 26-Curva granulométrica



4.3.2 Índices de consistência, Teor de umidade e Densidade

Na Tabela 6 é apresentado os índices de consistência juntamente com o teor de umidade e a densidade do solo contaminado e do solo não contaminado.

Tabela 6- Parâmetros dos solos

	Índices de consistência			Teor de umidade (%)	Densidade (kN/m ³)
	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)		
Solo Contaminado	37,29	26,07	11,23	23,65	25,94
Solo Não Contaminado	33,63	24,90	8,73	14,94	26,22

Os solos apresentaram um índice de plasticidade entre 7 e 15, isso quer dizer que os solos são mediamente plásticos, segundo classificação de Jenkins. O teor de umidade foi obtido através do método da estufa e para realização dos ensaios de adensamento e cisalhamento. Os valores apresentados nos ensaios de caracterização física foram semelhantes para os dois solos.

4.4 Ensaios de caracterização mecânica e de capacidade de suporte dos solos

4.4.1 Adensamento

As curvas apresentadas na Figura 27 são as curvas de altura do corpo de prova em função da raiz quadrada do tempo. Com as curvas determinou os coeficientes de adensamento pelo processo de Taylor o T90 e H90 necessários para o ensaio de cisalhamento direto, evidenciados na Tabela 6. Ao analisar as curvas percebe-se uma semelhança no comportamento dos solos.

Figura 27- Gráfico de altura do corpo de prova (mm) x raiz do tempo ($\sqrt{\text{minuto}}$)

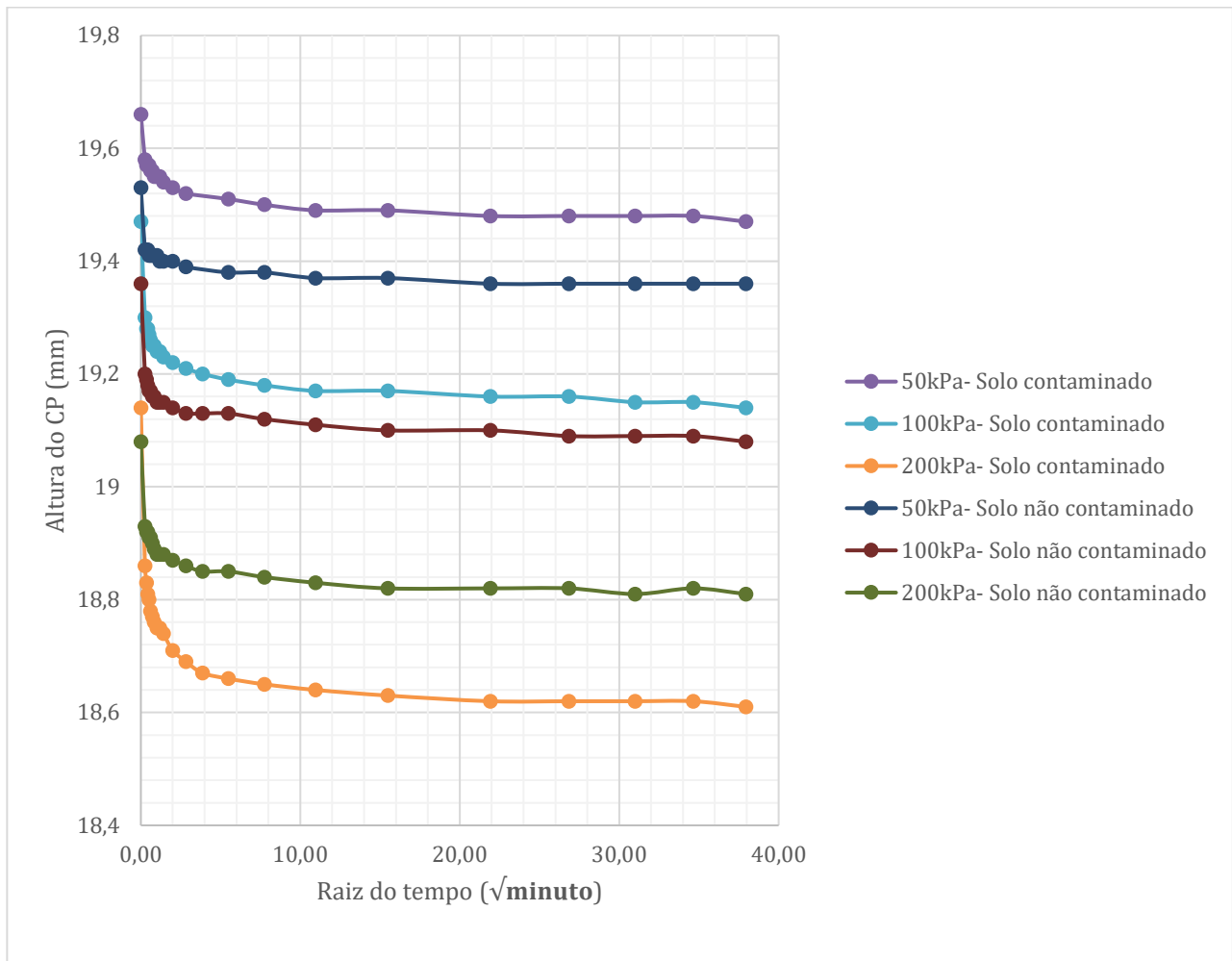


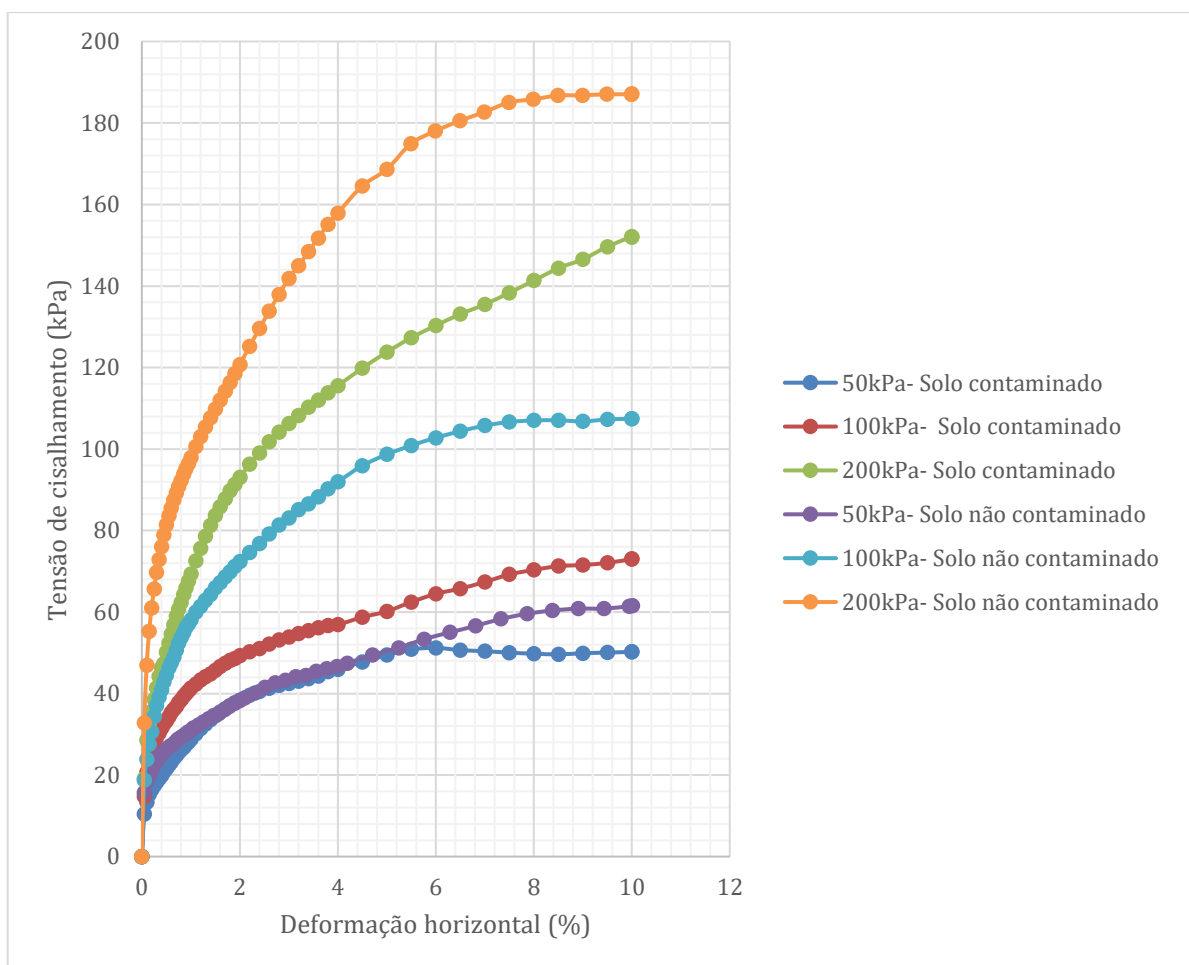
Tabela 7- Parâmetros dos solos obtidos pelo adensamento

	Carga	T90	Velocidade	Coefficiente de adensamento
Solo contaminado	50	5,76	0,15	14,07
	100	1,21	0,712	65,05
	200	2,89	0,298	25,89
Solo não contaminado	50	3,42	0,252	23,344
	100	1	0,862	78,025
	200	1,69	0,51	44,84

4.4.2 Cisalhamento direto

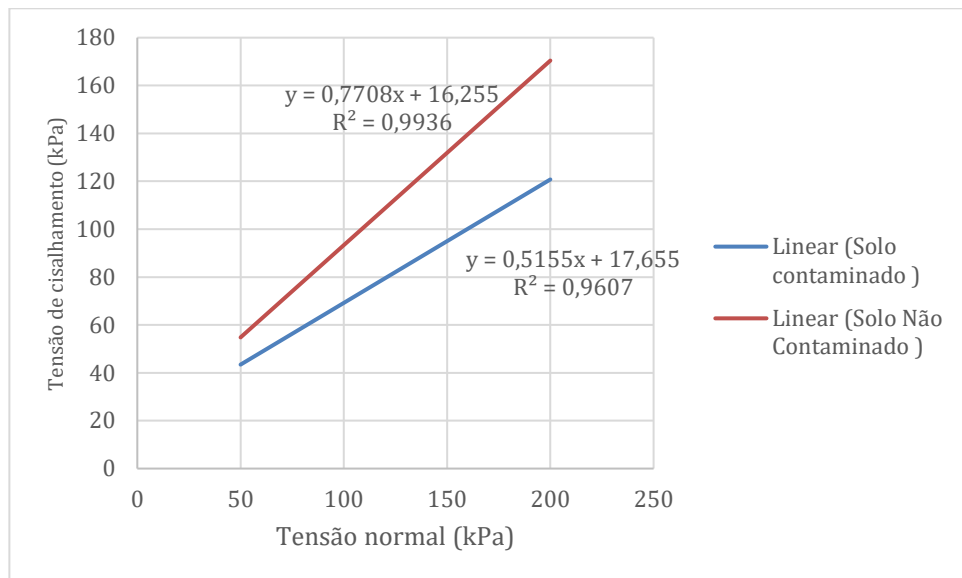
O ensaio de cisalhamento direto fornece dois gráficos que estão apresentados na Figura 28. O gráfico de tensão horizontal por deformação horizontal indica a tensão cisalhante do corpo de prova correspondente a tensão normal aplicada. O equipamento que realiza os ensaios fornece os dados para que os gráficos possam ser construídos.

Figura 28- Gráfico tensão de cisalhamento (kPa) x deformação horizontal (%).



Assim, define o gráfico de tensão de cisalhamento pela tensão normal, Figura 29.

Figura 29- Gráfico tensão normal (kPa) x Tensão de cisalhamento (kPa).



Do gráfico, obtém a coesão e o ângulo de atrito apresentado na Tabela 4. A coesão dos solos se assemelha, mas o ângulo de atrito difere um pouco isso influencia diretamente nos fatores de capacidade de carga.

Tabela 8-Coesão e ângulo de atrito dos solos.

	Coesão (kPa)	Ângulo de atrito (°)
Solo contaminado	17,655	26,53
Solo não contaminado	16,255	37,63

4.5 Estudo da capacidade de carga

4.5.1 Teoria de Terzaghi (1943)

A sapata definida pelo projeto estrutural de fundação fornecido pela empresa definiu a base com 0,9 metros e a largura igual a 1,15 metros e altura de 2 metros.

A tensão efetiva do solo foi definida pela multiplicação do peso específico pela altura da sapata, sendo igual a 52,4 kPa para o solo não contaminado e 51,8 kPa para o solo contaminado. A condição adotada para a ruptura foi a condição drenada pois o ângulo de atrito foi diferente de zero. Foi considerado ruptura geral para os dois solos.

Os fatores de capacidade de carga foram definidos conforme o ábaco apresentado na Figura 9, e os fatores de forma conforme a Tabela 1, sendo os mesmos apresentados na Tabela 5.

Tabela 9- Fatores de capacidade de carga e fatores de forma.

Fatores de capacidade de carga em função dos ângulos de atrito do solo;	N_c	N_q	N_γ
Solo não contaminado	60	55	45
Solo contaminado	26	15	17
Fatores de forma	S_c	S_q	S_γ
	1,1	1	0,9

Assim, calculou a capacidade de carga do solo segundo a equação (1) capacidade de carga do solo não contaminado resultou em **4432,325 kPa** e do solo contaminado em **1460,255kPa**.

4.5.2 Teoria de Vésic (1974)

Os fatores de capacidade de carga foram definidos conforme a equação (2), e os fatores de forma conforme a Tabela 2, sendo os mesmos apresentados na Tabela 6.

Tabela 10- Fatores de capacidade de carga e fatores de forma.

Fatores de capacidade de carga em função dos ângulos de atrito do solo	N_c	N_q	N_γ
Solo não contaminado	59,15	46,60	73,39
Solo contaminado	23,13	12,55	13,53
Fatores de forma	S_c	S_q	S_γ
Solo não contaminado	1,62	1,60	0,69
Solo contaminado	1,42	1,39	0,69

Assim, calculou a capacidade de carga do solo segundo a equação (1) capacidade de carga do solo não contaminado resultou em **6063,812kPa** e do solo contaminado em **1593,826kPa**.

4.6 Dimensionamento geométrico em planta de uma sapata

Considerou as capacidades de carga calculadas pela Teoria de Vésic,(1974) fator de segura igual a 3,0 (Prédios de apartamento ou escritório). Os valores obtidos para tensão admissível do solo não contaminado e contaminado foi 2021,27 kPa e 53127 kPa, respectivamente. A carga máxima do pilar 7 é de 386 kN. Calculou as dimensões seguindo as equações 7 e 8, sendo os resultados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11- Dimensões da sapata.

Dimensões	Solo não contaminado	Solo contaminado
A (cm)	32,23	73,62
B (cm)	62,23	103,62

5 Conclusão

Por meio das análises realizadas, observa-se que apesar dos solos apresentarem características físicas semelhantes, os resultados encontrados para a capacidade de carga dos solos foram bastante distintos. A capacidade de carga do solo não contaminado foi em torno de 4 vezes a capacidade de carga do solo contaminado. Isso impactou diretamente na dimensão da sapata.

Os solos contaminados por combustível necessitam de mais estudos para que possam ser utilizados em construções civil. Sendo que a fundação é um dos elementos mais importantes da construção a atenção deve ser redobrada para o solo que irá receber esse elemento.

Assim, o solo contaminado tem uma capacidade de fundação de carga inferior a capacidade de carga de um solo não contaminado. Isso se dá pela influência do combustível a propriedades geotécnicas dos solos, especificamente ao ângulo de atrito dos solos que influencia diretamente na capacidade de carga, fazendo com que o solo perca resistência.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros:

Realização de mais estudos laboratoriais relacionando diversos tipos de solos contaminados e não contaminados buscando verificar se todos apresentam ou não comportamento similar ao do estudo;

Criar modelos matemáticos de análise da resistência dos solos submetidos a contaminação por combustíveis;

Analisar níveis de contaminação que podem não interferir no comportamento dos solos;

REFERÊNCIAS

ABNT (2016), ABNT NBR 6457: Amostras de solo- Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização

ABNT (2016), ABNT NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm — Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água

ABNT (2016), ABNT NBR 7180: Solo — Determinação do limite de plasticidade.

ABNT (2016), ABNT NBR 6459: Determinação do limite de liquidez

ABNT (2018), ABNT NBR 7181: Solo — Análise granulométrica.

ABNT (2020), ABNT NBR 16853: Solo — Ensaio de adensamento unidimensional.

ABNT (2022), ABNT NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Emenda 1.

ALHASSAN, H. M.; FAGGE, S. A. (2013) **Effects of Crude Oil, Low Point Pour Fuel Oil and Vacuum Gas Oil Contamination on the Geotechnical Properties Sand, Clay and Laterite Soils.** International Journal of Engineering Research and Applications. Vol. 3, Issue 1, January -February 2013, pp.1947-1954

ARCENO, M. F. (2018) **Dimensionamento estrutural de sapatas e blocos de coroamento.** Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina.

ASTM (2012), D3080/D3080M – 11, Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions¹

CHARKHABI, A. H.; KHAMEHCHIYAN, M.; TAJIK; M. (2006). **Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils** . Engineering Geology.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; ALBIERO, J. H. **Fundações diretas.** 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. Ebook. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br> . Acesso em: 29 mar. 2023.

GALVÃO, B. B.; SANTOS, J. S.; SANTOS, R. C. (2019) **Importância da sondagem spt na construção civil: tipos de sondagens, seus métodos e utilidades.** Pesquisa e Ação V5 N2

JORGE, C. (2015) **Solos contaminados com gasolina- Possíveis soluções**. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Celeste-Jorge/publication/274380078_SOLOS_CONTAMINADOS_COM_GASOLINA_-_POSSIVEIS_SOLUCOES/links/551d39440cf23e2801fe07b3/SOLOS-CONTAMINADOS-COM-GASOLINA-POSSIVEIS-SOLUCOES.pdf. Acesso em: 23 de mai. de 2023.

LIMA, Maria José C. Porto A. de. **Prospecção geotécnica do subsolo**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1979.

MAGALHÃES, J.L.; SEGRE, T. S. P.; URBAN, R. C. (2022) **Importância de ensaios geotécnicos em obras de pequeno porte: uma abordagem estatística multivariada**. UNESP- Faculdade de Engenharia de Bauru.

MORITA, D. M. (2010) **Prevenção e controle da poluição da água e do solo acusada por resíduos industriais perigosos**. Tese (Livre-Docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.

Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 18-SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitativa-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-18-atualizada-2020-2.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2023.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. Ebook. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br> . Acesso em: 29 mar. 2023.

WYDE. **Prova de carga estática fundações**. Disponível em: <https://www.wyde.com.br/prova-carga-estatica-fundacoes>. Acesso em: 18 de mai. de 2023.