



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

**VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS E URBANIZAÇÃO NO
ENTORNO DE CEMITÉRIOS: O CASO DA CIDADE DE VALPARAÍSO
DE GOIÁS**

Elias Divino Saba
Orientador: Prof. Dr. Anselmo E. de Oliveira

Goiânia
2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE QUÍMICA

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese

2. Nome completo do autor

Elias Divino Saba

3. Título do trabalho

VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS E URBANIZAÇÃO NO ENTORNO DE
CEMITÉRIOS: O CASO DA CIDADE DE VALPARAISO DE GOIÁS

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Anselmo Elcana De Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 12/06/2020, às 10:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Elias Divino Saba, Usuário Externo**, em 15/06/2020, às 15:23, 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 https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1379723** e o código CRC **8057275D**.



**FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA**

**VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS E URBANIZAÇÃO
NO ENTORNO DE CEMITÉRIOS: O CASO DA CIDADE DE
VALPARAÍSO DE GOIÁS**

Elias Divino Saba

Tese de Doutorado
apresentada ao Instituto de
Química da Universidade Federal
de Goiás como parte dos
requisitos para obtenção do título
de Doutor em Química pelo
Programa de Pós-graduação em
Química.

Área de Concentração:
Química

Orientador: Prof. Dr. Anselmo Elcana de Oliveira

Goiânia
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Saba, Elias Divino
VULNERABILIDADE DE AQUIFEROS E URBANIZAÇÃO NO
ENTORNO DE CEMITÉRIOS: O CASO DA CIDADE DE VALPARAÍSO
DE GOIÁS [manuscrito] / Elias Divino Saba. - 2020.
CCXLVII, 247 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Anselmo Elcana de Oliveira.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Química (IQ), Programa de Pós-Graduação em Química, Goiânia, 2020.
Bibliografia. Anexos. Apêndice.
Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico,
tabelas, algoritmos, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Cemitério. 2. Necrochorume. 3. Águas Subterrâneas. 4. Solo. 5.
Análise. I. Oliveira, Anselmo Elcana de , orient. II. Título.

CDU 54



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

INSTITUTO DE QUÍMICA

ATA DE DEFESA DE TESE

Ata nº 106 da sessão da Defesa de Doutorado de **Elias Divino Saba**, que confere o título de **Doutor em Química**, na área de concentração em **Química**.

Aos 27 (vinte e sete) dias do mês de fevereiro de 2020 (dois mil e vinte), a partir das 14h00m, no Anfiteatro do IQ II, realizou-se a sessão pública da Defesa de Doutorado intitulada "VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS E URBANIZAÇÃO NO ENTORNO DE CEMITÉRIOS: O CASO DA CIDADE DE VALPARAISO DE GOIÁS". Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, **Prof. Dr. Anselmo Elcana de Oliveira**, com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: **Prof. Dr. Sérgio Botelho de Oliveira (IFG)**, **Profª. Drª. André Luis Brasil Cavalcante (UnB)**, **Profª. Drª. Andréa Rodrigues Chaves (UFG)** e **Profª. Drª. Maria Isabel Ribeiro Alves (UFG)**. Durante a arguição os membros da banca não fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Defesa de Doutorado, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Prof. Dr. Anselmo Elcana de Oliveira, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, ao(s) 27 (vinte e sete) dias do mês de fevereiro de 2020 (dois mil e vinte).

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Anselmo Elcana De Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 27/02/2020, às 18:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Andrea Rodrigues Chaves, Professor do Magistério Superior**, em 27/02/2020, às 18:28, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Isabel Ribeiro Alves, Professor do Magistério Superior**, em 27/02/2020, às 18:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sérgio Botelho de Oliveira, Usuário Externo**, em 27/02/2020, às 18:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **André Luis Brasil Cavalcante, Usuário Externo**, em 28/02/2020, às 09:06, 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

13/03/2020

SEI/UFMG - 1185039 - Ata de Defesa de Tese



https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0

, informando o código verificador **1185039** e o código CRC **13E5768F**.

Referência: Processo nº 23070.004121/2020-54

SEI nº 1185039

DEDICATÓRIA

À minha esposa Cira, pelo amor, carinho, amizade, incentivo, força e por estar sempre ao meu lado em todos os momentos que preciso; aos meus filhos Israel e Jordana que me incentivaram nesta empreitada e em memória; aos meus pais Tannous Saba e Diba Saba, por me fornecerem a oportunidade, ao apoio e aos incentivos necessários para que eu pudesse estudar.

AGRADECIMENTOS

À Jesus Cristo, filho de Deus, que não se encontra em seu túmulo, pois ressuscitou, o autor da vida, detentor de toda sabedoria, ciência e conhecimento que me capacitou e me deu condições de chegar até aqui.

À minha esposa, Cira, que foi a minha maior incentivadora neste projeto.

Aos meus filhos Israel e Jordana, que me apoiaram do início ao fim, dedicando tempo e conhecimentos acadêmicos.

Ao Orientador: Prof. Dr. Anselmo Elcana de Oliveira. Sou lhe grato por compartilhar sua experiência, pelo incentivo a este projeto e à minha ascensão profissional.

Ao Prof. Dr. André Luís Brasil Cavalcante do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília que colaborou neste trabalho dando todo o apoio e sua experiência profissional.

Ao Prof. Dr. Manoel Porfírio Cordão Neto do Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade de Brasília que colaborou neste trabalho dando todo o apoio e sua experiência profissional.

Ao Prof. Dr. Pedro Henrique Ferri, da Universidade de Goiás, que colaborou compartilhando sua experiência profissional e conhecimentos.

À administração da Faculdade de Agronomia e Veterinária – FAV que me incentivou e me apoiou nesta empreitada. Agradeço especialmente ao Prof. Dr. Osvaldo Kiyoshi Yamanishi, e à Prof. Dra. Simone Perecmanis, que muito me ajudaram ao me concederem a licença para atividade acadêmica.

Ao Quinosan Laboratório Químico Ltda., que nos proporcionou as condições e o suporte logístico para realização deste trabalho, juntamente com os seus funcionários a química Tayza Cruz de Carvalho, ao técnico em química Hugo Silva Lustosa e a bióloga Poliana Paula da S. Marques.

Ao Rodrigo Macedo da administração dos Cemitérios Contil (Construção e Incorporação de Imóveis Ltda), que generosamente permitiu a divulgação dos dados.

Ao Programa de Pós Graduação em Química e aos seus funcionários que nos ajudaram e colaboraram com toda presteza em todo este processo. Agradeço especialmente ao Themerson Blenner C. Souza, e à Ana Cláudia Silva de Almeida, que muito me ajudaram administrativamente.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES	xviii
RESUMO	xx
ABSTRACT	xxi
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo geral	5
2.2 Objetivos específicos	5
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1 Aquíferos	7
3.1.1 Gestão do uso de aquíferos e vulnerabilidade	11
3.1.2 Cemitérios e o risco de poluição de aquíferos	16
3.1.3 Indicadores físico-químicos e microbiológicos da qualidade da água de aquíferos	24
3.2 Ordenação multivariada	26
3.3 Caracterização geológica e geotécnica	28
3.3.1 A geologia do solo da região dos cemitérios de Valparaíso – GO	28
3.3.2 Os mecanismos de infiltração em solos de cemitérios	37
3.3.3 Caracterização física do solo	41
3.3.3.1 Preparação das amostras (ABNT NBR 6457)	43
3.3.3.2 Peso específico natural (γ_n) (ABNT NBR 6458)	43
3.3.3.3 Umidade ($w\%$) (ABNT NBR 6457)	44

3.3.3.4	Peso específico relativo (Gs)	46
3.3.4	Porosidade do solo (n) e índice de vazios (e)	46
3.3.4.1	Grau de saturação (S)	48
3.3.4.2	Limite de liquidez (ABNT NBR 6459)	48
3.3.4.3	Limite de plasticidade (ABNT NBR 7180)	49
3.3.4.4	Índice de plasticidade	49
3.3.4.5	Granulometria (ABNT NBR 7181)	49
3.3.4.6	Compactação do solo	51
3.3.4.7	Curva de retenção	54
3.3.4.8	Infiltração e permeabilidade	55
3.3.4.9	Características físicas do solo que influenciam na infiltração da água	58
3.3.4.10	Alterações na qualidade física do solo em função do manejo	59
3.4	TIPOS DE CEMITÉRIOS	61
3.4.1	Cemitérios verticais	64
3.4.2	Cemitérios tradicionais	65
3.4.3	Cemitério parque ou cemitério jardim	65
3.4.4	Crematório	66
3.4.5	Legislação ambiental para implantação e operação de cemitérios no Brasil	67
4	METODOLOGIA	70
4.1	Primeira etapa – coleta de amostras	70
4.2	Segunda etapa – análises físico-químicas e microbiológicas da água	74
4.3	Terceira etapa	76
4.4	Quarta etapa – caracterização física e química do solo	77
4.4.1	Coleta de amostras e ensaio de percolação	80
4.4.2	Ensaio laboratoriais – amostras amolgadas	81
4.4.3	Ensaio laboratoriais – amostras indeformadas	85
5	RESULTADOS	87
5.1	Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas da água	87
5.1.1	pH	87
5.1.2	Alcalinidade	90
5.1.3	Concentração de oxigênio	92
5.1.4	Condutividade	95

5.1.5	Dureza	97
5.1.6	Concentração de ferro	100
5.1.7	Sólidos dissolvidos totais	103
5.1.8	DQO	106
5.1.9	DBO	108
5.1.10	Mesófilo	111
5.2	Resultados da análise multivariada	114
5.2.1	Análise de redundância	116
5.3	Resultados: caracterização física e química do solo	120
5.3.1	Tumulação – 0 a 30 cm	121
5.3.2	Tumulação – 1 m	124
5.3.3	Tumulação – 2 m	127
5.3.4	Poço de monitoramento 1 – 1 m	129
5.3.5	Poço de monitoramento 1 – 2 m	132
5.3.6	Poço de monitoramento 3 – 1 m	135
5.3.7	Poço de monitoramento 3 – 2 m	138
5.3.8	Composição química do solo	140
6	DISCUSSÃO	142
6.1	Discussão dos resultados das análises da água	142
6.2	Discussão dos resultados das análises do solo	146
7	CONCLUSÕES	156
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159
	APÊNDICES	172
APÊNDICE A.	Tabelas dos resultados estatísticos	172
APÊNDICE B.	Relatórios das análises granulométricas	176
APÊNDICE C.	Relatórios do Pentapicnômetro	204
APÊNDICE D.	Relatórios dos limites de consistência do solo	211

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Imagem de satélite (05/05/2008) com destaque para o a) Cemitério Jardim Metropolitano de Valparaíso de Goiás (evidenciado, em vermelho); b) áreas residenciais (em amarelo) e c) áreas ainda não ocupadas (em roxo)	2
Figura 1.2 - Imagem de satélite de 08/05/2019 com destaque para a) Cemitério Jardim Metropolitano de Valparaíso de Goiás (em vermelho); b) área residencial (em amarelo).	3
Figura 3.1 - Ilustração de aquíferos classificados quanto a pressão hidrostática.	8
Figura 3.2 - - Posicionamento do aquífero quanto a zona de solo não saturado.	9
Figura 3.3- Aquíferos classificados quanto ao tipo de porosidade. 1) Aquífero do domínio sedimentar; 2) Aquífero do domínio fraturado; 3) Aquífero do domínio cárstico.	10
Figura 3.4 - Aquíferos no Brasil classificados quanto à porosidade.	10
Figura 3.5- Ordenação das amostras A, B, C, D, E em função de (a) uma; (b) duas e (c) três espécies.	26
Figura 3.6- Exemplo de RDA.	28
Figura 3.7 - Solo argiloso.	30
Figura 3.8- Solo do Cemitério Jardim Metropolitano – Valparaíso-GO.	30
Figura 3.9- Solo arenoso.	31
Figura 3.10- Tipos de Solo do Distrito Federal.	34
Figura 3.11 - Microunidades do Distrito Federal.	35

Figura 3.12 - Esquema demonstrativo da infiltração da água no solo.	38
Figura 3.13 - Componentes de uma amostra do solo indeformada.	44
Figura 3.14 - Limite de Liquidez (LL) – aparelho de Casagrande	48
Figura 3.15- Curvas de compactação empregando diferentes energias – E1: Proctor normal; E2: Proctor intermediário; E3: Proctor modificado.	52
Figura 3.16 - Curvas típicas de retenção de água para argila, silte e areia.	54
Figura 4.1- Esquema construtivo dos poços de monitoração.	71
Figura 4.2- Localização da região de estudo (Valparaíso-GO).	71
Figura 4.3- Localização da região de estudo (Valparaíso-GO).	72
Figura 4.4- Localização da região de estudo (Valparaíso-GO) destacando Cemitério Jardim Metropolitano.	72
Figura 4.5- Imagem de satélite da área de estudo: da área de estudo Valparaíso: 16°05'40.59"S; 47°59'09.95"O; Alt. 1045m.	73
Figura 4.6- Localização dos poços de monitoramento - 1, 2, 3. Distância: P1 e P2 90m - poço P2 ao poço P3 830m	73
Figura 4.7- Fluxogramas de execução da caracterização física do solo do Cemitério Jardim Metropolitano de Valparaíso em campo e em laboratório.	79
Figura 4.8- Amostra indeformada; a) durante a moldagem da amostra; b) amostra recoberta por filme e parafina para preservá-la com as mesmas características do campo.	80
Figura 4.9- Ensaio de percolação da água no solo conforme a ABNT NBR 13969:1997.	81
Figura 4.10 - Proctor normal e soquete pequeno.	82
Figura 4.11- Granulometria a) Peneiras do peneiramento grosso b) Agitador mecânico para peneiramento.	83
Figura 4.12- Ensaio de granulometria da água no solo conforme a ABNT NBR 13969:1997.	83

Figura 4.13- Granulometria - peneiramento fino.	84
Figura 4.14 - a) Limite de liquidez; b) Limite de plasticidade.	84
Figura 4.15 - Pentapicnômetro – Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília	85
Figura 4.16- Ensaio Fredlund cell - Translação de eixos. Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília	86
Figura 4.17- WP4C - mede o potencial hídrico determinando a umidade relativa. Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília.	86
Figura 5.1 - Boxplot da variável pH da água para o período de 2007 a 2018.	88
Figura 5.2- Variação do pH da água coletada entre 2007 e 2018. Limite normativo: $6 < \text{pH} < 9,5$.	88
Figura 5.3 - Gráfico de linha para a variável pH. Limite normativo: $6 < \text{pH} < 9,5$.	89
Figura 5.4- Boxplot da variável alcalinidade da água.	90
Figura 5.5- Variação de alcalinidade da água (por ano) (2007-2018). Limite normativo: Alcalinidade $< 500 \text{mg.L}^{-1}$	91
Figura 5.6- Gráfico de linha para a variável Alcalinidade. Limite normativo: Alcalinidade $< 500 \text{mg.L}^{-1}$	91
Figura 5.7 – Boxplot da variável concentração de O_2 dissolvido.	93
Figura 5.8- Variação da concentração de O_2 (por ano) (2007-2018). Limite normativo: Oxigênio $> 6 \text{mg.L}^{-1}$.	93
Figura 5.9- Gráfico de linha para a variável concentração de O_2 . Limite normativo: Oxigênio $> 6 \text{mg.L}^{-1}$.	94
Figura 5.10- Boxplot da variável condutividade da água.	95
Figura 5.11- Boxplot da variável concentração de Condutividade (por ano) (2007-2018). Limite normativo: Condutividade, não especificado.	96
Figura 5.12- Gráfico de linha para a variável condutividade. Limite normativo: Condutividade, não especificado.	97

Figura 5.13- Boxplot da variável dureza.	98
Figura 5.14- Variável dureza (por ano) (2007-2018). Limite normativo dureza: dureza <500mg.L ⁻¹ .	98
Figura 5.15- Gráfico de linha para a variável dureza. Limite normativo dureza: dureza <500mg.L ⁻¹ .	99
Figura 5.16- Boxplot da variável Concentração de ferro.	100
Figura 5.17- A variável concentração de ferro (por ano) (2007-2018). Limite normativo: Ferro <0,3mg.L ⁻¹ .	101
Figura 5.18- Gráfico de linha para a variável concentração de ferro. Limite normativo: Ferro <0,3mg.L ⁻¹ .	102
Figura 5.19- Boxplot da variável Sólidos dissolvidos totais.	103
Figura 5.20- Variação dos sólidos dissolvidos totais (por ano) (2007-2018). Limite normativo: sólidos dissolvidos totais <1000 mg.L ⁻¹	104
Figura 5.21- Gráfico de linha para a variável sólidos dissolvidos totais. Limite normativo: sólidos dissolvidos totais <1000 mg.L ⁻¹ .	105
Figura 5.22- Boxplot da variável DQO.	106
Figura 5.23- Variável DQO (por ano) (2007-2018). Limite normativo: DQO <3,69mg.L ⁻¹ .	107
Figura 5.24- Gráfico de linha para a variável DQO. Limite normativo: DQO <3,69mg.L ⁻¹ .	108
Figura 5.25– Boxplot da variável DBO.	109
Figura 5.26- Boxplot da variável DBO (por ano) (2007-2018). Limite normativo: DBO <3,0mg.L ⁻¹ .	109
Figura 5.27– Gráfico de linha para a variável DBO.). Limite normativo: DBO <3,0mg.L ⁻¹ .	110
Figura 5.28– Boxplot da variável mesófilo.	111
Figura 5.29- Boxplot da variável Mesófilo (por ano) (2007-2018).). Limite normativo: Não especificado	112

- Figura 5.30- Gráfico de linha para a variável mesófilo.). Limite normativo: Não especificado 113
- Figura 5.31- Diagrama da RDA 1 e RDA 2 (eixo x e y) das a) propriedades físico-químicas de águas do lençol freático (vetores em azul) em poços (P1-P3) localizados em regiões de cemitério ao longo dos anos (2007-2018), explicadas pelas variáveis contínuas (setas vermelhas) ou multicotômicas (triângulos); b) distribuição das amostras no diagrama RDA. 116
- Figura 5.32- Diagrama da RDA 1 e RDA3 (eixo x e z) das a) propriedades físico-químicas de águas do lençol freático (vetores em azul) em poços (P1-P3) localizados em regiões de cemitério ao longo dos anos (2007-2018), explicadas pelas variáveis contínuas (setas vermelhas) ou multicotômicas (triângulos); b) distribuição das amostras no diagrama RDA. 118
- Figura 5.33- Diagrama da análise de discriminante de amostras de águas do lençol freático, em regiões de cemitério de Valparaíso/GO, de acordo com os agrupamentos dos anos (A-C), e as propriedades físico-químicas descritoras (vetores vermelhos). 119
- Figura 5.34- Curvas granulométricas com e sem defloculante. Amostra: Tumulação 0 – 30 cm. 122
- Figura 5.35- Curva de compactação e curva de Saturação a 100% de umidade. Amostra: Tumulação 0 – 30 cm. 123
- Figura 5.36- Curva de retenção amostra indeformada. Tumulação 0 – 30 cm. 124
- Figura 5.37- Curvas granulométricas com e sem defloculante. Amostra: Tumulação 1 m. 125
- Figura 5.38- Curva de compactação e curva de Saturação a 100% de umidade. Amostra: Tumulação 1 m. 126
- Figura 5.39- Curvas granulométricas com e sem defloculante. Amostra: Tumulação 2 m. 127
- Figura 5.40- Curva de compactação e curva de Saturação a 100% de umidade. Amostra: Tumulação 2 m. 129
- Figura 5.41- Curvas granulométricas com e sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1 - 1 m. 130

- Figura 5.42- Curva de compactação e curva de Saturação a 100% de umidade. Amostra: Poço de monitoramento 1 – 1m. 131
- Figura 5.43- Curva de retenção medida no WP-4. Amostra: Poço de monitoramento 1 – 1m. 132
- Figura 5.44- Curvas granulométricas com e sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1 - 2 m. 133
- Figura 5.45- Curva de compactação e curva de Saturação a 100% de umidade. Amostra: Poço de monitoramento 1 – 2m. 134
- Figura 5.46- Curva de retenção medida no WP-4. Amostra: Poço de monitoramento 1 – 2 m. 135
- Figura 5.47- Curvas granulométricas com e sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3 - 1 m. 136
- Figura 5.48- Curva de compactação e curva de Saturação a 100% de umidade. Amostra: Poço de monitoramento 3 – 1m. 137
- Figura 5.49. Curva de retenção medida no WP-4. Amostra: Poço de monitoramento 3 – 1m. 138
- Figura 5.50- Curvas granulométricas com e sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3 – 2 m. 139
- Figura 5.51- Curva de compactação e curva de Saturação a 100% de umidade. Amostra: Poço de monitoramento 3 – 2m. 140
- Figura 6.1 - Médias mensais de chuva anual, no período de 1963 a 2018 (em ordem crescente). 145
- Figura 6.2- Curvas granulométricas do solo do Distrito Federal: ensaio convencional com defloculante e sem defloculante. 147
- Figura 6.3- Curva granulométrica do solo de Brasília-DF (profundidade de 1,7 a 2,3 m): ensaio convencional com defloculante e sem defloculante. 147
- Figura 6.4- Analogia entre a função de densidade de poros e a curva de retenção. 149
- Figura 6.5- Curvas de retenção de água: a) umidade de compactação 24%, e b) umidade de compactação 18%. 149

Figura 6.6- Resultados da curva de retenção do solo para amostra natural, compactada e lama.	150
Figura 6.7- Densidade de poros das amostras compactadas com diferentes métodos	150
Figura 6.8- Imagens micrográficas da estrutura do solo ao longo da compactação.	151
Figura 6.9- Argila porosa de Brasília em estado natural, compactado e lama: a) distribuição do tamanho dos poros; b) Densidade do tamanho dos poros.	151
Figura 6.10- Imagens micrográficas da estrutura do solo de Brasília-DF.	152
Figura B.1 – Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 0 a 30 cm. Parte 1.	176
Figura B.2 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 0 a 30 cm. Parte 2.	177
Figura B.3 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 0 a 30 cm. Parte 1.	178
Figura B.4 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 0 a 30 cm. Parte 2.	179
Figura B.5 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 1 m. Parte 1.	180
Figura B.6 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 1 m. Parte 2.	181
Figura B.7 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 1 m. Parte 1.	182
Figura B.8 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 1 m. Parte 2.	183
Figura B.9 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 2 m. Parte 1.	184
Figura B.10- Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 2 m. Parte 2.	185

Figura B.11 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 2 m. Parte 1.	186
Figura B.12 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 2 m. Parte 2.	187
Figura B.13 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 1 m. Parte 1.	188
Figura B.14 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 1 m. Parte 2.	189
Figura B.15 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 1 m. Parte 1.	190
Figura B.16 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 1 m. Parte 2.	191
Figura B.17 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 2 m. Parte 1.	192
Figura B.18 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 2 m. Parte 2.	193
Figura B.19 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 2 m. Parte 1.	194
Figura B.20 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 2 m. Parte 2.	195
Figura B.21 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 1 m. Parte 1.	196
Figura B.22 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 1 m. Parte 2.	197
Figura B.23 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 1m. Parte 1.	198
Figura B.24 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 1m. Parte 2.	199
Figura B.25 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 2m. Parte 1.	200

Figura B.26 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 2m. Parte 2.	201
Figura B.27 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 2m. Parte 1.	202
Figura B.28 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 2 m. Parte 2.	203
Figura C.1 – Resultado de peso específico aparente. Amostra: Tumulação, profundidade de 0-30 cm.	204
Figura C.2 - Resultado de peso específico aparente. Amostra: Tumulação, profundidade de 1 m.	205
Figura C.3 - Resultado de peso específico aparente. Amostra: Tumulação, profundidade de 2 m.	206
Figura C.4 - Resultado de peso específico aparente. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 1 m.	207
Figura C.5 - Resultado de peso específico aparente. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 2 m.	208
Figura C.6 - Resultado de peso específico aparente. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 1 m.	209
Figura C.7 - Resultado de peso específico aparente. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 2 m.	210
Figura D.1 - Relatório dos limites de consistência do solo. Amostra: Tumulação, profundidade de 0 – 30 cm.	211
Figura D.2 - Relatório dos limites de consistência do solo. Amostra: Tumulação, profundidade de 1m.	212
Figura D.3 - Relatório dos limites de consistência do solo. Amostra: Tumulação, profundidade de 2 m.	213
Figura D.4 - Relatório dos limites de consistência do solo. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 1 m.	214
Figura D.5 - Relatório dos limites de consistência do solo. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 2 m.	215

Figura D.6 - Relatório dos limites de consistência do solo. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 1 m. 216

Figura D.7 - Relatório dos limites de consistência do solo. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 2 m. 217

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Composição de Elementos Químicos e substâncias aproximadas do corpo de um homem em gramas. Quantidade de compostos lixiviados (g) por um corpo humano no solo	25
Tabela 3.2. Principais métodos de ordenação usados em Análise Multivariada	27
Tabela 3.3. Energias de compactação.	53
Tabela 4.1. Parâmetros estabelecidos para a boa qualidade da água com base nos padrões exigidos pelo MS na (PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5, 2017), de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017) e pelo CONAMA na Resolução CONAMA 396, de 4 de abril de 2008 (BRASIL, 2008) e na Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005).	75
Tabela 4.2. Métodos analíticos e equipamentos utilizados na determinação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água.	76
Tabela 5.1. pH da água.	88
Tabela 5.2. Teste Cox-Stuart para pH.	89
Tabela 5.3. Alcalinidade da água.	90
Tabela 5.4. Teste Cox-Stuart para alcalinidade	92
Tabela 5.5. Concentração de O ₂ .	92
Tabela 5.6. Teste Cox-Stuart para concentração de O ₂	94
Tabela 5.7. Condutividade da água.	95
Tabela 5.8. Teste Cox-Stuart para condutividade	97

Tabela 5.9. Dureza.	98
Tabela 5.10. Teste Cox-Stuart para dureza	100
Tabela 5.11. Concentração de ferro	100
Tabela 5.12. Teste Cox-Stuart para concentração de ferro.	102
Tabela 5.13. Sólidos dissolvidos totais	103
Tabela 5.14. Teste Cox-Stuart para sólidos dissolvidos totais	105
Tabela 5.15. DQO.	106
Tabela 5.16. DBO.	108
Tabela 5.17. Mesófilo	111
Tabela 5.18. Medianas dos resultados de análises de alcalinidade, pH, O ₂ orgânico, condutividade e dureza, realizadas entre 2007 e 2018 nos piezômetros construídos no Cemitério Jardim Metropolitano – Valparaíso – GO.	115
Tabela 5.19. Medianas dos resultados de análises de turbidez, ferro, TDS, DQO, DBO e mesófilo, realizadas entre 2007 e 2018 nos piezômetros construídos no Cemitério Jardim Metropolitano – Valparaíso – GO	115
Tabela 5.20. Resultados do teste de eixos restritos individuais de análise restrita.	117
Tabela 5.21. Concentração média ^a dos parâmetros.	120
Tabela 5.22. Índices físicos. Amostra: Tumulação 0 - 30 cm.	122
Tabela 5.23. Resultados de percolação e permeabilidade.	123
Tabela 5.24. Índices físicos. Amostra: Tumulação 0 - 30 cm	126
Tabela 5.25. Índices físicos. Amostra: Tumulação 2 m	128
Tabela 5.26. Índices físicos. Amostra: Tumulação 1 – 1 m	130
Tabela 5.27. Índices físicos. Amostra: Poço de monitoramento 1 – 2 m	133
Tabela 5.28. Índices físicos. Amostra: Poço de monitoramento 3 – 1 m	136

Tabela 5.29. Índices físicos. Amostra: Poço de monitoramento 3 – 2 m	139
Tabela 5.30. Análises físico-químicas de solo da unidade em estudo, amostras de solo.	141
Tabela 6.1. Pontos de Monitoramentos na região do Cemitério Jardim Metropolitano em Valparaíso realizado pela SANEAGO em 2 de março de 2017.	143
Tabela 6.2. Peso específico relativo dos grãos de alguns solos de barragens brasileiras.	154
Tabela A.1 - Medidas-resumo de pH por ano (2007-2018).	172
Tabela A.2 - Medidas-resumo de alcalinidade por ano (2007-2018).	172
Tabela A.3 - Medidas-resumo de concentração de O ₂ por ano (2007-2018).	173
Tabela A.4. - Medidas-resumo de condutividade por ano (2007-2018).	173
Tabela A.5 - Medidas-resumo de dureza por ano (2007-2018).	173
Tabela A.6 - Medidas-resumo de turbidez por ano (2007-2018).	174
Tabela A.7 - Medidas-resumo de concentração de ferro por ano (2007-2018).	174
Tabela A.8 - Medidas-resumo de sólidos dissolvidos totais por ano (2007-2018).	174
Tabela A.9 - Medidas-resumo de DQO por ano (2007-2018).	175
Tabela A.10 – Medidas-resumo de DBO por ano (2007-2018).	175
Tabela A.11 – Medidas-resumo de Mesófilo por ano (2007-2018).	175

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

CA	Análise de Correspondência
CCA	Análise de Correspondência Canônica
RDA	Análise de Redundância
A	Ardósia
PV	Argissolo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Cb	Cambissolos
MX	Chernossolo
CC	Coefficiente de Curvatura
CNU	Coefficiente de Não Uniformidade
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO	Demanda Biológica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
D10	Diâmetro efetivo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GX	Gleissolos
IAL	Instituto Adolpho Lutz
IBRAM	Instituto Brasília Ambiental
LV	Latossolo Vermelho
LVA	Latossolo Vermelho Amarelo
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
R3	Metarritmito arenoso/metassiltito
R4	Metarritmito argiloso
S	Metassiltito/metarritmito arenoso
MP	Ministério Público
RU	Neossolo Flúvico

RQ	Neossolo Quartzarênico
NV	Nitossolo Vermelho
NBR	Norma Brasileira
NMP	Número Mais Provável
O	Organossolo
Ps	Parte sólida
Pa	Peso da água
γ_n	Peso específico natural
Gs	Peso específico relativo
Pt	Peso total
FF	Plintossolos
PPC	Psamo-pelito-carbonatada
Q3	Quartzito
Q2	Quartzito conglomerático
RA	Regiões Administrativas
TDS	Sólidos Dissolvidos Totais
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
w%	Unidade
UFC	Unidade Formadora de Colônia
μH	Unidades Hazen

RESUMO

Este trabalho avaliou a influência da decomposição dos corpos depositados no Cemitério Jardim Metropolitano, município de Valparaíso, Goiás, e da conseqüente formação de necrochorume sobre as águas subterrâneas e solos locais. A coleta de dados ocorreu entre os anos de 2007 a 2018. Durante esse período de acompanhamento foram monitorados três poços de monitoramento no interior da área do cemitério cujos parâmetros alcalinidade, pH, oxigênio dissolvido, condutividade, cor, dureza, turbidez, teor de ferro, sólidos totais dissolvidos, demanda química de oxigênio, demanda biológica de oxigênio e microbiológicas da água subterrânea. De acordo com os resultados obtidos, os valores medianos dos parâmetros físico-químicos não estão acima do permitido pela legislação brasileira. A análise de redundância (RDA), empregada por meio do software CANOCO, possibilitou identificar os parâmetros físico-químicos de maior relevância nos locais de coleta e nos anos entre 2007 e 2018, permitindo diferenciar e classificar as amostras de água. Com isso, foi possível correlacionar os resultados físicos, químicos e microbiológicos, e identificar os locais mais propícios à contaminação, concluindo que houve influência do cemitério na modificação dos índices de potabilidade dos aquíferos, porém dentro dos limites normativos estabelecidos. Isso ocorre graças ao solo da região, que por ser um solo tropical laterítico, é capaz de depurar o necrochorume antes que ele alcance o aquífero. Identificou-se que a poluição nos poços artesianos utilizados pela população residente próximo ao cemitério era causada pelo mau acondicionamento e despejo de lixo e efluentes.

Palavras-chave: Cemitérios, Necrochorume, Águas Subterrâneas, Solo, Análise da Qualidade da água e do solo.

ABSTRACT

This study evaluated the influence of decomposition of deposited bodies in Jardim Metropolitano Cemetery, Valparaiso, Goiás, and the consequent formation of necrochorume on groundwater and local soils. Data collection took place from 2007 to 2018. During this follow-up period three monitoring wells were monitored within the cemetery area whose parameters alkalinity, pH, dissolved oxygen, conductivity, color, hardness, turbidity, iron content, total dissolved solids, chemical oxygen demand, biological oxygen demand and groundwater microbiological. According to the obtained results, the median values of the physicochemical parameters are not above the allowed by the Brazilian legislation. Redundancy Analysis (RDA), employed by the CANOCO software, made it possible to identify the most relevant physicochemical parameters at the collection sites and in the years 2007 to 2018, allowing to differentiate and classify the water samples. Thus, it was possible to correlate the results of chemical, chemical and microbiological, and identify the sites most conducive to contamination, concluding that there was influence of the cemetery on changes in the potability indices of aquifers, but within the normative limits used. This is due to the region's soil, which being a later tropical soil, is able to purify or necrochorume before reaching the aquifer. Pollution in artesian wells used by the population near the cemetery was found to be caused by poor conditioning and dumping of waste and effluents.

Keywords: Cemeteries, Necrochorume, Groundwater, Soil, Water and Soil Quality Analysis, Geotechnical Analysis.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento urbano é modelado pelas ações humanas (ALNSOUR, 2016). Ele originou a criação de uma diversidade de serviços urbanos, ao longo de sua existência, para atender às necessidades humanas básicas. As necessidades humanas são ilimitadas, mas os recursos são escassos (DA SILVA, 2016). Esse princípio da economia exemplifica o motivo de as atividades humanas desencadearem impactos ambientais e o porquê que eles devem ser avaliados, para que sejam mitigados ou eliminados.

Uma das necessidades, comum a muitas culturas, é a acomodação dos cadáveres em túmulos – o conjunto deles é chamado cemitério – e serve como uma alternativa importante ao depósito dos corpos dos falecidos em um só local. Com a densificação da população e o conseqüente crescimento das cidades, algumas áreas urbanas avançaram para as proximidades de cemitérios. Além disso, o aumento do número de corpos enterrados também é uma conseqüência do crescimento demográfico (NECKEL, 2017).

Nos cemitérios, agentes biológicos, físicos e químicos promovem a decomposição da matéria do corpo humano enterrado. Esse processo origina uma série de compostos que são poluentes potenciais. Portanto, passam a representar um risco ambiental ao solo e a aquíferos freáticos localizados em sua área de influência (MARCOMINI, 2012), tornando-os vulneráveis à poluição, uma vez que armazenam uma quantidade elevada de corpos em decomposição.

No Brasil, o crescimento populacional atingiu 0,7% de 2016 a 2017. Em 2018 se acrescenta uma pessoa à população, em média, a cada 19 segundos (IBGE, 2018). Com esse aumento constante da população as áreas habitacionais, comerciais e industriais, passam a ocupar novas áreas, inclusive, áreas próximas às regiões dos cemitérios (LAUWERS, 2015).

Esse é o quadro verificado no entorno do Cemitério Jardim Metropolitano, em Valparaíso – GO, em que houve uma expansão da área residencial nas suas proximidades, conforme se pode observar na Figura 1.1 e na Figura 1.2. Tal aspecto da engenharia territorial não pode passar despercebido pelas autoridades, que devem considerar a importância de desenvolver estudos nas áreas de cemitérios, destacando padrões e processos de expansão urbana e a mudança nas cidades contemporâneas sob a perspectiva da contaminação do solo e das águas subterrâneas (TRINDADE; NECKEL, 2014; ALNSOUR; ZHANG, 2016).



Figura 1.1 - Imagem de satélite (05/05/2008) com destaque para o a) Cemitério Jardim Metropolitano de Valparaíso de Goiás (evidenciado, em vermelho); b) áreas residenciais (em amarelo) e c) áreas ainda não ocupadas (em roxo)

Fonte: Google Earth – mapas, 2019 (modificada)



Figura 1.2 - Imagem de satélite de 08/05/2019 com destaque para a) Cemitério Jardim Metropolitano de Valparaíso de Goiás (em vermelho); b) área residencial (em amarelo).

Fonte: Google Earth – mapas, 2019 (modificada)

Em Valparaíso, a população, preocupada com a possibilidade de contaminação do aquífero localizado em sua região, Figura 1.2, se mobilizou e moveu uma ação junto ao Ministério Público (MP) para que fosse realizado um estudo sobre o local, sendo que há em média 20 (vinte) sepultamentos por mês, com o registro de aproximadamente 10.000 (dez mil) corpos sepultados, desde sua inauguração em 1999, e sendo essa região banhada por aquíferos do Domínio Fraturado;(SEMARH, 2005; LOUSADA, 2005). A mesma aproximação da população de cemitérios ocorre nas outras regiões do Distrito Federal, nas Regiões Administrativas (RA) do Gama, Plano Piloto, Sobradinho, Brazlândia, Taguatinga e Planaltina.

A ação TJ-GO. 2ª Vara Cível da Fazenda Pública, de Registros Públicos e Ambiental de Valparaíso de Goiás – GO, Processo nº 2007030.36186. 2007, promovida pelo MP-GO fez com que o Instituto Brasília Ambiental (IBRAM) solicitasse um monitoramento periódico dos aquíferos que estão na área de influência dos cemitérios das RA. Impulsionado pelo IBRAM, o Cemitério Jardim Metropolitano de Valparaíso contratou o Laboratório Químico Quinosan para realizar análises de controle da qualidade da água do aquífero que se localiza no subsolo do cemitério.

O risco de contaminação do aquífero freático de Valparaíso de Goiás foi avaliada nesta Tese, por meio da realização de ensaios de natureza físico-química e microbiológica, obtidos ao longo de 11 anos, no período compreendido entre 2007 e 2018. Os resultados obtidos foram analisados por métodos estatísticos convencionais e por meio de Análise Multivariada. O software CANOCO foi a ferramenta computacional adotada para realizar esta análise. Posteriormente, realizaram-se ensaios geotécnicos para a caracterização física do solo, a fim de confrontar os resultados de qualidade da água do aquífero com as características do solo, que é o principal filtro de poluentes dos aquíferos da região.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Caracterizar a vulnerabilidade das águas subterrâneas na área de influência dos cemitérios e, através das análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, avaliar o impacto do necrochorume nos aquíferos freáticos encontrados nos cemitérios de Valparaíso de Goiás-GO entre 2007 e 2018.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar análises físico-químicas de alcalinidade, cloro, pH, oxigênio dissolvido, fósforo, condutividade, dureza, turbidez, ferro, nitrogênio, cromo, Sólidos Dissolvidos Totais (TDS), manganês, Demanda Química de Oxigênio (DQO), amônia, Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), chumbo e mesofilos;
- Realizar análises microbiologias de Número Mais Provável (NMP) a totais, NMP parciais, proteolíticas, salmonelas, lipolíticas e heterotróficas;
- Avaliar a vulnerabilidade do aquífero freático de Valparaíso de Goiás por meio das análises químicas da água;
- Realizar análises estatísticas com métodos de Ordenação Canônica por meio do pacote computacional CANOCO;
- Aplicar a ordenação multivariada e testar a sua eficiência para resumir um grande número de parâmetros, facilitando a sua identificação;

- Realizar ensaios geotécnicos para caracterização física do solo da região;
- Comparar as características físicas do solo com a qualidade da água do aquífero e avaliar a capacidade do solo de retenção de poluentes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aquíferos

As águas subterrâneas podem ser definidas como aquelas que ocorrem no subsolo, ocupando todos os espaços vazios ali encontrados (MARENGO, 2008). Por outro lado, os aquíferos são chamados de camadas de terra ou rocha, nas quais as águas ocupam todos os vazios subterrâneos (poros) que os saturam, circulando de tal maneira que é possível extrair economicamente por algum tipo de estrutura (furos, poços etc.) em quantidade suficiente para fornecer algum uso ou demanda (REBOUÇAS, 2006; MARENGO, 2008).

Essas camadas de aquíferos são classificadas por pressão hidrostática como aquíferos livres e confinados, conforme mostrado na Figura 3.1. Quando é um aquífero livre, eles têm uma conexão direta com a atmosfera, o que faz com que a infiltração da água da chuva penetre no solo, atingindo o aquífero devido à ação da força da gravidade (MARENGO, 2008).

Por outro lado, existem estruturas ou camadas geológicas que trabalham para isolar os aquíferos na base e no topo, de modo que a água esteja a pressões mais altas que a atmosférica e só seja alimentada através de faixas de terra. É para eles que esses aquíferos chegam a acessar a infiltração de água da chuva no solo, sendo denominados esse tipo de aquífero confinado (MARENGO, 2008).

Existem também aquíferos confinados profundos, totalmente isolados do acesso por infiltração de água da chuva ou outros tipos. Eles não são muito comuns e se referem a águas armazenadas em tempos geológicos passados que não foram renovados. Hoje eles se comportam como se fossem bens

minerais, esgotáveis e, portanto, seu uso deve ser feito com extremo cuidado e planejamento estratégico (BOHN e GOETTEN, 2015).

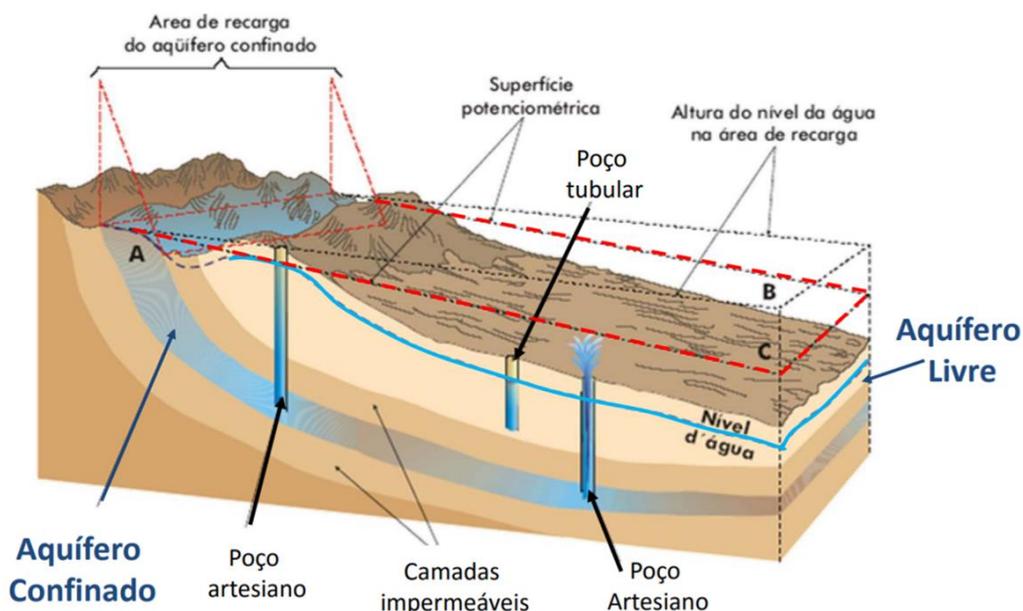


Figura 3.1 - Ilustração de aquíferos classificados quanto a pressão hidrostática.

Fonte: <<http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/destaque-superior/eventos/oficinas-de-intercambio-1/aguas-subterraneas-1/apresentacoes-ana/ana-1-hidrogeologia-leonardo-de-almeida.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2019.

Em geral, os aquíferos, quer ocorram em maior quer em menor profundidade, podem ser objeto de interferências das diferentes formas de uso e ocupação do solo. Tais interferências podem contribuir para alterar a quantidade de água que é neles armazenada e/ou impactar a qualidade natural da água (MARENCO, 2008).

Algumas interferências podem se dar de forma direta, assim concebidas nos casos de contaminações diretas, minerações, túneis, drenos, poços, dentre outros; ou indireta, como ocorre em casos de barramento de rios, criação de reservatórios, lançamento de contaminantes na superfície do terreno, desmatamentos, impermeabilização do terreno dentre outros (ANA, 2013).

O fato de os aquíferos ocorrerem no subsolo e terem muitos materiais naturais não saturados acima deles dá às fontes subterrâneas várias vantagens sobre os corpos d'água superficiais. Na Figura 3.2, pode-se observar como os aquíferos se localizam em relação à zona não-saturada. Ao

mesmo tempo, esses mesmos aspectos podem apresentar risco de contaminação, o que requer cuidados com o uso das águas subterrâneas (REBOUÇAS, 2006; BOHN, GOETTEN, 2015).

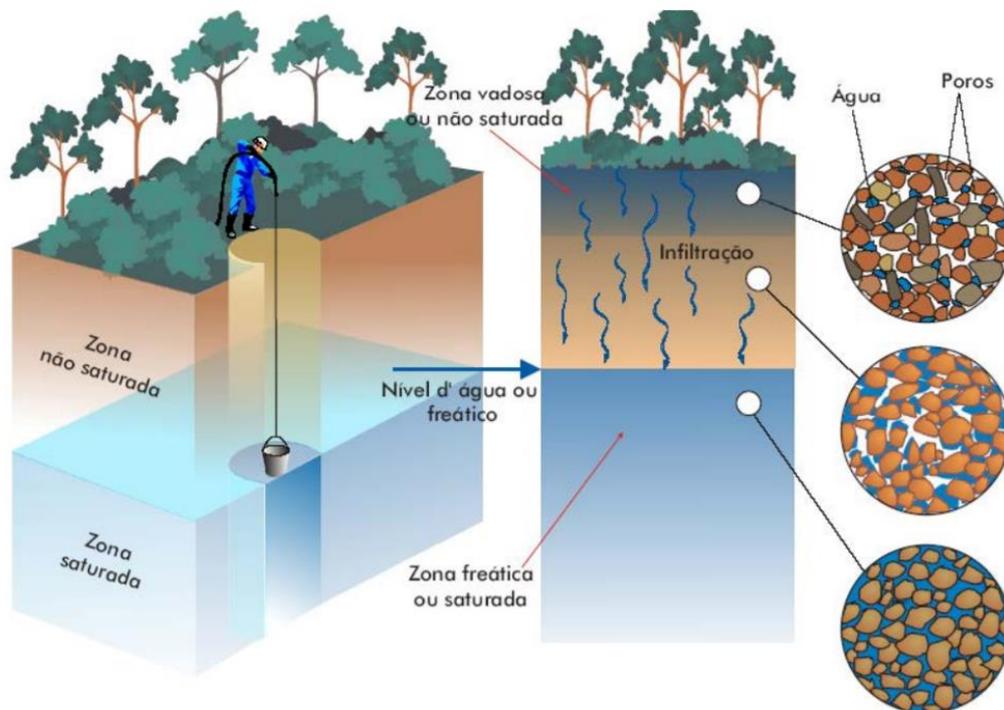


Figura 3.2 - - Posicionamento do aquífero quanto a zona de solo não saturado.

Fonte: Teixeira et al. (2009).

No Brasil, o potencial subterrâneo é caracterizado por 181 aquíferos e sistemas aquíferos aflorantes, que se dividem em três domínios: fraturado, sedimentar e cárstico (FERREIRA, 2007). Essa classificação se dá em função do tipo de porosidade do aquífero (Figura 3.3 e Figura 3.4). Nos aquíferos do domínio fraturado, a água fica armazenada em fraturas interconectadas da rocha; nos aquíferos sedimentares, a água fica armazenada entre os grãos de solo e de rocha; já nos aquíferos cársticos, a água fica armazenada em condutos e canais que se formam pela dissolução da rocha carbonática em determinadas condições.

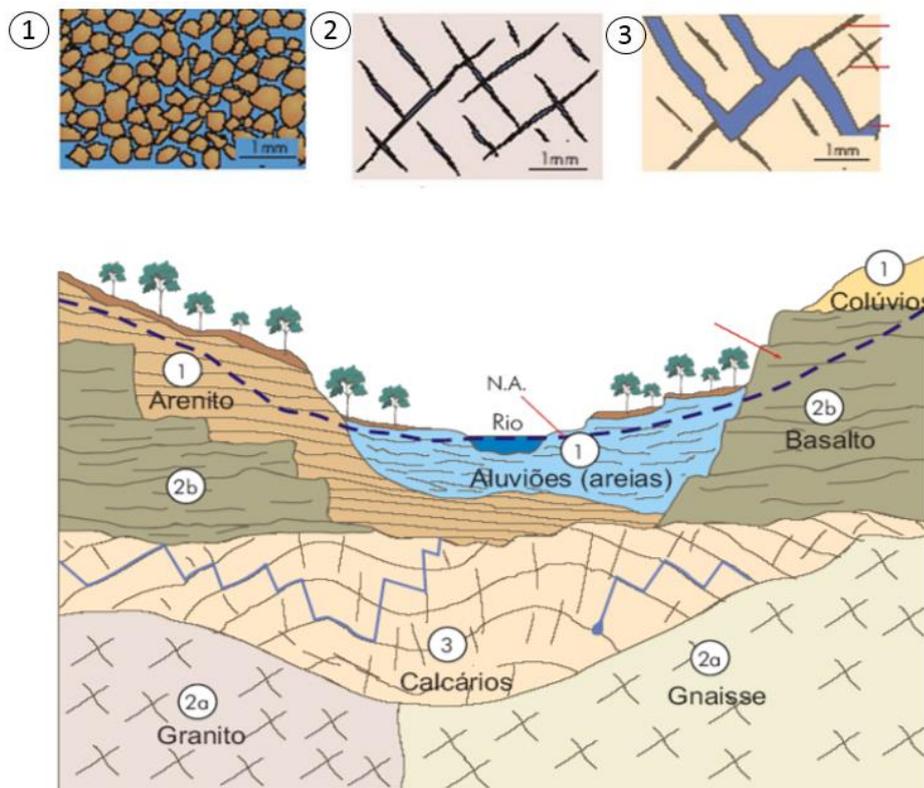


Figura 3.3- Aquíferos classificados quanto ao tipo de porosidade. 1) Aquífero do domínio sedimentar; 2) Aquífero do domínio fraturado; 3) Aquífero do domínio cárstico.

Fonte: <<http://progestao.ana.gov.br/portal/progestao/destaque-superior/eventos/oficinas-de-intercambio-1/aguas-subterraneas-1/apresentacoes-ana/ana-1-hidrogeologia-leonardo-de-almeida.pdf>>. Acesso em: 1 set. 2019.

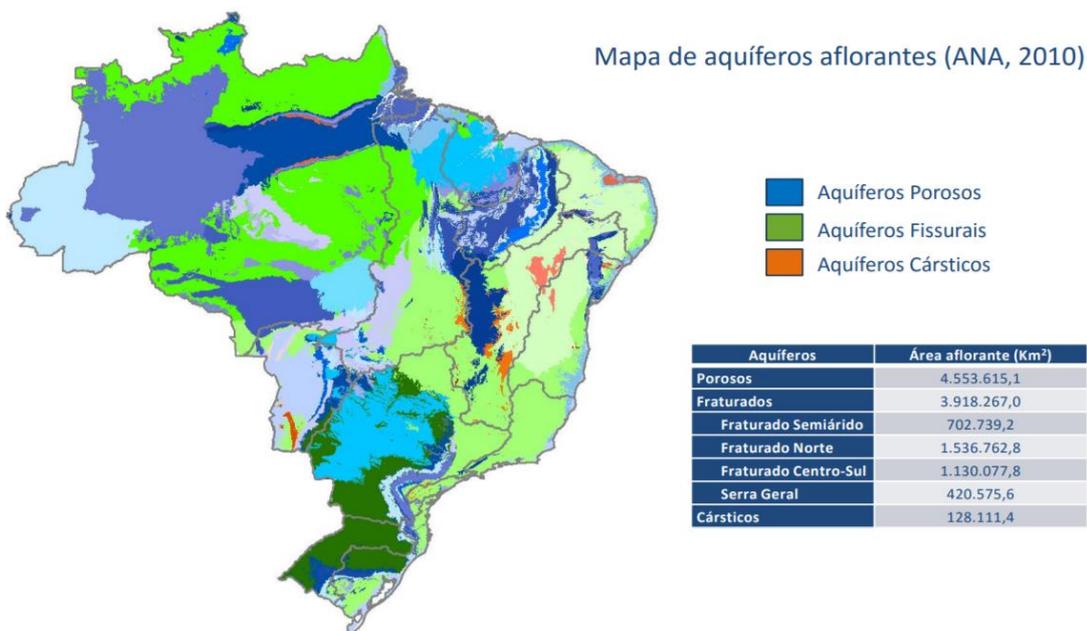


Figura 3.4 - Aquíferos no Brasil classificados quanto à porosidade.

Fonte: <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=3ec60e4f-85ea-4ba7-a90c-734b57594f90>>. Acesso em: 1 set. 2019.

Dos 181 aquíferos mapeados no território brasileiro, 151 aquíferos são sedimentares, que juntos representam os maiores potenciais de exploração. São pertencentes a esse grupo: o Barreiras, o Açú, o Alter do Chão, o Solimões, o Areado/Urucaia, o Barreiras, o Bauru-Caiuá, o Guarani e o Beberibe. Já o domínio cárstico tem em sua formação 26 aquíferos, dos quais se destacam o Jandaíra e o Bambuí (ANA, 2013).

Todavia, o domínio fraturado apresenta reduzido potencial hídrico, tendo sido aglutinado nos seguintes blocos: Aquífero Serra Geral, Sistema Aquífero Fraturado Centro-Sul, Sistema Aquífero Fraturado Norte e Sistema Aquífero Fraturado Semiárido (ANA, 2013).

3.1.1 Gestão do uso de aquíferos e vulnerabilidade

Desde a década de 70, experimentou-se uma intensificação no uso de aquíferos, e continua crescendo devido a vários fatores: a) progresso nas técnicas de perfuração de poços e na hidrogeologia; b) redução nos custos de extração; c) menor suscetibilidade ao clima; d) qualidade das águas subterrâneas; e) aumento da demanda; e f) degradação das águas superficiais (REBOUÇAS, 2006).

Muito embora se tenha décadas de exploração, a sua governança ainda é bastante precária. Nesse cenário, o gerenciamento dos aquíferos apresenta dificuldades, os expondo à poluição e à superexploração. Além disso, faltam dados sobre a vulnerabilidade, os usuários, as taxas de uso, o volume das reservas, a qualidade das águas, a litologia e os limites, além de serem insuficientes as redes de monitoramento (BOHN, GOETTEN, 2015). A situação é agravada caso se considere a percepção privada que se tem sobre as águas subterrâneas, fomentando a perfuração de poços sem observância das exigências legais, comprometendo, assim, direitos outorgados e aumentando o risco de escassez (MARENGO, 2008; BOHN, GOETTEN, 2015).

De um modo geral, a importância da água para a humanidade reside nos diversos usos que dela faz o homem, tanto para seu próprio consumo, como para transporte, geração de energia e lazer (MARENGO, 2008).

No planeta Terra, a água ocupa dois terços de sua superfície, sendo aproximadamente 98% deste volume água salgada (BOHN, GOETTEN, 2015). De toda água doce, excluindo-se as águas congeladas nos polos, somente 0,6% está tecnicamente disponível para uso humano, podendo ser aproveitada considerando-se a atual tecnologia disponível nacionalmente. Desse total, aproximadamente 2% é superficial, composta por lagos e rios, e 98% é água subterrânea (aquíferos) (MARENGO, 2008; BOHN, GOETTEN, 2015).

A água subterrânea é, portanto, um recurso natural de alta qualidade, que requer pouco tratamento sanitário e apresenta baixo custo para a sua captação (BOHN, GOETTEN, 2015), consolidando-se como alternativa estratégica para atender a demanda atual de água para suprimento humano (ALMEIDA, 2010; FIJANI et al., 2013). Diante disso, é essencial que esse recurso hídrico seja gerenciado de maneira sustentável. Para o gerenciamento sustentável de qualquer recurso natural, o primeiro passo é avaliar a vulnerabilidade desse recurso à poluição.

Segundo Jácome (2016), o termo vulnerabilidade, em relação às águas subterrâneas, faz alusão à sua susceptibilidade à contaminação diante de um evento de impacto. Foster, Hirata e Andreo (2013) conceituam a vulnerabilidade à contaminação de aquíferos como ferramenta para representar as características intrínsecas que determinam a suscetibilidade de um aquífero a ser afetado por uma carga contaminante (MARENGO, 2008); (FOSTER; HIRATA; ANDREO, 2013). Ao avaliarem a vulnerabilidade natural à contaminação de águas subterrâneas em Juiz de Fora – MG, esses autores verificaram que existem áreas de baixa, de média e de alta vulnerabilidade à contaminação natural das águas subterrâneas. Antes, porém, de prosseguir, é preciso que se compreenda o conceito de vulnerabilidade, e de sua relação com a contaminação de águas subterrâneas.

Isso porque, conforme Foster, Hirata e Andreo (2013), o grau de vulnerabilidade alto não indica contaminação presente, sugerindo tão somente que a combinação de fatores relativos à geologia e à hidrologia local oferecem mais ou menos riscos ao aquífero quando submetido a um evento

contaminador. Assim, a avaliação da vulnerabilidade tem sido reconhecida por sua capacidade de delinear áreas mais prováveis que outras de se tornarem contaminadas, como resultado de atividades antrópicas na superfície do solo (MARENGO, 2008; LAHR et al., 2010).

O mapeamento da avaliação da vulnerabilidade mostra as parcelas de uma área geográfica e as características determinantes que são mais ou menos vulneráveis a um tipo particular de estressor que frequentemente ainda não começou a ser exercido (LAHR et al., 2010).

O estudo de vulnerabilidade dos aquíferos pode ser dividido em duas grandes correntes: há aqueles investigadores que consideram a vulnerabilidade como uma propriedade referente ao meio (vulnerabilidade natural) e outros que consideram, além do comportamento do meio aquífero, a carga contaminante, denominada vulnerabilidade específica (AUGE, 2004).

A vulnerabilidade natural ou intrínseca pode ser compreendida em razão dos seguintes fatores: a) quanto à zona não saturada, acessibilidade hidráulica à penetração de contaminantes (dispersão de contaminantes); e, b) capacidade de atenuar a camada que encobre a zona saturada, em decorrência da reação físico-química de contaminantes (sorção, ou dispersão) (FOSTER; HIRATA, 1988).

Já o conceito de vulnerabilidade específica inclui parcialmente o conceito de risco, na medida em que é adotado todas as vezes em que ocorrer o perigo de deterioração quanto a substâncias poluentes específicas (FOSTER; HIRATA, 1988).

Dentre os exemplos de fontes contaminantes que são facilmente percebidas nos centros urbanos destacam-se os cemitérios, o que demonstra que a atividade humana em superfície pode alterar e induzir novos mecanismos de recarga do aquífero, alterando a qualidade, a frequência e a taxa de recarga de águas subterrâneas (KEMERICH et al., 2012). Por esta razão, conforme Jácome (2016), os cemitérios, como qualquer outra instalação que possa afetar as condições naturais das águas subterrâneas e do solo recebem classificação como atividade que apresenta risco de contaminação ambiental.

Para se promover sustentabilidade às águas subterrâneas, tendo em vista as diversas dimensões envolvidas nessa concepção (econômica, social, ambiental, dentre outras), é preciso cumprir os seguintes passos (JÁCOME, 2016):

- a. Promover adequada caracterização hidrogeológica dos mananciais de interesse, locais ou regionais;
- b. Conhecer os comprometimentos das reservas subterrâneas de água quanto às demandas projetadas e existentes;
- c. Definir adequadamente o/os tipo/os de captação e de locação criteriosa da obra em campo;
- d. Elaborar projeto adequado para a obra de captação;
- e. Construir obra de captação e de proteção sanitária do local;
- f. Realizar um dimensionamento da exploração a partir de ensaios de produção de poços;
- g. Monitorar os bombeamentos que são adotados para atender os usos previstos;
- h. Monitorar periodicamente a qualidade da água do poço;
- i. Realizar manutenção periódica da obra de captação da água e do sistema de bombeamento;
- j. Gerenciar a extração de água, especialmente quando se verificar a existência de várias captações quanto ao tipo e às características do aquífero;
- k. Gerenciar a ocupação e o uso do solo da bacia hidrogeológica utilizada;
- l. Estabelecer perímetro de proteção das captações relativas a fontes de abastecimento público;
- m. Proteger contra contaminações, especialmente em áreas de recarga/afloramento de aquíferos confinados;
- n. Racionalizar os consumos, evitando explorações desnecessárias do aquífero;
- o. Minimizar as perdas ao longo da rede de distribuição da água que é captada em aquíferos;

- p. Estimular as recargas naturais em locais onde se tenha esta possibilidade;
- q. Criar aquíferos em regiões nas quais seja possível estabelecer estruturas para deter ou reter fluxos subterrâneos, favorecendo-se, assim, a existência de reserva subterrânea de água (barragem de acúmulo de areia e subterrânea);
- r. Usar recargas artificiais em regiões ou locais deficientes de água, bem como onde se tenha a garantia de boa qualidade das águas infiltradas, visando aumentar as reservas subterrâneas naturais;
- s. Realizar o adequado encerramento/tamponamento dos poços ou outros tipos de captações não-utilizadas, buscando-se, com isso, evitar riscos de contaminação de aquíferos por meio de poços inativos ou abandonados;
- t. Proporcionar acessibilidade dos dados e possibilitar a aplicação do geoprocessamento e de modelagem da situação em aquíferos.

Todos estes passos apresentam correlação com o uso das águas subterrâneas em determinado território, quer área restrita, quer localidade com expressiva territorialidade. Elas englobam a perspectiva de conhecimento, extração e gerenciamento do uso da água de modo a se alcançar a sustentabilidade do aquífero usado, tomando-se por base, também, as suas próprias características, além de outras condições relacionadas ao contorno que possam vir a interagir com o manancial ou influenciá-lo (JÁCOME, 2016).

Porém, deve-se lembrar da existência de sistemas aquíferos ou aquíferos que ocorrem em mais de uma bacia hidrográfica e, também, das interações contínuas entre os corpos d'água subterrâneos e dos cursos d'água superficiais, motivo pelo qual é preciso considerar outros aspectos para que seja possível estruturar modelos de gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos (REBOUÇAS, 2006; JÁCOME, 2016).

A conservação ambiental comporta em si dois fatores críticos: a quantidade e a qualidade das águas subterrâneas. Da mesma forma, estes

fatores respondem pela manutenção de um bom *status* ecológico das águas superficiais (REBOUÇAS, 2006).

3.1.2 Cemitérios e o risco de poluição de aquíferos

Com o aumento populacional, a industrialização acelerada e as modificações no uso do solo, as águas subterrâneas encontram-se em situação de grande dificuldade de sustentabilidade e conservação. Considerando, pois, tal cenário, a comunidade científica vem envidando maiores esforços para buscar soluções voltadas à prevenção dos efeitos mais nocivos advindos de uma possível degradação, em escala global, das águas subterrâneas.

No contexto da conservação ambiental e das modificações do ambiente pelo homem, especialmente em áreas urbanas, os cemitérios surgem como elementos que promovem forte impacto ambiental, representando, pelas suas características, conforme Pacheco e Matos (2000), fonte de contaminação dos mananciais subterrâneos.

Segundo Ueda et al. (2011), um fator comum às necrópoles é que a maioria foi locada em áreas urbanas sem que, antes, se realizasse um planejamento adequado sobre os impactos causados ao ambiente, não considerando, por exemplo, a presença de aquíferos freáticos vulneráveis, estando muitas vezes dispostos às margens de corpos de água superficiais.

Tal preocupação se dá porque, ainda conforme Ueda et al. (2011), cemitérios são como laboratórios de decomposição, em que o corpo humano, uma estrutura complexa, entrega vários produtos finais ao solo, como ácidos graxos voláteis (ácido butírico e propiônico), principalmente produtos de decomposição de músculo e gordura, aminoácidos, ácidos graxos, ptomaína, indol, cadaverina e putrescina, além de amônia, compostos de amônio, sulfeto de hidrogênio, mercaptano, metano, dióxido de carbono e ácido fosfórico (KEMERICH et al., 2012).

O processo de decomposição já se inicia algumas horas após a morte devido a mecanismos de autólise. A este processo, segue-se a fermentação

em razão da ação de bactérias endógenas, a maioria localizada no intestino humano (UEDA et al., 2011; KEMERICH et al., 2012).

Com a putrefação decorrente da fermentação, há a liberação de gases e água, originando o denominado liquame (liquame funerário, necrochorume). Nesse processo, o oxigênio é consumido rapidamente, o que gera um ambiente de microaerobiose, no qual são identificadas altas concentrações de gás carbônico (CO₂) (MARENGO, 2008).

Os principais microrganismos nessas condições responsáveis pela degradação da matéria orgânica são os *Micrococcus SP*, *Bacillus sp* e *Pseudomonas sp* (SILVA; FILHO, 2008). O processo inclui um primeiro estágio anaeróbico, seguido por outros, fornecidos a partir de grupos bacterianos facultativos aeróbios e anaeróbios (UEDA et al., 2011).

Além de bactérias, outros microrganismos, como fungos saprófitos e entomofauna diversificada, também atuam durante a putrefação de cadáveres. De acordo com Dent, Forbes e Stuart (2004), a propagação do líquido que é gerado a partir da decomposição dos corpos sepultados representa o principal impacto que é gerado pela prática de disposição de corpos humanos em cemitérios. Tal contaminação decorre da presença de grande quantidade de sais minerais e matéria orgânica, além de uma infinidade de microrganismos patogênicos (KEMERICH e AL, 2012).

O processo de decomposição do corpo humano engloba quatro fases distintas: a cromática, a gasosa, a humorística e a de esqueletização (UEDA et al., 2011). Para os fins aos quais se destinam a presente pesquisa, contudo, interessam somente as fases gasosa e humorística.

A fase cromática que se inicia dezoito a vinte e quatro horas após a morte (BARTOLOMUCCI, 2008). Aparecendo manchas verdes sobre o corpo.

A fase gasosa é aquela que ocorre normalmente durante as primeiras três semanas de decomposição, quando o corpo é exposto ao ar, sendo tipificada pela formação de gases em diferentes tecidos e órgãos (TEDESCO, 2018).

Esses gases podem ocasionar a ruptura de cavidades e, conseqüentemente, liberar líquidos, dando início, assim, à fase humorística, que tem por característica principal a dissolução dos elementos celulares e a

consequente liquefação do tecido, resultando na produção de líquidos. Esta fase pode se estender por vários meses, ou mesmo anos, dependendo da estrutura dos cadáveres e das condições do enterro. A ruptura das cavidades abdominais pode ser acompanhada por lixiviação de líquidos (WASTOWSKI et al., 2010).

O vazamento dos locais de disposição dos corpos humanos enterrados é muito lento e a maior parte da água evapora simultaneamente quando é liberada e só é observada ao redor do local do enterro. No entanto, a zona não saturada estará impregnada com substâncias gordurosas e produtos intermediários não voláteis, resultantes do processo de decomposição. Subsequentemente, estes produtos podem ser percolados pelo solo até a água capturada após a precipitação e contaminar a água subterrânea (KEMERICH et al., 2012), como se verá nesse estudo.

Existem, porém, fatores que interferem na putrefação e, conseqüentemente, na decomposição, o que justifica afirmar que se trata de um processo influenciado por diversos fatores, intrínsecos e extrínsecos.

Os fatores intrínsecos estão relacionados aos cadáveres, como idade, sexo, altura, raça, causa de morte ou se é feita uma autópsia. Em contrapartida, os fatores extrínsecos são aqueles relacionados ao ambiente ao redor do corpo, tais como temperatura ambiente, profundidade de soterramento, oxigenação do solo (dependendo do tipo de solo) e precipitação. Tudo isso pode acelerar, retardar ou até interromper o processo de decomposição (SILVA; FILHO, 2008; KEMERICH et al., 2012). Contudo, conforme Tedesco (2018), as mais importantes variáveis intervenientes na decomposição dos corpos são a temperatura, o acesso a insetos e a profundidade do sepultamento.

A decomposição de corpos e os líquidos que dela surgem impactam profundamente o meio ambiente, razão pela qual se deve evitar, em relação às águas subterrâneas rasas, que são protegidas tão somente por uma fina zona não saturada, que tem em sua composição materiais fissurados ou grosseiros, a instalação de cemitérios, pelo fato de serem estes locais vulneráveis à contaminação, apresentando alta permeabilidade e baixa capacidade de retenção de contaminantes (MIGLIORINI, 2002).

Também solos finos onde prevalecem condições anaeróbicas, mesmo se a zona de filtração estiver acima do aquífero freático, devem ser evitados para a instalação de cemitérios (MIGLIORINI, 2002), uma vez que dificultam a putrefação dos corpos. Entretanto, a presença de argila na composição do solo permite fixar grande número de produtos de decomposição e assegurar boa purificação da água, até que ela atinja o aquífero (PACHECO, 2000).

Uma zona não saturada sob um cemitério aumenta a oportunidade de atenuação da infiltração durante a decomposição de cadáveres. Os aquíferos Cársticos, com uma zona vadosa muito pequena, têm fraca capacidade de filtração e não são adequados para cemitérios (MARENCO, 2008).

O tipo de solo mais útil para maximizar a retenção de produtos de degradação é o material não fissurado contaminado por vegetação, como a mistura argila-areia de baixa porosidade e uma textura de grão pequeno a fino (SILVA; FILHO, 2008).

Para Dias (2008), os solos ideais para implantação de cemitérios são os solos mistos, como os calcário-silicosos, sílico-argilosos, calcário-sílico-argilosos. Pacheco (2000) evidencia que o solo correto é aquele que tem características de permeabilidade que permitam o acesso regular do oxigênio necessário para a combustão lenta dos cadáveres, assim como solos ricos em nitrato e potássio.

Silva et al. (2006), ao analisarem os impactos ambientais dos cemitérios (necrópoles) localizados em meios urbanos nos municípios, verificaram que, no Brasil, mais de 600 cemitérios se encontram em situação irregular, sendo que, do total de cemitérios públicos, cerca de 75% apresentam algum tipo de problema de contaminação.

Nos cemitérios particulares, conforme os autores, este índice cai para 25%. Em ambos os casos, porém, a seu ver, tais fatos ocorrem em razão da falta de cuidados com o sepultamento dos cadáveres, bem como da própria localização da necrópole em terrenos considerados inapropriados para a sua instalação, o que significa dizer que a construção de cemitérios sem um planejamento de impacto ambiental favorece sobremaneira a contaminação do solo e das águas subterrâneas (SILVA e AL., 2006).

Outro aspecto a se considerar, que também se constitui em fator extrínseco que interfere na decomposição, é que se trata este de fenômeno influenciado, também, pela umidade do ambiente, podendo-se, conforme for, acelerar ou não o processo. Assim, segundo Tedesco (2018), sob condições de ar quente e seco, verifica-se um impedimento natural à ação microbiana, favorecendo, assim, a mumificação. Os solos mais propícios para esse fenômeno são os do tipo arenosos, localizados em regiões desérticas, e os solos calcários, nos quais é possível que ocorra uma fossilização incipiente em razão da substituição catiônica do potássio e do sódio pelo cálcio, processo esse denominado histometabase.

Em contrapartida, se se estiver em um ambiente no qual o ar é excessivamente úmido, verifica-se a presença de condições que favorecem o processo de saponificação, no qual a gordura adquire um aspecto céreo. Os solos mais propícios para a ocorrência desse fenômeno são os impermeáveis (quando saturados de água), os porosos e os argilosos (TEDESCO, 2018).

Há que se destacar que tanto a mumificação como saponificação interferem na decomposição dos corpos e neutralização de efluentes, prolongando, assim, a permanência dos corpos semidecompostos, tornando o perigo de contaminação sempre latente, em função da constante oferta de vetores mobilizáveis (TEDESCO, 2018).

O necrochorume é um líquido que é liberado intermitentemente pelos cadáveres em putrefação. Trata-se de uma solução aquosa, com abundância em substâncias orgânicas degradáveis e sais minerais, com tonalidade castanho-acinzentada, de cheiro forte, viscosa, com grau variado de patogenicidade (SILVA et al., 2006).

Em sua constituição, reúne 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas. Destas, duas são altamente tóxicas: a putrescina ($\text{NH}_2(\text{CH}_2)_4\text{NH}_2$ (1,4 – diaminobutano) - e a cadaverina $\text{C}_5\text{H}_{14}\text{N}_2$ (pentane-1,5-diamine), que podem também conter microrganismos patogênicos (SILVA et al., 2006).

Em sua maioria, os patógenos têm aversão natural ao oxigênio que está presente na zona não saturada do solo. No entanto, entende-se que a água subterrânea (zona saturada) é pobre em oxigênio dissolvido, o que

favorece a sua proliferação. Assim, quanto maior profundidade tiver a água subterrânea, menor será o teor de oxigênio disponível ou dissolvido, revelando-se, assim, uma tendência à formação de um ambiente redutor (anaeróbico), favorecendo, igualmente, a existência de microrganismos (SILVA et al., 2006).

O perigo de uma contaminação é no caso de ser esta água subterrânea captada por poços de pequena profundidade, como cacimbas, por exemplo. Nesses casos, tudo o que fizer o seu uso, quer homem, quer animal, correrá o risco de contrair doenças. Não somente a ingestão, como a inalação ou, até mesmo, qualquer contato direto com tais microrganismos pode causar enfermidades ou contribuir para a proliferação de epidemias, causando a morte de seres vivos (TEDESCO, 2018).

Diante desse cenário, dentre as muitas formas de impacto ambiental que os cemitérios podem causar, decorrentes da inadequação de seu manejo e localização, a contaminação dos mananciais hídricos e do solo por microrganismos que proliferam na decomposição dos corpos é o que mais vem inquietando a comunidade científica, que, considerando as necrópoles como elementos do meio urbano, as classificam como pontos poluidores, incluindo-as tanto na esfera da poluição visual, como ocorre em casos de deposição de resíduos pelos familiares e amigos dos mortos quando do enterro ou de visitas, quanto ambiental, decorrentes do processo natural de decomposição do cadáver (TEDESCO, 2018).

Nesse sentido, as primeiras pesquisas realizadas sobre o tema datam da década de 1970, quando Bouwer (1978, in TEDESCO, 2018) conduziu estudo sobre o maior caso de incidência de febre tifoide entre pessoas que viviam no entorno de um cemitério em Berlim, na Alemanha, ocorrido em meados de 1867. Em sua pesquisa, o autor relatou ainda que os moradores sentiam a presença de odor fétido e um sabor adocicado em águas de poços localizados em arredores de cemitérios em Paris, principalmente em verões quentes.

No Brasil, as pesquisas realizadas sobre o tema são mais recentes – datam da década de 1980, a partir da criação do Centro de Pesquisas de Águas Subterrâneas (Cepas), no Instituto de Geociências da Universidade de

São Paulo (USP). Dentre eles, é possível citar as pesquisas realizadas por Martins et al. (1991), Pacheco (2000) e Matos (2001), que, em seus apontamentos, caracterizaram os impactos de cemitérios em aquíferos freáticos considerando a identificação de microrganismos que eram encontrados comumente no processo de decomposição dos corpos humanos que ali eram depositados.

Um dos maiores estudos relatando contaminação de águas subterrâneas por cemitérios foi realizado na Austrália, na década de 1990, por Dent, Forbes e Stuart (2004). Trata-se de pesquisa conduzida a partir de avaliação microbiológica e hidrogeoquímica das águas subterrâneas em aquíferos de um total de nove cemitérios, distribuídos em cinco Estados, em uma realidade fática que apontava para uma ampla gama de configurações hidrogeológicas dos solos.

No Reino Unido, em 2002, foi publicado aquele que é apontado por (TEDESCO, 2018), como sendo um dos mais completos guias para se proceder à avaliação de contaminação das águas subterrâneas por cemitérios: o *Environment Agency*.

Conforme o autor, trata-se de um trabalho que abrange não apenas dados acerca da qualidade de águas subterrâneas, como também inclui uma visão sobre uma gestão mais ampla, que se integra à análise de vulnerabilidade, ao estudo de proteção de fontes e à análise de riscos para construção de novos cemitérios, inserindo, nesse contexto, a necessidade da adoção de modelos numéricos para prever cenários de transporte de microrganismos e contaminação do meio ambiente (TEDESCO, 2018).

Mais à frente, em 2005, Castro, (2008) conduziu investigação com o objetivo de avaliar uma possível contaminação do aquífero freático localizado sob o Cemitério Bom Jardim Fortaleza, no Estado do Ceará, identificando os possíveis danos ambientais causados à comunidade local.

A abordagem adotada pelo autor englobou locação de poços de observação (poços onde se instala piezômetros), levantamentos de caráter geofísico para se promover um reconhecimento do substrato rochoso e coleta das águas subterrâneas da necrópole sob estudo para fins de análises em termos bacteriológicos e hidroquímicos. O objetivo do estudo conduzido pelo

autor era de levantar a maior quantidade possível de dados sobre o sistema aquífero, bem como as suas particularidades (CASTRO, 2008).

Os dados coletados e os resultados das análises proporcionaram a Castro, (2008) identificar a existência de uma contaminação generalizada nas amostras que foram por ele obtidas a partir dos poços de monitoramento, causada especialmente por microrganismos.

Entretanto, o autor aponta, ainda, a possibilidade de o nível de contaminação se encontrar relacionado diretamente à inexistência de um saneamento local, principalmente ausência de coleta de esgotos, tendo sido estabelecida pelo autor como sendo a hipótese mais provável para justificar os resultados por ele obtidos na coleta. Não obstante, ressalta que as dúvidas da comunidade local permaneceram, continuando propensas à crença de que a possível contaminação seria oriunda dos limites do cemitério Bom Jardim (CASTRO, 2008).

Diante de tais apontamentos e dos objetivos estabelecidos para o estudo proposto, a revisão bibliográfica, a ser apresentada no capítulo seguinte, abrangerá quatro subtemas: um primeiro, relativo à geologia do solo da região dos cemitérios do Distrito Federal e do entorno, considerando-se que é este o local da amostragem para realização da pesquisa (mais especificamente, Valparaíso – GO); um segundo, relativo aos mecanismos de infiltração em solos de cemitérios, buscando-se, assim, conhecer o processo para, a partir daí, favorecer a idealização de ações de planejamento voltadas a uma redução do impacto ambiental do necrochorume no solo e águas subterrâneas nesse tipo de terreno; um terceiro, que apresenta aspectos relacionados à caracterização física do solo, de modo a se determinar especificamente os aspectos a serem analisados na parte de resultados, que traduz o conhecimento empírico pretendido; e um quarto, que apresenta os tipos de cemitérios existentes – dentre eles, os cemitérios parque, ou jardins cemitérios, que correspondem ao formato analisado nessa pesquisa.

3.1.3 Indicadores físico-químicos e microbiológicos da qualidade da água de aquíferos

O Ministério da Saúde (MS) na Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017) e o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) na Resolução CONAMA Nº 396, de 4 de abril de 2008 (BRASIL, 2008) e na Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005) definem os indicadores físico-químicos a seguir para avaliar a qualidade da água: pH, alcalinidade, oxigênio, fósforo, condutividade, manganês, DQO, nitrogênio, cor, dureza, turbidez, ferro, cromo, amônia DBO e chumbo, entre outros. Os indicadores microbiológicos definidos são: mesófilos, coliformes termotolerantes a 45°C, coliformes totais, clostridium e Escherichia coli.

A Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017) estabelece procedimentos para o controle e monitoramento da qualidade da água de acordo com o uso da água. Águas doces podem ser classificadas de acordo com o tratamento necessário para torna-la adequada ao consumo humano como: a) classe especial: consumo humano com desinfecção; b) classe 1: consumo humano com tratamento simples; c) classe 2: consumo humano após tratamento convencional; d) classe 3: consumo humano após tratamento convencional ou avançado (BRASIL, 2005).

As águas afetadas pelo necrochorume mostram contaminação microbiológica causada por bactérias proteolíticas e heterotróficas, além de clostrídios, que reduzem sulfitos, adenovírus e enterovírus. Existe, também, um grande consumo de oxigênio em razão da decomposição biológica e das transformações químicas que ali ocorrem, em especial de produtos com enxofre, fósforo e nitrogênio, dentre outros. Os túmulos causam um aumento na quantidade dos sais minerais ali presentes, aumentando, com isso, a condutividade elétrica das águas (CUNHA, 2008).

Dentre os parâmetros que orientam a possível alteração ou contaminação das águas subterrâneas pelo necrochorume, Cunha et al. (2008) citou: condutividade elétrica CE, cloretos, compostos nitrogenados, representados por nitrogênio total e amônia, amônia, nitrito, nitrato, demanda bioquímica de oxigênio - DBO e oxigênio dissolvido. Bem como aqueles

relacionados a bioindicadores como estreptococos, Salmonella, coliformes totais, E. coli, sulfitos redutores de clostrídios, como clostridium perfringens, pseudomonas aeruginosa e bactérias proteolíticas (ESPÍNDULA, 2004).

Após o sepultamento, ocorre a destruição dos tecidos por ação das enzimas e bactérias, ocasionando sua dissolução gradual em gases, líquidos e sais. Exemplos de gases produzidos são: ácido sulfídrico (H_2S); metano (CH_4); dióxido de carbônico (CO_2); amoníaco (NH_3); hidrogênio (H_2). O odor é causado por alguns destes gases, além de quantidade de mercaptano, que são transformados à medida que se decompõem no túmulo (MARCOMINI, 2012).

Na Tabela 3.1 está descrita a composição aproximada de um corpo de um homem adulto pesando 70 kg. A composição do corpo adulto da mulher situa-se entre 1/4 e 2/3 à do homem. Tais informações serviram como referência para a seleção de quais compostos da água seriam analisados em laboratório.

Tabela 3.1. Composição de Elementos Químicos e substâncias aproximadas do corpo de um homem em gramas. Quantidade de compostos lixiviados (g) por um corpo humano no solo

Elemento Químico e Substâncias	Massa (g)
Carbono	16000
Nitrogênio	1.800
Cálcio	1.100
Fósforo	500
Enxofre	140
Potássio	140
Sódio	100
Cloreto	95
Magnésio	19
Ferro	4,2
Manganês	0,01
Estrôncio	0,32
Chumbo	0,12
Alumínio	0,06
Água	49.000 – 51.800

Fonte: (FORBES, 1987); (SARAIVA, 2010)

3.2 Ordenação multivariada

Ordenação multivariada é um conjunto de métodos estatístico muito utilizado dentro da Ecologia e muito utilizado em tratamento de dados ambientais (MANLY, 2008). Os métodos de ordenação descrevem relações entre objetos de modo a fornecer um pequeno número de variáveis que descrevem as relações entre as medidas físico-químicas. O objetivo da ordenação é resumir grande número de medidas em poucas variáveis sintéticas, facilitando a identificação de padrões.

Em outras palavras, pode-se dizer que ordenar amostras em função de um critério ou espécie consiste em posicionar essas amostras ao longo de um eixo representativo da escala de abundância dessa espécie, conforme a Figura 3.5. Nessa Figura, as amostras A e C encontram-se próximas uma da outra evidenciando uma forte similaridade em função de sua fraca abundância em x_1 . Da mesma forma as amostras B, D e E são similares entre si e dissimilares com A e C em decorrência de sua abundância em x_1 (GAUCH, 1982).

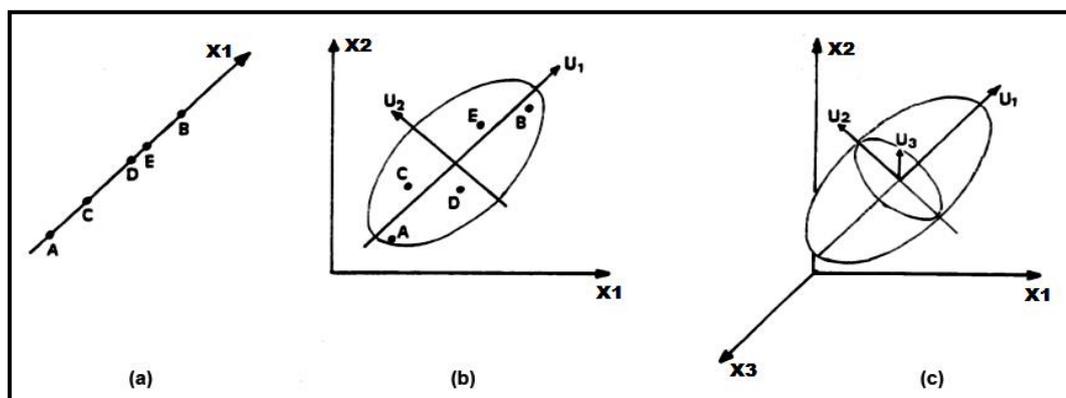


Figura 3.5- Ordenação das amostras A, B, C, D, E em função de (a) uma; (b) duas e (c) três espécies.

Fonte: GAUCH, 1982.

Raciocínio similar pode ser feito, quando essas amostras (A, B e C) forem posicionadas em função de dois ou mais critérios, conforme a Figura 3.5b e a Figura 3.5c.

O processo de ordenação é feito a partir das medidas experimentais, ou de uma matriz de similaridades ou distâncias entre os objetos (PRADO, *et al.*, 2002; MANLY, 2008). Na maior parte das técnicas de ordenação, as

variáveis sintéticas, também chamadas componentes ou eixos, são combinações lineares das medidas originais que seguem a seguinte estrutura:

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n \quad (17)$$

Onde:

x_i – as variáveis

a_i – os coeficientes lineares, que expressam sua importância para o eixo.

Os métodos de ordenação são classificados em diretos e indiretos, conforme a Tabela 3.2. Os mais utilizados são: Análise de correspondência (CA, *Correspondence Analysis*), Análise de correspondência canônica (CCA, *Canonical Correspondence Analysis*) e Análise de Redundância (RDA, *Redundancy Analysis*) (MURTEIRA, 1993; LEPS; SMILAUER 2003).

Tabela 3.2. Principais métodos de ordenação usados em Análise Multivariada

Tipo de Análise	Tipo de Ordenação	Resposta	
		Linear	Não-Linear
Indireto	Ordenação condicionada (simples)	PCA	CA
Direto	Ordenação não condicionada (ordenação canônica)	RDA	CCA

Fonte: (MARTENS e NAES, 1989)

A Análise de Redundância é um método de ordenação que pode ser visto como uma extensão lógica da regressão múltipla. Na Análise de Regressão Múltipla estabelece-se uma relação entre uma variável dependente, e inúmeras variáveis independentes métricas.

O objetivo da RDA é correlacionar, de forma simultânea, diversas variáveis dependentes, denominadas variáveis de critério, com variáveis métricas independentes, chamadas variáveis preditoras. Com isso, a RDA proporciona a identificação de uma estrutura ótima para cada um dos grupos de variáveis de modo a maximizar o relacionamento entre grupos de variáveis independentes e dependentes.

Em relação aos vetores variáveis ambientais, tem-se que cada vetor aponta na direção do aumento mais acentuado dos valores para a variável ambiental correspondente. O ângulo entre vetores (alfa) (Figura 3.6) indica o

sinal da correlação entre as variáveis ambientais, sendo esta considerada positiva quando o ângulo é menor do que 90° , e negativa quando o ângulo excede esse parâmetro. O comprimento da seta é uma medida de ajuste para a variável ambiental.

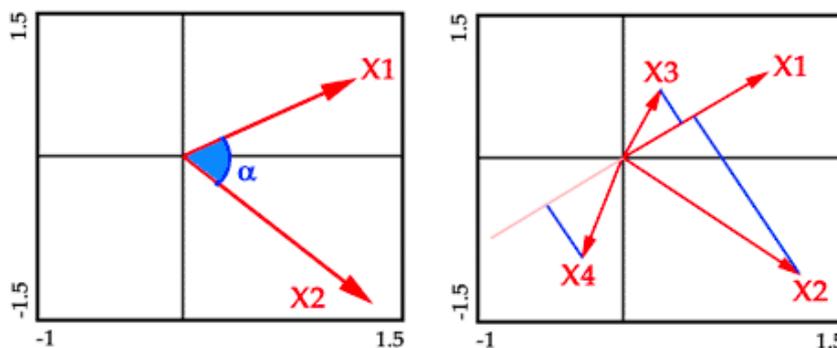


Figura 3.6- Exemplo de RDA.

Quantitativamente, é possível fazer a leitura das correlações aproximadas de uma variável ambiental (por exemplo, X1) com as outras, projetando as pontas do vetor das outras variáveis ambientais (X2, X3, X4) (Figura 3.6), em uma linha imaginária sobrepondo aquela seta de variável ambiental. Assim, se a linha de projeção termina na origem da coordenada (ponto zero), a correlação é prevista como zero. O comprimento das setas da variável ambiental é a correlação múltipla dessa variável ambiental com os eixos de ordenação.

3.3 Caracterização geológica e geotécnica

3.3.1 A geologia do solo da região dos cemitérios de Valparaíso – GO

Segundo a definição de Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (SANTOS, et al., 2018), o solo é uma camada superficial composta por partículas minerais e orgânicas, distribuídas em diferentes profundidades, resultantes da ação combinada de agentes atmosféricos nas rochas e sua adaptação às condições de equilíbrio do meio ambiente.

O solo contém bilhões de organismos que formam uma comunidade viva. Estima-se que existam milhões de bactérias em cada grama de solo

típico. É, portanto, um conjunto de corpos naturais constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, dinâmicas e tridimensionais, compostas de materiais orgânicos e minerais, que ocupam a maior parte do manto de superfície das extensões continentais do planeta Terra, contendo matéria viva, podendo ser vegetada na natureza, onde ocorrem (MOLINARI; VIEIRA, 2004).

Os microrganismos responsáveis pelo ciclo biogeoquímico são essenciais para a vida na Terra, por meio da reciclagem de matéria orgânica, que fornece nutrientes essenciais para plantas e animais. A manutenção desse ciclo biogeoquímico, ou seja, a não contaminação do solo, é fundamental para a sobrevivência humana (SOUZA et al., 2015).

Nas últimas décadas, vários alertas foram feitos sobre a poluição ambiental por órgãos governamentais e não-governamentais, que mostram que o solo funcionou como um grande reservatório não apenas para resíduos naturais, mas também para aqueles produzidos por atividades humanas (MOLINARI; VIEIRA, 2004).

O uso inadequado do solo pode levar à erosão e contaminação da água (rios e lagos), com conseqüente redução na produção e na qualidade dos alimentos, tornando-os inadequados ao consumo humano e animal (FIGUEIREDO FILHO, PACHECO e MANFREDINI, 2010); (MOLINARI; VIEIRA, 2004). A contaminação por necrochorume, que é o tipo de contaminante que interessa nessa pesquisa, atinge área considerável, a depender da estrutura hidrogeológica do local.

Os solos argilosos (Figura 3.7) são caracterizados por um teor de argila superior a 35%. Os solos argilosos do cerrado (Figura 3.8), cuja fração argila é representada por ferro e óxidos hidratados de alumínio, com poder elevado de floculação, alta permeabilidade e alta capacidade de retenção de água.



Figura 3.7 - Solo argiloso.

Fonte: <https://www.ostiposde.com/tipos-de-solo/>



Figura 3.8- Solo do Cemitério Jardim Metropolitano – Valparaíso-GO.

Os solos argilosos têm profundidade variável, podendo ser imperfeita ou fortemente drenados, de modo a favorecer a compactação de cores avermelhadas ou amareladas, e, mais raramente, acinzentadas ou brumadas (MOLINARI; VIEIRA, 2004).

Já nos solos arenosos (Figura 3.9), os teores de areia são superiores a 70%, enquanto nos de argila este percentual é inferior a 15%. São solos permeáveis, que possuem baixa capacidade de retenção da água e baixos teores de matéria orgânica (SOUZA et al., 2015).



Figura 3.9- Solo arenoso.

Fonte: <https://www.ostiposde.com/tipos-de-solo/>

A baixa permeabilidade dos solos argilosos não proporciona um arejamento das sepulturas, o que faz com que o processo de putrefação seja prolongado. A saturação do solo, ocorrida em períodos chuvosos, propicia a saponificação dos corpos (SOUZA et al., 2015).

Segundo Pacheco (2000), um cemitério em terra de argila pura ou com este produto em alta percentagem e sujeita à ação das águas e da umidade é inadmissível, muito embora, conforme o autor, esses solos impeçam a disseminação dos maus odores para a superfície.

O Distrito Federal se encontra localizado no Planalto Central Brasileiro, sendo caracterizado pela ocorrência de planaltos e suaves ondulações, como a região de chapadas, apresentando níveis inclinados que se estendem da base das chapadas e pediplanos (morros residuais em direção aos vales) e por áreas dissecadas e entalhadas pelos rios Descoberto, Maranhão, Preto, São Bartolomeu e Paranoá (NOVAES PINTO, 1994).

Conforme Ab'Saber (1977) as características geomorfológicas da paisagem do domínio morfoclimático do cerrado são resultantes de um prolongado processo interativo do regime climático tropical semi-úmido com fatores bióticos, edáficos e litológicos.

Com base no mapeamento pedológico realizado pelo Serviço Nacional de Levantamentos de Solos (Santos, et al., 2018), as classes de solos,

denominadas Cambissolo Distrófico (Cd), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Latossolo Vermelho (LV) recobrem cerca de 90% da área do Distrito Federal, e o processo pedogenético de laterização consiste no principal controlador do processo de formação dos solos na região.

A seguir, são apresentadas e descritas as principais classes de solo mapeadas pela EMBRAPA no Distrito Federal. A nomenclatura utilizada nessa síntese foi atualizada segundo os critérios de classificação brasileira dos solos, apresentados por Santos, et al., (2018).

- Latossolos (Vermelho Amarelo (LVA), correspondente a 15,84% do total, e Vermelho (LV), equivalente a 38,63% do total): resultam de um alto grau de intemperismo e lixiviação, formando uma estrutura bastante porosa. Abrange a maior área do Distrito Federal, 54,47%, com mantos que se estendem para até 20 metros de espessura, profundos e bem drenados, formados a partir de rochas metamórficas de baixo grau, tais como ardósia, siltitos, metarritmitos, filitos e quartzitos, ricas em sílica e quartzo. Tais solos apresentam horizonte B com óxidos hidratados de alumínio e ferro, proporção variável de argila (estrutura 1:1) e minerais silicatados de alta resistência, tais como o rutilo e o quartzo. A diferença entre os Latossolos Vermelho e os Vermelho Amarelo está relacionado com a cor do horizonte B, que varia de acordo com o tipo de óxido de ferro (SANTOS, et al, 2018);
- Cambissolos (Cb): são solos que se caracterizam pela presença do horizonte B incipiente, que, embora apresente certo grau de desenvolvimento, ainda não é o suficiente para decompor minerais primários que apresentem fácil intemperização. São assim conhecidos os solos nos quais os horizontes A e B são pouco evoluídos, apresentando espessura inferior a um metro. São extremamente friáveis e erodíveis quando expostos. Cobrem cerca de 30% da região do Distrito Federal, ocorrendo principalmente nas vertentes das áreas dissecadas das bacias dos rios Maranhão, Descoberto, Paranoá e Preto (CARVALHO, CARDOSO, *et al.*, 1979);

- Neossolos (Quartzarênico (RQ) e Flúvico (RU): compreendem solos pouco desenvolvidos, em geral com espessura variável, podendo ir de centímetros até medidas superiores a 2 metros. Não apresentam qualquer tipo de horizonte B diagnóstico, no entanto, admitem vários tipos de horizontes superficiais, como os horizontes hísticos (H) pouco espesso ou organossolos (O). São geralmente ricos em minerais primários ou matéria orgânica e na região do Distrito Federal ocorrem principalmente em condições de topografia acidentada (SANTOS, et al, 2018);
- Plintossolos (FF): solos que apresentam horizonte plíntico, com espessura nos primeiros 40 centímetros do perfil. Sua formação ocorre sob condições de restrição à percolação de água, mostrando-se, comumente, com baixa saturação por bases e bastante ácidos. Ocorrem normalmente em terrenos de várzeas, áreas com relevo plano ou suavemente ondulado (SANTOS, et al, 2018);
- Gleissolos (GX): desenvolvidos sob influência do aquífero freático, na superfície ou próximos a ela, evidenciados pelo acúmulo de matéria orgânica em sua parte superficial ou, ainda, pela presença de cor acinzentada, o que demonstra baixo índice de ferro. São periódicas ou permanentemente saturados por água, resultando na ausência ou deficiência de oxigênio. São solos que ocorrem predominantemente em áreas planas, ocupando cerca de 4,2% da região do Distrito Federal (SANTOS, et al, 2018);
- Nitossolo Vermelho (NV): são solos profundos e bem desenvolvidos. Apresentam horizonte nítico e argila de baixa atividade. São, em geral, moderadamente ácidos, com saturação por bases variável (SANTOS, et al, 2018);
- Argissolos (PV): são dessa forma chamados os solos que possuem profundidade variável, horizonte B textural e argila com atividade baixa. São geralmente ácidos com saturação por bases alta (SANTOS, et al, 2018);

- Chernossolos (MX): são assim denominados os solos que apresentam alta saturação por bases, horizonte A chernozêmico e argila de atividade alta. Não possuem muita coloração e são imperfeitamente drenados (SANTOS, et al, 2018);
- Organossolos (O): solos com horizonte hísticos que ultrapassa 40 cm de espessura, sobre qualquer outro tipo de horizonte subsuperficial. No Distrito Federal, ocorrem normalmente em associação com gleissolos (SANTOS, et al, 2018).

A Figura 3.10 apresenta uma visão geral dos principais tipos de solo do Distrito Federal, dando ênfase aos seguintes: argissolos vermelho, cambissolo, latossolo vermelho, latossolo vermelho-amarelo, litossolos e solo hidromórfico indiscriminado.

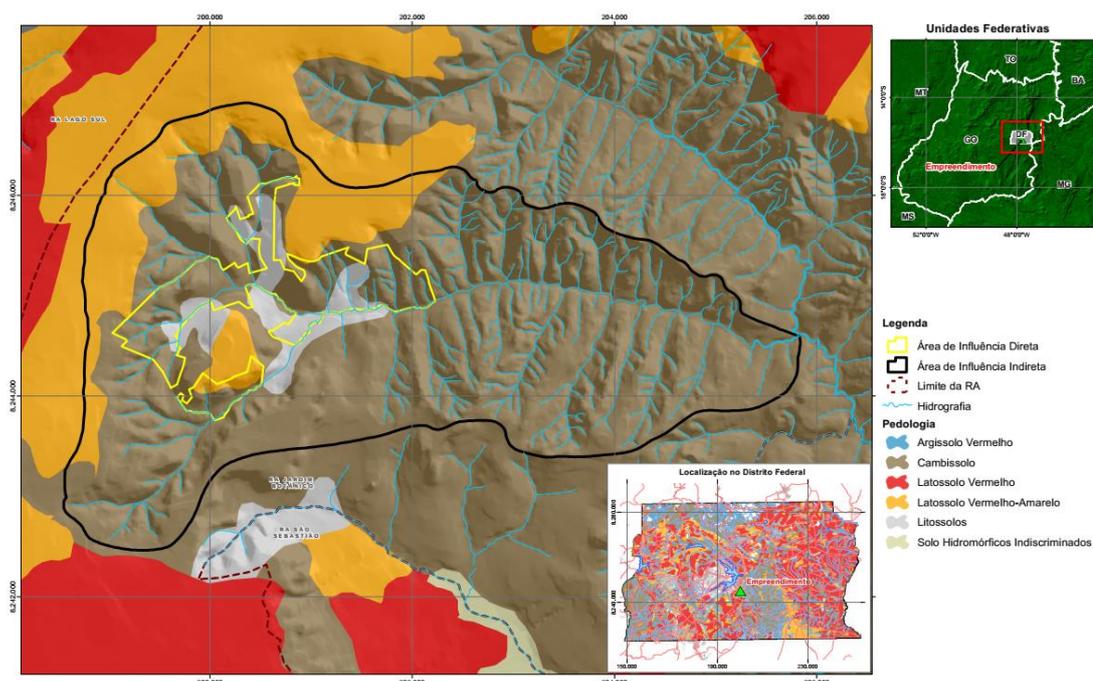


Figura 3.10- Tipos de Solo do Distrito Federal.

Fonte: <http://www.ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/08/Mapas-II.pdf>.

As unidades geomorfológicas do Distrito Federal estão basicamente agrupadas em três espécies de paisagens, denominadas microunidades:

- Região de Chapada: 35% da área do Distrito Federal, encontra-se acima de 1.000 metros de altitude, sendo caracterizada por uma

topografia plano-ondulada e plana. Destaque para a Chapada da Contagem, local em que existe predominância de latossolos;

- Área de Dissecação Intermediária: com 31% da área total do Distrito Federal, corresponde às áreas drenadas por pequenos córregos, dissecadas fracamente, modeladas sobre metarritmitos, quartzitos e ardósias do Grupo Paranoá, com predomínio, também, de latossolos. Na Depressão do Paranoá, também situada acima de 1.000 metros, rodeada por chapadas e com topografia suave, estão a cidade de Brasília e o Lago Paranoá; e
- Região Dissecada de Vale: com 35% da área total do Distrito Federal, diz respeito à depressão sobre litologias de variadas resistências, que são ocupadas pelos rios principais da região.

A Figura 3.11 apresenta mapa que contempla, além destas três microunidades dantes relatadas, as Planícies Aluviais e Alveolares e Lagoas.

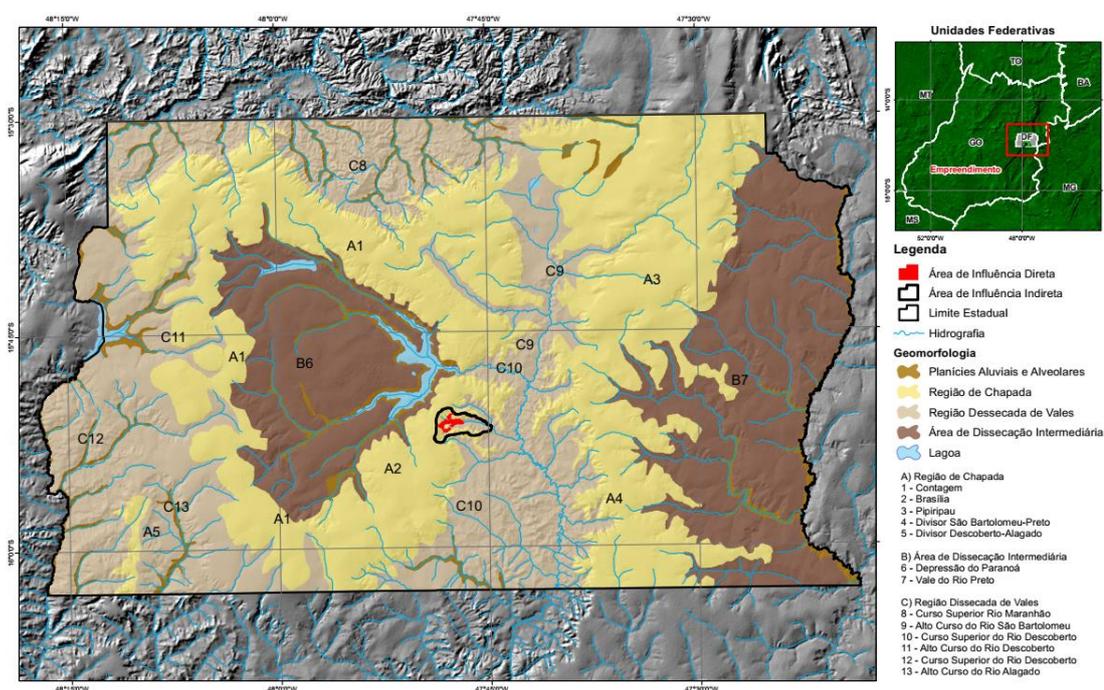


Figura 3.11 - Microunidades do Distrito Federal.

Fonte: <http://www.ibram.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/08/Mapas-II.pdf>.

Além destes existem, ainda, em áreas mais restritas, as denominadas faixas de transição, localizadas entre as Regiões de Chapada e Dissecada de

Vale, chamadas Escarpas, e as de limites entre a Região de Chapada e a Área de Dissecação Intermediária, chamada Rebordo (MARTINS; BAPTISTA, 1998).

A coluna estratigráfica do Distrito Federal, tomando-se por base a ordem deposicional da base ao topo, é composta pelos grupos Bambuí, Araxá, Paranoá e Canastra. Em razão de falhas de empurrão de baixo ângulo, o Grupo Canastra está, atualmente, posicionado sobre os grupos Bambuí e Paranoá (FREITAS-SILVA; CAMPOS, 1998).

O Grupo Bambuí ocorre na porção leste do Distrito Federal, ocupando aproximadamente 15% da área local, tendo em sua formação metassiltitos e arcóseos (NOVAES PINTO, 1994).

O Grupo Araxá é constituído principalmente por xistos, estendendo-se na porção sudoeste, ocupando aproximadamente 5% do Distrito Federal (NOVAES PINTO, 1994).

O Grupo Paranoá abrange aproximadamente 65% do total da área do Distrito Federal, sendo nele identificadas sete de um total de onze unidades regionais. A partir da base, a coluna estratigráfica é a seguinte: Quartzito conglomerático (Q2) Metassiltitos / metarritmitos arenosos (S), Ardósias (A), Metarritmito arenoso / metassiltitos (R3), Quartzitos (Q3), Metarritmitos argilosos (R4); e a unidade Psamo-pelito-carbonatada (PPC) composta por lentes de metacalcários e quartzitos intercalados em metassiltitos e metargilitos (NOVAES PINTO, 1994).

O Grupo Canastra abrange aproximadamente 15% do território do Distrito Federal. Especialmente, ele ocorre na porção sul do vale do rio São Bartolomeu. Em sua constituição, tem-se essencialmente filitos, contendo corpos lenticulares de quartzitos e mármore (MARTINS, 1998); (NOVAES PINTO, 1994).

A evolução estrutural desse conjunto demonstra que a atuação de diversas fases tectônicas afetou as rochas e gerou estruturas de estilos, direções e idades diferentes, o que significa dizer que se tratam de formações rochosas resultantes da superposição de deformações oriundas de diversos ciclos (NOVAES PINTO, 1994).

São bem evidenciadas as estruturas de falhas regionais, tais como as existentes no extremo sul do Distrito Federal, na porção centro-oeste norte e no vale do rio São Bartolomeu (FREITAS-SILVA; CAMPOS, 1998)

3.3.2 Os mecanismos de infiltração em solos de cemitérios

A falta de medidas de proteção ambiental no enterro de corpos humanos em poços abertos no solo nos últimos séculos causou a contaminação da área de muitos cemitérios por várias substâncias orgânicas e inorgânicas e por microrganismos patogênicos (MARENGO, 2008);

Essa contaminação ocorre quando cemitérios são plantados em locais que apresentam condições ambientais desfavoráveis (MARENGO, 2008); (SILVA e MALAGUTTI FILHO, 2009).

A contaminação do solo a partir da infiltração de necrochorume na área não saturada ocorre devido à estrutura hidrogeologia do local (ALCÂNTARA e SANTOS, 2010). Nesse contexto, é introduzida a abordagem dos mecanismos de infiltração nas terras dos cemitérios. Inicialmente, no entanto, é conveniente definir o termo em estudo – infiltração – para melhorar o entendimento nesta parte da pesquisa.

(HORTON, 1933), propôs o termo infiltração para expressar a água que é absorvida ou que irriga o solo. A *American Soil Society* conceitua a infiltração como sendo a entrada vertical de água no perfil do solo (FIGUEIREDO FILHO, PACHECO e MANFREDINI, 2010).

Neste estudo, no entanto, será adotado o conceito atribuído por Silveira et al, (2013), em que a infiltração consiste na passagem de água no solo a partir da superfície. A Figura 3.12 contém uma ilustração do processo de infiltração da água no solo.

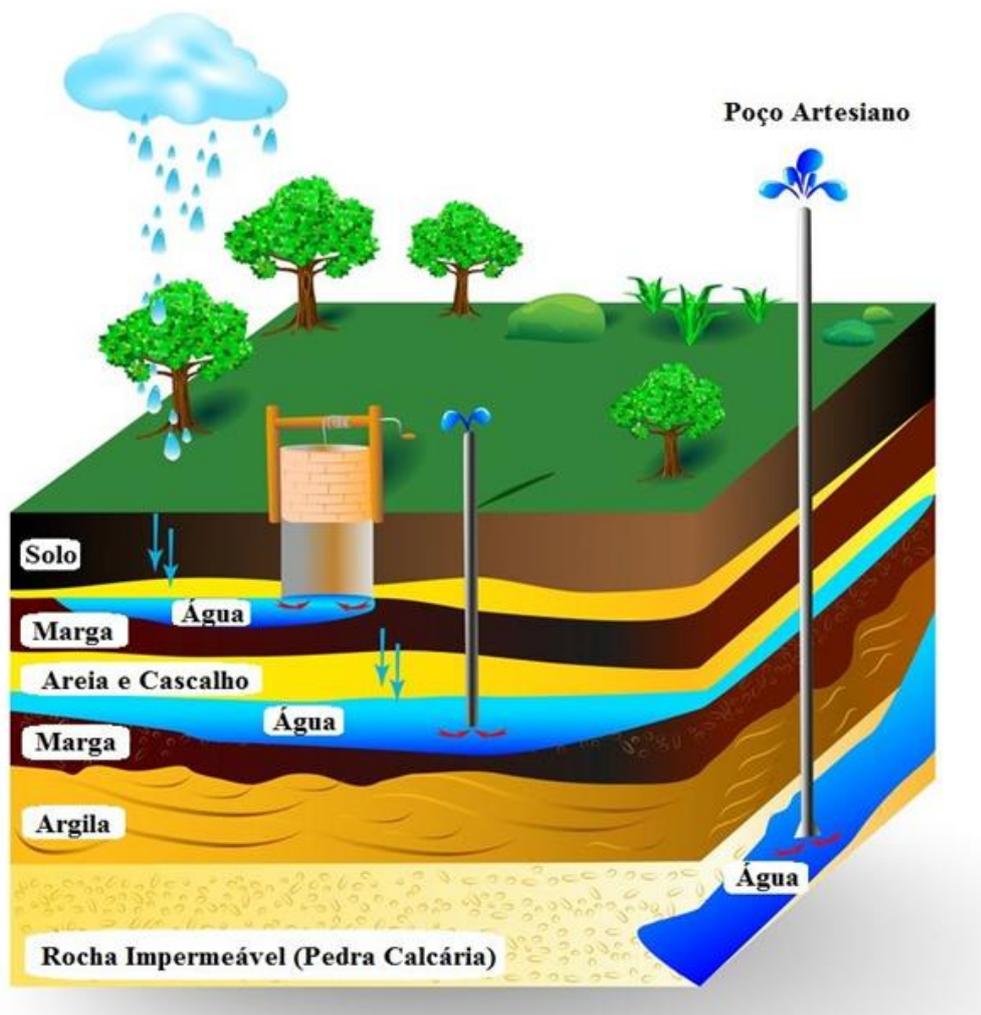


Figura 3.12 - Esquema demonstrativo da infiltração da água no solo.
 Fonte: <https://www.todamateria.com.br/lencol-freatico/>.

Tal definição foi escolhida por se acreditar que a mesma encerra em si melhor definição para o mecanismo da infiltração da água no solo, estabelecendo, ainda, clara distinção do termo percolação, que consiste no fluxo em subsuperfície que segue em direção ao aquífero freático, atravessando a zona de aeração, e delimitando a porção extrema superior da zona saturada do solo. Em regra, a percolação ocorre na direção da força da gravidade (FORMIGA, et al., 2012). Infiltração e percolação, embora diferentes, são mecanismos que não podem ser estudados separadamente, uma vez que são mutuamente interferentes. A água proveniente da infiltração irá percolar no solo, e para que haja infiltração, o solo deve ter a capacidade de absorver água, mecanismo regido pela percolação (FORMIGA, et al., 2012).

Após períodos de chuva, a água pode seguir por diversas direções. Uma parte dela irá cair diretamente na superfície do terreno, em razão da ausência de vegetação ou, ainda, entre os espaços vazios nela existentes. Outra parte, contudo, é interceptada pela copa das árvores, chegando somente uma parcela ao solo por escoamento de tronco ou gotejamento das folhas (FAZZIO, et al., 2010).

Quando a superfície do solo é atingida, a água também pode escorrer pela superfície ou penetrar no solo. Se a intensidade da chuva é superior à capacidade de absorção do solo, forma-se o fluxo superficial hortoniano, provocando o aparecimento de pequenas fissuras que, com a intensificação do fluxo, podem evoluir para voçoroca, ravina ou sulco. Por outro lado, quando a infiltração ocorre, a água começa a se mover (infiltrar-se) no solo, seguindo em várias direções em direção ao lençol freático (FAZZIO, et al., 2010).

A água que se infiltra e é armazenada no solo fica disponível para absorção pelas plantas e para retorno à atmosfera por evapotranspiração. A água que não volta à atmosfera serve para recarregar o reservatório de água subsuperficial ou subterrâneo, convergindo de forma muito lenta para as correntes de fluxos (SOARES, 2010).

Deve-se esclarecer, porém, que a taxa de infiltração de água no solo ocorre mais rapidamente se o solo estiver seco, uma vez que a capacidade de infiltração diminui à medida que a umidade aumenta até atingir uma velocidade de equilíbrio na qual a capacidade de absorção de água do solo é quase nula ou relativamente pequena, situação em que o solo está saturado. Essa velocidade de equilíbrio depende de algumas características do solo, como porosidade, estrutura e textura (LEPSCH, 2013). Portanto, dependendo da intensidade, é possível gerar o escoamento quando a capacidade de infiltração é excedida (MARENGO, 2008; GUERRA, 2016).

Ou seja, a água que cai rapidamente na superfície do solo tende a se infiltrar a certa velocidade, o que, no entanto, não favorece a troca gradual de ar nos poros do solo da água que tenta se infiltrar. Assim, nesse processo, há resistência à infiltração de água da chuva devido à pressão causada pelo ar que, pelo contrário, tenta escapar (VIEIRA; PALMIER, 2006)

Portanto, tem uma capacidade limitadora de absorção de água, o que significa que nem toda a água da chuva pode penetrar no solo. Entretanto, enquanto a intensidade das chuvas é menor que a capacidade de infiltração calculada, todas as chuvas se infiltram (KEMERICH e BORBA, 2013; SILVEIRA, et al., 2013).

Nos cemitérios, a infiltração e percolação da água da chuva por sepulturas e solo faz com que uma série de produtos químicos inorgânicos e orgânicos migrem da área não saturada, alguns dos quais podem atingir a área saturada, poluindo o aquífero (SILVEIRA, et al., 2013).

Por esse motivo, para a construção de cemitérios, é necessário conhecer as condições físicas e o comportamento do solo em questão, revelando o tipo de solo como um fator importante no projeto de construção do cemitério, uma vez que os processos transformadores, como já mencionado, estão relacionados ao ambiente em que o corpo está localizado: terra, água e ar (FIGUEIREDO FILHO, PACHECO e MANFREDINI, 2010)).

Em solos com alta capacidade de adsorção e retenção de material argiloso e permeabilidade média, com grande distância do aquífero, o necrochorume se move lentamente, com suas substâncias interceptadas na área não saturada. Essa situação é classificada como risco médio de contaminação das águas subterrâneas (TEDESCO, 2018). No entanto, se o poço estiver abaixo do aquífero, existe uma grande possibilidade de inundação, gerando uma situação extremamente arriscada, considerando que, em geral, os caixões não são construídos com material impermeável (FIGUEIREDO FILHO, PACHECO e MANFREDINI, 2010; TEDESCO, 2018).

Já em solos com alta permeabilidade ou a uma distância inadequada do aquífero, a situação é de alto risco, pois os contaminantes chegam facilmente às águas subterrâneas. Nesses casos, para reduzir a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas, o enterro deve ser realizado acima do nível natural do solo (SILVEIRA, et al., 2013).

Haja vista a importância do solo da zona não saturada para a retenção de água e de contaminantes, o próximo subitem trata das principais características geotécnicas do solo, que servem como base para avaliar se ele é capaz de proteger os aquíferos da poluição causada pelo necrochorume.

3.3.3 Caracterização física do solo

O solo é um recurso natural formado pela ação combinada de fatores biológicos e climáticos, controlada pelo relevo que, com o tempo, atua sobre o material de origem. A ação conjunta desses fatores ocorre com translocações, perdas, transformações e adições de materiais no solo por processos biológicos, químicos e físicos sendo considerado um sistema frágil, dinâmico e aberto (SANTOS, et al., 2018).

O solo pode sofrer alterações em resposta a fatores abióticos e bióticos, tornando-o sistema complexo, com propriedades e características próprias. A necessidade de compreender e analisar os indicadores de qualidade do solo vem sendo apontado como uma das principais atribuições da ciência do solo (CARDOSO, et al., 2016).

A qualidade do solo corresponde à capacidade deste vir a funcionar nos limites de um ecossistema manejado ou natural, sustentar a produtividade de animais e plantas, aumentar ou manter a qualidade da água e do ar e promover a saúde dos homens, dos animais e das plantas. Desse modo, as práticas de conservação e manejo do solo devem ser planejadas e executadas procurando manter ou, até mesmo, melhorar os seus atributos, de modo a aumentar a sua capacidade em sustentar uma produtividade biológica adequada (ARAÚJO, et al., 2006).

A natureza dinâmica dos atributos físicos do solo faz com que o conhecimento dos mecanismos e fatores de sua variação no tempo e no espaço seja tido como bastante relevante para sua funcionalidade, pois, embora não sejam tidos em si como fatores responsáveis pelo crescimento de plantas, eles exercem sobre o processo influência direta, atuando no suprimento de nutrientes, ar e água às raízes (VIANA, 2004).

Os indicadores escolhidos como base para avaliar a qualidade do solo em relação à sustentabilidade ambiental devem ser os que melhor respondem ao seu uso e manejo e podem definir sistemas que causam impactos maiores ou menores (DEXTER, 2004), considerando-se que um índice de qualidade do solo deve servir como indicador da sua capacidade para a produção agrícola sustentável. Diante disso, a caracterização da qualidade do solo

revela a sua importância para detectar problemas e indicar as ações corretivas necessárias ((VEZZANI; MIELNICZUK, 2011).

Considerando a diversidade de solos e diferenças em seu comportamento, pode-se agrupar os solos em variados conjuntos, cada um com propriedades distintas para contribuir para a análise e correta resolução de um problema (PINTO, 2002).

São várias as maneiras existentes de se classificar os solos, como origem (sedimentar ou residual), evolução (ação das alterações atmosféricas/intemperismos), presença ou não de matéria orgânica, preenchimento ou estrutura de vazios (saturação) (PINTO, 2002).

A literatura de Engenharia geotécnica indica a existência de diversos tipos de classificações de solos, tais como MCT (Miniatura Compacto Tropical), classificação Unificada, Regional, Rodoviária da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO), dentre outras. Entretanto, para esta pesquisa será adotada a classificação Unificada e Rodoviária (AASHTO), por se tratar de metodologia mais usual, de acordo com Dias (2008).

O uso de sistemas de classificação de solos exige que se realize uma série de ensaios de caracterização geotécnica básica das amostras, estando esta normatizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em diversas normas, como: Amostra de Solos – Preparação para ensaios de compactação e caracterização e Teor de Umidade Natural (NBR¹ 6457:2016), Determinação do Limite de Liquidez (NBR 6459:2017), Massa específica dos grãos (NBR 6508:2017). Determinação do Limite de Plasticidade (NBR 7180:2016), Análise Granulométrica (NBR 7181:2017), e determinação da curva de compactação (NBR 7182:2016).

¹ Norma Brasileira (NBR).

3.3.3.1 Preparação das amostras (ABNT NBR 6457)

A caracterização dos solos apresenta ligação direta com a preparação das amostras, motivo pelo qual se sentiu a necessidade de estabelecer uma padronização, buscando-se, com isso, assegurar resultados satisfatórios dos ensaios, não importando o operador. No Brasil, a ABNT NBR 6457:2016 traz descrição sobre como se deve preparar as amostras para ensaios de caracterização dos solos. Dispõe a norma sobre critérios para a obtenção de amostras representativas para ensaios de densidade real, análise granulométrica, limites de plasticidade e liquidez dos grãos.

Detalhes da preparação das amostras para cada um dos ensaios realizados neste trabalho serão apresentados no capítulo de Metodologia.

3.3.3.2 Peso específico natural (γ_n) (ABNT NBR 6458)

Peso específico natural corresponde à relação estabelecida entre o peso total (P_T) do solo e o seu volume, variando entre 19 e 20 kN/m³. Tal característica pode ser analisada a partir de métodos diretos, indiretos ou especiais. Os métodos diretos consistem na coleta de amostra indeformada, medição de seu volume e massa, de modo a possibilitar a determinação de seu peso específico natural. Os métodos indiretos correspondem a uma escavação de certo volume de solo, sendo ele pesado, o seu volume corresponde ao volume da cava escavada. Os métodos especiais fazem uso de sonares, da resistividade elétrica ou de radiação para a obtenção do peso específico natural do solo (ABNT NBR 6458:2016).

O seu cálculo é feito a partir da aplicação da seguinte equação (Figura 3.13):

$$\gamma_n = \frac{P_T}{V_T} \quad (1)$$

onde:

γ_n - peso específico natural (Kgf/cm³)

P_T - peso total da amostra (Kg)

V_T - volume total da amostra (m³)

Tanto para o método direto quanto para o indireto é possível obter o peso específico aparente seco do solo (γ_d) por meio de medição da umidade da amostra escavada ou da amostra indeformada, procedendo-se ao seu cálculo com aplicação da seguinte equação:

$$\gamma_d = \frac{P_s}{V_T} \quad (2)$$

onde:

P_s - peso da amostra seca (Figura 3.13)

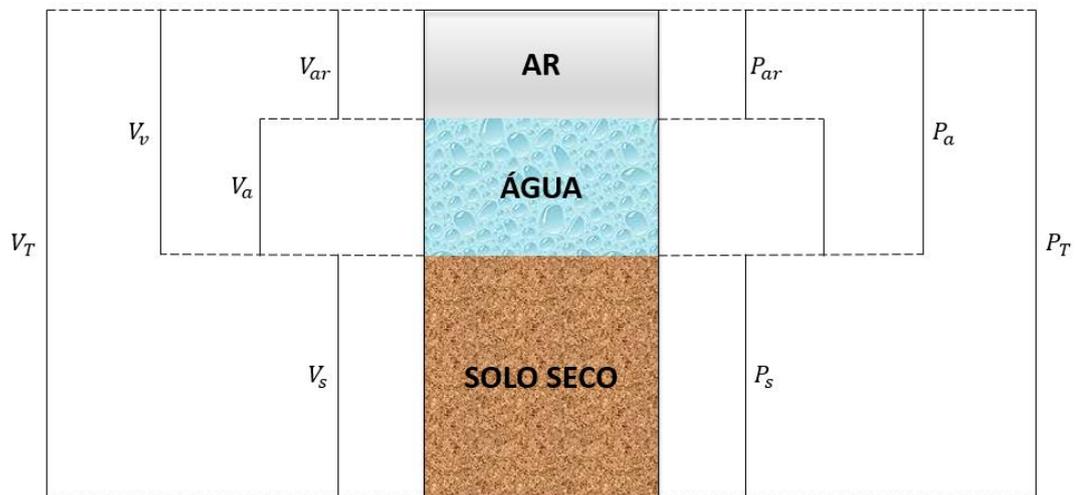


Figura 3.13 - Componentes de uma amostra do solo indeformada.

3.3.3.3 Umidade ($w\%$) (ABNT NBR 6457)

A análise da umidade do solo é de grande importância no setor de construção, pois indica em quais condições da água são iguais. Através dessa determinação, é possível identificar a exata quantidade de água tida como necessária para a obtenção de melhor compactação do solo, além de permitir verificar se o teor de umidade se encontra na quantidade necessária para obter maior resistência ao solo. Todo o processo é importante, tendo em vista que é no terreno onde as estruturas das obras encontram apoio (PINTO, 2002).

O teor de umidade (w) de uma amostra de solo é definido como a razão estabelecida entre o peso da água (P_a) de determinado volume de solo e o peso da parte sólida (P_s) no mesmo volume, expresso em porcentagem (PENNA, 2008).

$$w = 100 \frac{P_a}{P_s} (\%) \quad (3)$$

O teor de umidade deve ser expresso como uma porcentagem com precisão de um centésimo e o fator de correção em quatro casas decimais quando faz parte dos cálculos em testes que exigem precisão (PINTO, 2002).

A maneira de realizar uma secagem completa distingue os processos práticos que seguem esse método, como o método de estufa, o método de banho de areia, o método de álcool etílico, o teste de panela e o aparelho "Speedy". No campo, os processos mais rápidos para determinar o teor de umidade são o teste de panela e o método "Speedy" (PINTO, 2002; PENNA, 2008).

Quando determinada quantidade de solo é coletada, sendo posta para secar no ar, seu conteúdo de umidade tende a encolher. No entanto, essa redução geralmente ocorre em certa medida. Ou seja, mesmo se a amostra for deixada secar por um longo tempo, a umidade residual sempre permanecerá. Essa umidade demonstrada pelo solo quando ele seca no ar é chamada de umidade higroscópica (PINTO, 2002).

O teor de umidade higroscópica tende a ser maior porque o solo é mais argiloso. Em solos de grão grosso (areia e pedras), é praticamente insignificante (PENNA, 2008).

O procedimento para determinar e calcular a umidade higroscópica é semelhante ao da umidade natural. Para os dois testes de umidade realizados em laboratório, é utilizado o método de estufa, cujo procedimento é padronizado pela ABNT NBR 6457:2016.

3.3.3.4 Peso específico relativo (G_s)

O peso específico das partículas sólidas (G_s) de uma partícula sólida é o peso da partícula por unidade de volume que ocupa no espaço. A gravidade específica da partícula é determinada pela razão entre seu peso (seco) e seu volume.

$$G_s = \frac{P_s}{V_s} \quad (4)$$

onde, P_s é o peso seco e V_s é o volume de solo seco (Figura 3.13).

3.3.4 Porosidade do solo (n) e índice de vazios (e)

Entre as partículas do solo ou mesmo os agregados, existem espaços porosos decorrentes do arranjo, distribuição e orientação das partículas do solo, que podem armazenar água e ar, necessárias para o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular de plantas, microrganismos e animais do solo. O volume total de poros é chamado porosidade total do solo. A porosidade total do solo pode ser dividida em microporosidade e macroporosidade.

O movimento da água e do ar no solo se dá por meio dos macroporos. Enquanto nos microporos, o movimento do ar é difícil e o movimento da água encontra limitação especialmente na capilaridade (HILLEL, (2013)). Portanto, embora os solos arenosos tenham porosidade total reduzida, o movimento do ar e da água é rápido nessas terras, devido à predominância de macroporos. Já em solos de textura fina, apesar de ter um grande espaço poroso, o movimento de gás e água é relativamente lento, devido à presença predominante de microporos. A diminuição da porosidade, essencial para o desenvolvimento radicular, deve-se à degradação da estrutura natural do solo, favorecendo, também, o aumento da erosão hídrica (FARIA, 1998).

Inicialmente, a compactação do solo afeta os macroporos, resultando em uma difusividade de gás adequada no solo (VIZZOTTO, et al., 2000). Segundo Souza et al. (2015), as culturas não adaptadas ao excesso de água

no solo requerem um espaço aéreo mínimo de 10% para um desenvolvimento satisfatório. A quantidade e a maneira como os poros são distribuídos no solo influenciam diretamente a infiltração da água no solo (ELTZ, 1989). A distribuição do tamanho dos poros afeta a capacidade de armazenamento e o movimento da água no solo (HILLEL, 2013).

Essa distribuição depende da textura e estrutura do solo e pode ser obtida através da curva característica da água do solo. A água presente nos macroporos é facilmente drenada pela gravidade e parte da água retida nos microporos não está disponível para as plantas. A infiltração de água no solo está diretamente relacionada à estrutura e estabilidade do solo, densidade do solo, porosidade do solo e impermeabilização da superfície (ANKENY, et al., 1990), cobertura do solo e carbono orgânico (SINGH, et al., 1994). A presença de macroporos contínuos, como poros construídos por minhocas e outros organismos, aumenta a infiltração de água no solo (OKA, 1988).

No entanto, para que o macroporo influencie a infiltração da água, ele deve ser aberto à superfície do solo, pois teoricamente, com potencial matriz no solo, não há movimento da água do solo para o poro obstruído na superfície (GARDNER, 1979). Portanto, tamanho, quantidade, continuidade, distribuição e configuração dos poros são características importantes da estrutura do solo (RUSSEL, 1941).

A porosidade (n) é calculada pela equação:

$$n = \frac{V_V}{V_T} \times 100 \quad (5)$$

onde:

V_V – volume de vazios

V_T – volume total da amostra (Figura 3.13)

O índice de vazios (e) de uma amostra é a razão entre o volume de vazios (V_V) e o volume da amostra seca (V_s), como na equação a seguir:

$$e = \frac{V_V}{V_s} \quad (6)$$

É possível calcular a porosidade em função do índice de vazios, conforme a equação a seguir:

$$n = \frac{e}{1 + e} \times 100 \quad (7)$$

3.3.4.1 Grau de saturação (S)

O grau de saturação (S) é a porcentagem do volume de água V_a em relação ao volume de vazios do solo V_v , conforme:

$$S = \frac{V_a}{V_v} \times 100 \quad (8)$$

3.3.4.2 Limite de liquidez (ABNT NBR 6459)

O limite de liquidez (LL) é determinado pelo aparelho Casagrande, formado por uma placa de latão em forma de concha apoiada em um suporte de ebonita. Através de um eixo excêntrico é possível produzir quedas repetidas na placa, com alturas de 1 cm e com intensidade constante, definidas pelo operador (NBR 6459:2017).

As diretrizes para a execução deste ensaio são ditadas pela ABNT NBR 6459: 2017. Por meio do número de traços obtidos para fechar o sulco criado na amostra (Figura 3.14), é possível traçar uma linha que indique a relação entre o número de traços e o conteúdo de umidade.



Figura 3.14 - Limite de Liquidez (LL) – aparelho de Casagrande

3.3.4.3 Limite de plasticidade (ABNT NBR 7180)

O limite de plasticidade (LP) é padronizado pela ABNT NBR 7180: 2016 e é definido como o limite de umidade em que é possível modelar um cilindro de 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento, sem causar fraturas. De acordo com os procedimentos ditados por esta norma, o teste deve ser realizado manualmente, modelando o cilindro em uma placa de vidro (CAPUTO, 2015). A norma recomenda realizar pelo menos três testes e o resultado final será a média dos valores encontrados em cada teste. Para que o teste seja válido, os valores encontrados não devem variar mais de 5% da média calculada

3.3.4.4 Índice de plasticidade

O índice de plasticidade é a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade. O índice de plasticidade geralmente está associado aos solos argilosos, pois quanto maior seu valor, mais plástico será o solo. Nas areias o índice de plasticidade é zero, portanto IP = NP (não plástico) pode ser considerado (CAPUTO, 2015).

3.3.4.5 Granulometria (ABNT NBR 7181)

A análise do tamanho de partícula visa avaliar a distribuição dos grãos presentes em uma determinada amostra de solo. O teste que permite essa avaliação é padronizado pela ABNT (NBR 7181:2017).

A composição granulométrica é uma propriedade fundamental para o reconhecimento do solo e o entendimento de suas propriedades, portanto deve ser realizada antes dos demais testes de caracterização (MARENGO, 2008). De acordo com (DIAS, 2008)"[...] a análise do tamanho de partícula é a determinação do intervalo de tamanhos de partícula presente no solo, expresso como uma porcentagem do peso seco total" (p. 22).

O teste de análise de tamanho de partícula é uma combinação de peneiração e sedimentação. A peneiração é realizada para partículas com diâmetro maior que 0,075 mm, enquanto a sedimentação é realizada para partículas com diâmetro menor que 0,075 mm (FERNANDES , 2009).

Os resultados obtidos pela análise do tamanho de partícula são expressos graficamente usando a curva de tamanho de partícula. No eixo das abcissas, o diâmetro das partículas é representado em milímetros em uma escala logarítmica e, no eixo das ordenadas, a porcentagem em peso do material menor que a dimensão considerada e passa pela peneira (CAPUTO, 2015).

A ABNT (NBR 6502:1995), distingue os tipos de solo com base no tamanho do grão que predomina em uma amostra de solo. Portanto, os solos podem ter os seguintes nomes: argilas, silte, areias e pedras, em ordem crescente de diâmetro. Lodo, areia e pedregulhos podem ser subdivididos em finos, médios e grossos e partículas com diâmetro maior que 200 mm são denominadas pedregulhos (FERNANDES , 2009).

Através da análise da curva dimensional das partículas e da nomenclatura dada pela ABNT NBR 6502: 1995, observa-se que a triagem é substancialmente adequada para rochas e areias, uma vez que a peneira com diâmetro de 0,075 mm quase coincide com o diâmetro de 0,06 mm, que separa argilas e silte da parte granular. Portanto, a distribuição das partículas que passam pela peneira n. 200 (0,075 mm) é determinado por sedimentação (FERNANDES , 2009) (CAMPOS, 2007).

O teste de sedimentação é realizado em um copo de volume conhecido contendo uma solução de solo com hexametáfosfato de sódio como agente defloculante e água destilada. A análise do tamanho das partículas de sedimentação é baseada na lei de Stokes. De acordo com essa lei, as partículas se depositam em velocidades diferentes, dependendo da forma, tamanho, peso e viscosidade da água (CAMPOS, 2007).

O uso do hexametáfosfato de sódio como um agente defloculador garante que a sedimentação de cada partícula do solo ocorra de maneira isolada. No aspecto natural, os solos são agrupados, formando flocos, que devem ser desagregados pela ação do agente defloculador, garantindo a

determinação do diâmetro e porcentagens das partículas isoladas (PINTO, 2002).

A classificação da peneira permite a caracterização de materiais granulares de grão fino e, através da análise da curva dimensional das partículas, é possível determinar algumas propriedades importantes no solo analisado, como diâmetro real (D10), coeficiente de não uniformidade (CNU) e coeficiente de curvatura (CC).

Segundo Fernandes (2009)"[...] um solo com um certo diâmetro efetivo possui 10% em peso de partículas menores que D10" (p. 40). Através de relações empíricas é possível determinar a condutividade hidráulica dos solos.

Como o diâmetro real (D10), D60 significa que um solo possui 60% em peso de partículas menores que D60. Portanto, o coeficiente de não uniformidade da CNU representa a diversidade das partículas presentes em um solo granular.

Em geral, quanto maior a CNU, maior a diversidade de tamanhos de partículas e melhor a classificação do solo. O termo bem definido significa que existem vários tamanhos de partículas no solo, permitindo maior mistura e maior resistência. Um solo bem classificado possui CC entre 1 e 3; se não estiver nessa faixa, é considerado pouco classificado e, se a CNU estiver próxima de 1, a granulometria será uniforme.

3.3.4.6 Compactação do solo

Uma técnica usada na engenharia geotécnica para aumentar a resistência ao cisalhamento, reduzir vazios e conseqüentemente reduzir a permeabilidade e compressibilidade do solo é a compactação. A compactação do solo é um processo mecânico ou manual cujo objetivo é reduzir o índice de vácuo do solo (GONÇALVES e MOTEIRO, 2018).

O aumento da resistência ao cisalhamento é uma conseqüência da maior mistura de partículas do solo, resultando em maior coesão e atrito interno. A vantagem de aumentar a resistência ao cisalhamento é a maior capacidade de carga do solo.

Por outro lado, com a redução do índice de vazios, a absorção de água e a capacidade de percolação no solo diminuem substancialmente. Portanto, essa técnica pode ser aplicada na preparação do solo onde as sepulturas serão instaladas, a fim de minimizar a ação do necrochorume no solo.

Para que o solo atinja o menor índice de vácuo, é necessário realizar o teste de compactação, que produz uma curva que correlaciona o teor de umidade e o peso específico seco do solo γ_d de um solo quando compactado com uma determinada energia (Figura 3.15).

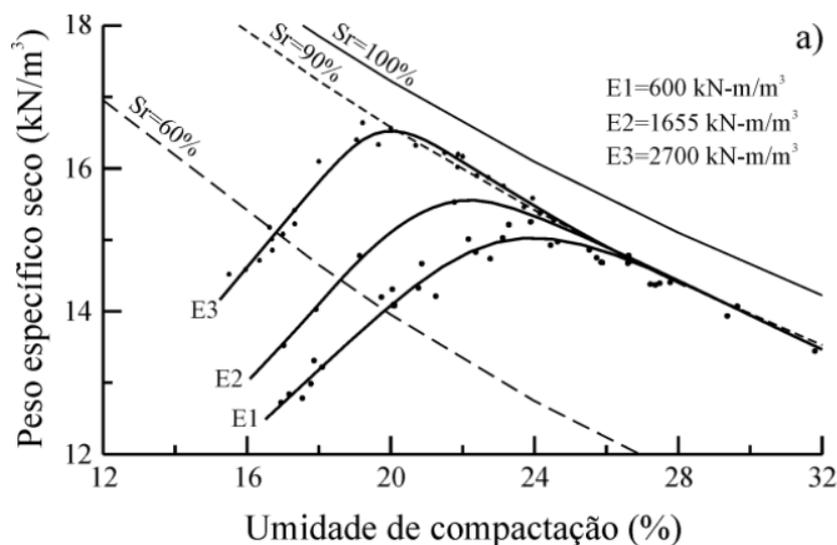


Figura 3.15- Curvas de compactação empregando diferentes energias – E1: Proctor normal; E2: Proctor intermediário; E3: Proctor modificado.

Fonte: CALLE, 2013

Essa técnica foi desenvolvida pelo engenheiro Ralph Proctor (1933), que observou que a compactação do solo poderia ser alcançada dependendo da massa seca, umidade, energia de compactação e tipo específico de solo. Proctor (1933) observou que, à medida que a umidade aumentava, a compactação do solo era maior, utilizando a mesma energia, mas ele percebeu que há um limite de umidade no qual a compactação do solo começa a diminuir, que é a ponto de viragem da curva da Figura 3.15. Nesse ponto, a umidade ideal é obtida para que o solo atinja o menor índice de vácuo possível. Da umidade ideal, adicionando mais água ao solo, o volume dos vazios aumenta à medida que a adição de água reduz a interação entre as partículas do solo.

O teste de compactação mais comum é Proctor normal, intermediário ou modificado. As alterações de dosagem estão relacionadas à energia usada no ensaio, como mostrado na Figura 3.15 e na Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Energias de compactação.

Cilindros	Características de cada energia de compactação	Energia		
		Pequeno	Grande	Grande
Pequeno	Soquete			
	Nº de camadas	3	3	5
	Nº de golpes por camada	26	21	27
Grande	Soquete		Grande	Grande
	Nº de camadas	5	5	5
	Nº de golpes por camada	12	26	55
	Altura de disco espaçador	63,5	63,5	63,5

Fonte. ABNT NBR 7182:2016.

A execução deste teste consiste em umedecer o solo com diferentes níveis de umidade, compactando-o usando algumas das energias da Tabela 3.3 e depois pesando a amostra compactada para calcular o peso específico do solo seco. O peso específico do solo seco γ_d é calculado como:

$$\gamma_d = \frac{M_u \times 100}{V(100 + w)} \quad (9)$$

onde:

M_u – massa úmida do solo compactado (g)

V – volume útil do molde cilíndrico (cm³)

w – porcentagem de umidade da amostra

A ABNTNBR 7182:2016, recomenda o cálculo da curva de saturação – S – (razão entre peso específico do solo seco e o teor de umidade para o nível de 100% de saturação do solo) usando a seguinte equação:

$$\gamma_d = \frac{S \cdot \gamma_s \gamma_w}{S \cdot \gamma_w + \gamma_s w} \quad (10)$$

Onde:

γ_s – peso específico dos grãos de solo (KN/m³)
 γ_w – é a massa específica da água (KN/m³)

3.3.4.7 Curva de retenção

As condições que podem potencialmente causar o processo de fluxo em um meio poroso não saturado são definidas pela curva de retenção de água no solo (LEE, 2011). A curva de retenção relaciona a sucção da matriz do solo (definida em carga ou pressão) e o teor de umidade volumétrico, θ , ou o grau de saturação do solo, S .

A Figura 3.16 exemplifica curvas típicas de retenção de água no solo de três tipos de solo com partículas de tamanho distinto. Em regra, ao aumentar a sucção (ou reduzir a pressão da água) o teor volumétrico de umidade diminui. A diferença entre as três curvas está relacionada à capacidade de cada tipo de solo reter água nos poros, argila possui maior capacidade de retenção de água e a areia a menor capacidade (MENEZES, et al., 2015).

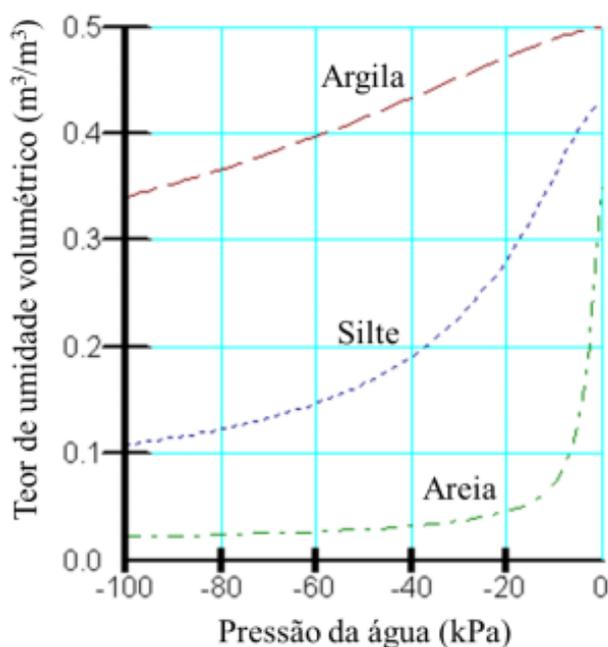


Figura 3.16 - Curvas típicas de retenção de água para argila, silte e areia.

Fonte: SEEP/W, 2012.

Os ensaios laboratoriais para obtenção das curvas de retenção ocorrem em duas etapas, drenagem e infiltração de água, a não superposição dessas curvas dá origem ao fenômeno denominado histerese. A histerese geralmente aumenta devido à presença de ar retido no solo ou aos fenômenos de expansão e contração do solo (BOTELHO, 2001).

3.3.4.8 Infiltração e permeabilidade

Os modelos que descrevem a infiltração de água no solo podem ser teóricos ou empíricos (BRANDÃO, et al., 2006).

Os empiristas têm a vantagem de permitir relacionar os parâmetros do modelo com as características do solo, sem necessariamente ter um significado físico, e incluir na determinação de seus fatores constantes que são difíceis de considerar em modelos teóricos, por exemplo: heterogeneidade do solo.

A principal desvantagem do uso de equações empíricas é que os dados corretos são válidos apenas para as condições em que foram determinados, ou seja, não podem ser adotados para outros tipos de solo. Os modelos teóricos já se baseiam na teoria física do fluxo de meios porosos, descrita pela equação de Richards ou mesmo pela equação de Darcy, a partir da qual a equação de Richards foi desenvolvida.

A equação de Darcy para solos não saturados pode ser descrita pela seguinte expressão:

$$q = -k(\theta) \frac{\Delta\psi}{\Delta z} \quad (11)$$

Onde:

q – vazão específica

$k(\theta)$ – coeficiente de permeabilidade em função do teor de umidade volumétrica

$\frac{\Delta\psi}{\Delta z}$ – gradiente da carga hidráulica total

O gradiente hidráulico representa a taxa de mudança do potencial total ao longo da distância percorrida pelo fluxo. Portanto, a força responsável pela infiltração de água é o gradiente de seu potencial total no solo. O sinal negativo na equação de Darcy indica que o fluxo é estabelecido do maior para o menor potencial.

O potencial hídrico total do solo é dado pela soma dos potenciais gravitacionais, osmóticos e de pressão da matriz (REICHARDT e TIMM, 2004). No entanto, segundo o autor, o componente osmótico não é importante no estudo do movimento da água, exceto quando existe uma membrana semipermeável no sistema, como as membranas das células nos seres vivos.

A equação de Darcy é válida apenas para condições em que exista uma relação linear entre o fluxo e o gradiente hidráulico, o qual é verificado apenas no regime de fluxo laminar.

Essa relação deixa de ser linear quando o movimento da água através dos poros mostra um regime de fluxo turbulento ou quando o fluxo é muito pequeno e, conseqüentemente, as forças de atração eletrostática entre a água e a matriz do solo se tornam mais expressivas.

A combinação da equação de Darcy para meios não saturados com a equação de continuidade fornece uma equação diferencial parcial não linear de segunda ordem que explica o fluxo em meios porosos não saturados, também chamada de equação de Richards (1931), expressa com o seguinte equação:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial z} \right] \quad (12)$$

Entre as equações empíricas, uma das mais utilizadas para o projeto de sistemas de irrigação é a desenvolvida por Kostiaikov em 1932. Este pesquisador propôs a seguinte equação para calcular a infiltração acumulada e a taxa de infiltração da água no solo:

$$I = aT^b \quad (13)$$

Onde:

I – lâmina infiltrada no tempo (m)

T – tempo (s)

a e b –parâmetros do modelo e dependem do tipo de solo

O uso do modelo de Kostiaikov é limitado à situação em que os dados de infiltração observados estão disponíveis para a determinação dos parâmetros a e b da equação, uma vez que estes não têm seu significado físico e são avaliados por dados experimentais e podem ser determinados estatisticamente. Não pode ser aplicado a outros tipos de solo e condições além das condições em que seus parâmetros foram determinados (BRANDÃO et al., 2006).

O modelo de Kostiaikov, embora estritamente empírico, tem um valor inicial da taxa de infiltração tendendo ao infinito e uma longa taxa de infiltração tendendo a um valor próximo a zero em vez de um valor constante. Esse valor constante corresponde à taxa de infiltração estável ou à condutividade hidráulica do meio saturado (BRANDÃO et al., 2006).

Isso pode ser irrelevante para a infiltração horizontal, mas torna a equação completamente inexistente para a infiltração vertical. No entanto, na maioria das vezes intervalos de interesse em irrigação, representa adequadamente o processo de infiltração de água no solo (HILLEL, 2013).

Outro modelo empírico amplamente utilizado é o desenvolvido por Horton (1933). Segundo Brandão et al. (2006), para este modelo, a redução da infiltração ao longo do tempo é fortemente controlada por fatores que ocorrem na superfície do solo, como a crosta superficial, devido ao impacto de gotas de chuva, fenômenos de expansão e contração, entre outros.

Ele também concluiu que a taxa de infiltração se aproxima de um valor constante, mas geralmente é menor do que a condutividade hidráulica em solos saturados.

Ele explicou que essa diferença vem da presença de ar retido no solo e da saturação incompleta do solo em condições de campo. A taxa de infiltração, de acordo com o modelo de Horton, é expressa pela seguinte equação:

$$i = i_f + (i_i - i_f)e^{\beta t} \quad (14)$$

onde:

i – taxa de infiltração da água no solo (mm/h)

i_f – valor constante (taxa de infiltração estável) (mm/h)

i_i – taxa de infiltração inicial (mm/h)

β – constante de decaimento

t – tempo, em horas

Uma maneira simplificada de obter o coeficiente de permeabilidade em campo, e assim ser capaz de prever a infiltração média que ocorre no local, é descrita pela ABNT NBR. 13.969:1997, que determina a abertura de um poço de seção quadrada de 30 cm por lado e 30 cm de profundidade. Após a saturação do solo, o poço é preenchido com água até o nível de 15 cm e a cada 30 minutos é medida a drenagem da água. Esse processo é repetido até que o valor da drenagem do nível da água seja constante. Após a estabilização do valor da coluna de água rebaixada medida a cada 30 minutos, calcula-se a média aritmética do valor final dos três poços. E a percolação (min/m) média de água (P) será calculada por:

$$P = 30/h_p \quad (15)$$

Onde h_p é a média aritmética da coluna de água rebaixada medida nos três poços. O coeficiente de permeabilidade (m/s) será calculado por:

$$k = \frac{1}{60 \cdot P} \quad (16)$$

3.3.4.9 Características físicas do solo que influenciam na infiltração da água

Segundo Montenegro (1976), a distribuição percentual de argila, silte e areia é considerada a característica física mais estável do solo e sua correlação com a superfície específica faz com que seja uma das propriedades mais importantes do solo. A combinação de texturas com outras propriedades, como a composição mineralógica da argila e o conteúdo da substância orgânica, permite a interconexão de outros parâmetros como estrutura, consistência, permeabilidade, capacidade de troca catiônica, retenção de água e fixação de fósforo.

De acordo com Hillel (2013) e Foth (1987), os solos com textura grossa tendem a ser menos porosos do que os solos com textura fina, no entanto, o tamanho médio dos poros individuais é maior em solos com textura grossa do que com solos com parcelas finas.

A parcela do solo é uma característica ligeiramente variável ao longo do tempo e pouco influenciada pelo manejo (REINERT, 2001). Portanto, as modificações físicas dos solos estão associadas à sua estrutura. A trama e a estrutura são características que influenciam significativamente o movimento da água no solo, uma vez que determinam a quantidade de macroporos presentes em seu perfil, extremamente importantes na condutividade hidráulica do solo (FIORIN, 2008). Eles também influenciam significativamente a infiltração da forma porosa e sua continuidade.

Os solos de granulação grossa, que são arenosos, possuem uma quantidade maior de macroporos do que a textura fina (argila), portanto, apresentam uma maior condutividade hidráulica e taxa de infiltração. No entanto, solos argilosos bem estruturados podem exibir taxas de infiltração mais altas do que aquelas com estruturas instáveis, que sofrem dispersão quando umedecidas ou sujeitas a algum agente desintegrador (REINERT et al., 2001).

A estabilidade dos agregados é determinada pelos chamados agentes cimentadores, representados principalmente pela matéria orgânica e pelos óxidos de Fe e Al. Portanto, quanto maior a concentração desses compostos no solo, maior será a possibilidade de estruturas mais estáveis (SILVA e KATO, 1997).

3.3.4.10 Alterações na qualidade física do solo em função do manejo

A ação antrópica causa mudanças nas características físicas do solo em relação às suas condições naturais. O manejo do solo altera principalmente sua estrutura, influenciando o ambiente de crescimento radicular. Muitas vezes, há uma degradação da qualidade do solo, cujos principais indicadores são agregação e compactação (REICHERT et al., 1992). Os solos argilosos são bem estruturados, sendo mais resistentes à

degradação dos solos arenosos, mas são mais sensíveis à compactação do que os solos arenosos (FIORIN, 2008).

O uso intensivo da terra com mecanização pesada, especialmente em condições inadequadas de umidade do solo, causa um aumento na compactação do solo em muitas regiões. A compactação do solo é um processo derivado da história das tensões recebidas em uma área através da mecanização e do pisoteamento de animais (REICHERT et al., 1992) e refere-se à compressão do solo não saturado durante o qual um aumento em sua densidade devido à redução de seu volume (GUPTA et al., 1989), resultante da expulsão de ar dos poros do solo.

Valores altos de densidade do solo e baixos valores de macroporosidade em solos sem processamento sugerem que a infiltração nesse sistema é menor do que em solos preparados convencionalmente, onde a superfície é normalmente menos compacta. No entanto, na presença de chuvas fortes, variáveis como a resistência do solo e a cobertura de matéria orgânica desempenham um papel importante na quantidade de água que entra no solo por unidade de tempo (REICHERT et al., 1992).

Portanto, ao avaliar a infiltração de água no trabalho de manejo do solo, é muito importante considerar o método de avaliação (anéis concêntricos ou simulador de chuva). Ao trabalhar com anéis concêntricos, uma carga hidráulica constante é estabelecida na superfície do solo, eliminando o efeito protetor contra o poder de desintegração das gotas de cobertura morta (REICHERT et al., 1992).

Portanto, os valores básicos de infiltração são muito semelhantes, mesmo quando comparados sistemas distintos, como o processamento do solo e o processamento convencional. As avaliações simuladas da chuva refletem melhor as condições de infiltração na água do solo, pois não eliminam os fatores anteriormente considerados (CASTRO, 1995).

Entretanto, infiltração de água, resistência à penetração radicular, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo são indicadores do estado da estrutura e de compactação do solo (REICHERT et al., 1992). A infiltração de água é o indicador de maior relevância, por integrar

diversos fatores, tais como, a distribuição do tamanho dos poros e a continuidade dos poros.

3.4 TIPOS DE CEMITÉRIOS

Desde os primeiros dias da existência do homem, o significado de sua morte e seus companheiros é visto de diferentes maneiras, dependendo do tempo e da civilização. Portanto, "o significado da morte varia necessariamente ao longo da história e entre diferentes culturas humanas" (COMBINATO e SOUZA, 2006, p. 210).

O significado dado à morte é distinto e muda de acordo com a cultura e os costumes de cada povo e sofre mudanças ao longo da evolução dos valores venerados por toda sociedade, que é influenciada pela cultura de outras civilizações. (AGRA, 2008).

Segundo Giacoia Júnior (2005), nas civilizações mesopotâmicas, os mortos eram meticulosamente enterrados e acompanhados de ferramentas, como objetos e roupas do cotidiano, que serviam para identificar sua identidade pessoal e familiar. Esse ritual serviu para representar a personalidade e o *status* social do indivíduo enquanto ele estava vivo, pois a morte teria sido o cancelamento dessa existência (MASTROMAURO, 2007).

Entre os antigos incineradores crematórios hindus estava o destino dado aos seus mortos. O cadáver foi consumido pelo fogo e as cinzas foram jogadas ao vento ou nas águas dos rios e o homem morto foi despojado de todas as suas características de identidade (JUNIOR, 2005; MASTROMAURO, 2007). A cremação representava o expurgo de todos os pecados e a própria vida individual era considerada uma transgressão que precisava ser expiada pela morte. "[...] o verdadeiro significado da vida consiste em despir o corpo e se preparar para a morte. [...]" (JUNIOR, 2005).

Na Grécia antiga, o ritual fúnebre diferenciava os tipos dos mortos. Apesar da incineração em ambos os casos, a cerimônia do homem comum foi distinta dos grandes heróis (COMBINATO e SOUZA, 2006).

Os primeiros foram cremados coletivamente e suas cinzas foram enterradas em valas comuns. O grande herói mereceu honras durante a

cremação. Ele teve uma vida digna de lembrança e acreditava-se que sua morte era uma prova de sua virtude (MASTROMAURO, 2007).

Para judeus e cristãos que acreditavam na ressurreição após a morte, isso seria acesso a outra dimensão da vida que poderia estar no inferno ou no céu, de acordo com suas ações terrenas, guardando os mandamentos de Deus. Somente na Idade Média, o cemitério começou a ser usado como se conhece. Naquele momento, a morte era vista naturalmente e os enterros ocorriam no centro da cidade, fora da Igreja Católica (COMBINATO e SOUZA, 2006).

Mesmo na Idade Média, as ideias do teocentrismo eram difundidas por toda a Europa, onde a Igreja Católica mantinha a população apegada às suas ideias. Havia um grande medo da vida após a morte, na qual o "espírito" descansava em paz no paraíso ou sofria pela eternidade no inferno (MASTROMAURO, 2007).

Portanto, para estar o mais próximo possível do céu, as pessoas queriam ser enterradas na Igreja ou ao redor dela. Os mortos socialmente importantes foram enterrados no interior. Os menos importantes foram enterrados em terras adjacentes e os sociais indignos foram enterrados em uma vala comum que permaneceu aberta até a plena capacidade (MASTROMAURO, 2007).

À medida que a população crescia, faltavam mais e mais espaços vazios onde as pessoas podiam ser enterradas perto ou dentro da Igreja. Ao mesmo tempo, as ideias protestantes começaram a proliferar na Europa, o que acabou dividindo a Igreja Católica (MASTROMAURO, 2007).

Dessa maneira, os protestantes não podiam mais ser enterrados nas igrejas católicas e precisavam construir novos locais de sepultamento. Foi nessa época que os cemitérios começaram a ser construídos fisicamente separados da Igreja, mas a Igreja ainda exercia uma grande influência sobre eles (MASTROMAURO, 2007).

No entanto, o fator que culminou no fim do enterro nas igrejas foi o início da importância dada à saúde pública. O corpo humano em estado de decomposição libera vapores e cheiros fortes que podem contaminar aqueles expostos a altas concentrações. Os corpos enterrados nas igrejas liberam

esses gases em seus interiores, tornando-os um ambiente inadequado para suas tarefas (MASTROMAURO, 2007).

Relatos antigos da época colonial do Brasil exemplificam o desconforto da população. Um deles é o relatório apresentado à Assembleia Legislativa Provincial de Minas Gerais em 1876 pelo presidente da mesma província, Barão da Vila da Barra. O relatório afirma que o enterro nas igrejas é intolerável e condenado pelas regras de higiene. Além disso, ele afirma que esse costume testemunha contra a civilização provincial (VIEIRA, 2002)

O conceito de civilização aplicado pelo barão da Vila da Barra referia-se ao desenvolvimento da província. Em meados do mesmo século "acreditava-se que as doenças eram causadas e disseminadas por aspectos do meio ambiente, disseminando a teoria miasmática que afirmava ser epidemia de locais não saudáveis onde a circulação do ar estava comprometida" (MASTROMAURO, 2007).

Com base nessa teoria, as autoridades tomaram medidas para melhorar a qualidade de vida da população ao mesmo tempo em que várias epidemias surgiram em algumas cidades. Então, em 1850, foi criado o Conselho Central de Higiene, responsável pela coordenação do sistema de saúde. Foi estabelecido que a posição dos cemitérios deveria estar na zona externa da cidade para remover da população os perigos que esses locais acarretavam. No entanto, essas medidas levaram muito tempo para chegar às regiões mais distantes do Rio de Janeiro (MASTROMAURO, 2007).

O solo contaminado é o solo que possui concentrações de um determinado elemento químico mais alto do que o esperado em condições naturais. A contaminação por metais pesados é originária da atividade humana ou acumulação resultante de processos biogeoquímicos que ocorrem na natureza (McBRIDE, 2014). Um exemplo são os cemitérios, onde os caixões de madeira não são a principal fonte de contaminação do solo, a menos que sejam conservantes de madeira, fontes de metais pesados, particularmente cromo ou fontes baseadas em organoclorados, como pentaclorofenol e / ou tribromofenol (MASTROMAURO, 2007).

A madeira não tratada se decompõe rapidamente, permitindo a rápida propagação de líquidos humorísticos. Por outro lado, caixas de metal,

geralmente não são utilizadas para o enterro, podem causar contaminação do solo por elementos como ferro, cobre, chumbo e zinco por vários anos (BARROS, 2008).

Cemitérios são monumentos para a memória daqueles que morreram, a quem os vivos estão perpetuando. Como resultado, esse tipo de construção adquiriu a condição de inviolabilidade em relação à pesquisa científica em seus vários aspectos (MARENGO, 2008).

No entanto, sociólogos, antropólogos, folcloristas e outros contribuíram excelentemente para uma melhor compreensão dos hábitos, costumes e práticas do funeral (MATOS, 2001).

No Brasil, sua implantação se dá sem planejamento e condição, portanto existe necessidade de um planejamento de engenharia necessidade de projetos elaborados e interdisciplinares, quase sempre em terrenos que apresentam baixo valor imobiliário, ou, ainda, com inadequação de condições geotécnicas, hidrogeológicas e geológicas. Esse cenário pode favorecer a ocorrência de impactos ambientais (mudanças físicas, químicas e biológicas no ambiente do cemitério) e fenômenos de conservação como a saponificação (PACHECO, 2000; MARENGO, 2008).

Entre os tipos de cemitérios existentes, existem os verticais, os tradicionais, crematórios e campos ou jardins. Historicamente, havia túmulos, catacumbas e pirâmides, que não são mais usadas hoje.

3.4.1 Cemitérios verticais

Diante do expressivo crescimento urbano, demonstraram-se preocupações sobre os espaços dos cemitérios e questões ambientais sobre o assunto. Com isso em mente, foram criados cemitérios verticais, alternativa que foi encontrada para resolver o caso.

Cemitérios verticais são edifícios com dois ou mais andares que oferecem câmaras funerárias ou gavetas que precisam ter sistemas de gás e inativação de necrochorume para não alcançar as áreas comuns onde os visitantes e a equipe se deslocam do lugar (KEMERICH *et al.*, 2014).

Em se tratando de cemitérios verticais, o legislador direcionou atenção para a constituição dos nichos: materiais que impedem a passagem de gás nos locais de circulação de trabalhadores e visitantes; materiais com características de construção que evitam o vazamento do necrochorume; dispositivo que permita a troca de gás, fornecendo adequadas condições para a decomposição dos corpos; e tratamento sustentável de efluentes gasosos (MASTROMAURO, 2007; ANJOS, 2013).

Essas construções apresentam algumas vantagens, tais como: o uso de áreas menores para a sua construção, não interferência do necrochorume nas águas subterrâneas e no solo, baixa exigência de tipo de solo, facilidade de enterro, visitas nos dias de chuva, segurança, enterro noturno, entre outros (CAMPOS, 2007).

3.4.2 Cemitérios tradicionais

Existem também cemitérios tradicionais, que são necrópoles compostas por becos pavimentados, que contêm túmulos semi-abrigados, mausoléus, capelas de imagens, crucifixos e altar, monumentos funerários ladeados por mármore e granito com pouca ou nenhuma floresta (CAMPOS, 2007).

Esse tipo de enterro apresenta algumas desvantagens, como a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, a ocupação de áreas extensas, em razão da preocupação estética que envolve altos custos, tanto para sua construção como para a manutenção posteriormente, interferindo diretamente na estética urbana ou no local em que se encontra onde está localizado, além da possível proliferação de variados insetos e de animais que podem transmitir doenças, tais como, animais invertebrados (CAMPOS, 2007).

3.4.3 Cemitério parque ou cemitério jardim

Segundo Resolução editada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 335, de 3 de abril de 2003 (Resolução CONAMA 335:2003),

cemitério de parques ou jardins é aquele coberto principalmente por jardins, desprovido de edifícios de túmulos, e nos quais os túmulos são identificados por uma pequena lápide ao nível do solo.

No entanto, tais espécies de necrópoles têm suas desvantagens, tais como, a ausência de tratamento do necrochorume, pois os corpos são enterrados sem se preocupar com a liberação dos gases e líquidos que são gerados, causando contaminação da água e do solo, promovendo a proliferação de doenças.

3.4.4 Crematório

O crematório é destinado à incineração de cadáveres. Consiste em compartimentos de incineração que queimam corpos em compartimentos isolados. A incineração completa tem duração média de uma hora e é realizada em temperatura de 1000°C, em média. Logo após tal período, contudo, ficam somente as cinzas, entregues posteriormente à família após decorridos sete dias do procedimento, acomodadas em urna apropriada (CAMPOS, 2007).

A instalação de crematórios tem as suas vantagens, uma delas pelo fato de o necrochorume gerado não interferir nas águas subterrâneas, além de destruir microrganismos que podem interferir no meio ambiente e a ocupação de uma pequena área (CAMPOS, 2007; ANJOS, 2013).

No entanto, existem algumas desvantagens em relação aos demais, como a produção de resíduos a partir da combustão de corpos e, além disso, a baixa aceitação, devido a problemas religiosos, sociais e culturais da população (CAMPOS, 2011).

A tendência é que a demanda por crematórios aumente, pois não há vagas em cemitérios públicos e os particulares cobram preços altos, além do pagamento pela manutenção (CHRISTANTE, 2011).

3.4.5 Legislação ambiental para implantação e operação de cemitérios no Brasil

No nível Federal, até 2003, não havia legislação ou padrão técnico específico que regulamentasse a implementação e o funcionamento dos cemitérios em termos de saúde e de meio ambiente (WEBER, 2010).

O CONAMA promulgou a Resolução nº 335 de 3 de abril de 2003, que prevê a concessão de licenças ambientais para cemitérios. Tal lei experimentou reformulação em 28 de março de 2006 por meio da Resolução CONAMA nº 368. No entanto, pode-se observar que existem defeitos nessas leis (FOFONKA; KUNT, 2011; MASTROMAURO, 2007).

Os cemitérios que foram instalados em período que antecedeu a entrada em vigor da Resolução nº 335 também devem cumprir suas regras, devendo os órgãos ambientais municipais e estaduais estabelecer, até dezembro do ano de sua edição, os critérios de adequação, conforme indicado no artigo 11, com redação conferida pela Resolução CONAMA nº 402, de 17 de novembro de 2008 (WEBER, 2010; CHRISTANTE, 2011).

O subsolo da área pretendida do cemitério deve consistir em materiais com coeficientes de permeabilidade entre 10^{-7} e 10^{-9} m / s, no intervalo entre o fundo das tumbas e o nível do aquífero, medido no final da temporada de inundações.

Para maior permeabilidade, o nível mais baixo dos depósitos deve estar dez metros acima do nível da água subterrânea (BRASIL, 2003). Resolução CONAMA 335 Art. 5, parágrafo 1, ponto III).

O interior do cemitério, bem como o seu perímetro, deve estar equipados com um sistema de drenagem eficiente e adequado, projetado para capturar, direcionar e eliminar com segurança o escoamento da água da chuva e impedir a erosão, inundações e movimentos de terra (BRASIL, 2003). Resolução CONAMA 335. Artigo 5, parágrafo 1, ponto II) (WEBER, 2010).

A resolução ainda proíbe instalar cemitérios em áreas de conservação permanente, bem como em outras áreas que, por suas condições e apresentação, exijam o desmatamento da floresta Atlântica primária ou secundária, na fase intermediária ou avançada de regeneração, em solos predominantemente cáusticos, que possuem cavernas, poços ou rios

subterrâneos, em áreas que são fontes de abastecimento humano, bem como aquelas cujo uso é limitado pela legislação vigente, com exceção das exceções legais previstas (WEBER, 2010).

Nos cemitérios recém-construídos, o risco de contaminação é muito menor. Desde 2003, a legislação estabelece, entre outras coisas, que eles não podem ocupar áreas de preservação ambiental, tampouco terrenos sob os quais exista aquífero com menos de 5 m de profundidade, além de estabelecer normas para a construção de depósitos para evitar a infiltração de necrochorume no solo (CHRISTANTE, 2011).

Para mitigar os impactos que são causados pelos cemitérios à comunidade de entorno e à paisagem urbana, as regras condicionam esse tipo de compromisso com EIA / RIMA (WEBER, 2010).

Para fornecer este relatório, é realizado um estudo de viabilidade, promovendo-se a identificação das condições do local, o tipo de solo, a localização e a profundidade do aquífero. Além disso, o trabalho deve ser realizado verificando outros fatores importantes que o terreno em questão necessita para a construção de um cemitério (WEBER, 2010).

A prática de se enterrar seus mortos na necrópole tradicional é a mais utilizada, dada a demanda socioeconômica e, também, costumes religiosos. No entanto, consiste este espaço no principal contaminante dos solos nas unidades do cemitério. Dentre as alternativas possíveis, uma das principais são os cemitérios verticais, onde é possível tratar os gases gerados pela decomposição, evitando a contaminação atmosférica (MASTROMAURO, 2007).

A contaminação das águas subterrâneas consiste em um dos principais agentes que contribui para a proliferação de doenças, por atingir áreas extensas, a depender da extensão do aquífero, bem como de sua profundidade, onde as pessoas podem usar essas águas para consumo próprio através dos poços sem ter tratamento prévio de sua qualidade.

A legislação brasileira atual sobre o assunto está lentamente se tornando conhecida e aplicada pelos municípios. Nela é possível identificar os padrões estabelecidos para a correta instalação dos túmulos.

Desse modo, seguindo os padrões estabelecidos, pode-se reduzir o nível de contaminação ou, até evitá-la, promovendo, assim, melhorias na qualidade de vida das pessoas, na paisagem urbana e nas condições ambientais, considerando-se que os cemitérios normalmente são instalados nas cidades (WEBER, 2010; CHRISTANTE, 2011).

4 METODOLOGIA

Para avaliar a qualidade da água, a metodologia dessa Tese foi dividida em quatro etapas: a) coleta de amostras; b) análises físico-químicas e microbiológicas; c) análise estatística dos dados das análises físico-químicas e microbiológicas; e d) ensaios geotécnicos para caracterização do solo.

4.1 Primeira etapa – coleta de amostras

Foram coletadas 115 amostras de água, entre 2007 e 2018, nos poços localizados no cemitério Jardim Metropolitano de Valparaíso de Goiás, Goiás, localizado no entorno do Distrito Federal Figura 4.2, Figura 4.3, Figura 4.4 e Figura 4.5). Três poços de monitoração (piezômetros) foram construídos, conforme a Figura 4.1, com objetivo de verificar a carga hidráulica do aquífero, monitorar a qualidade da água subterrânea e realizar testes bacteriológicos e físico-químicos. A localização desses poços dentro do cemitério (Figura 4.6) foi definida através dos estudos e sugestões com base em técnicas de amostragem da ABNT (NBR 9815: 1987).

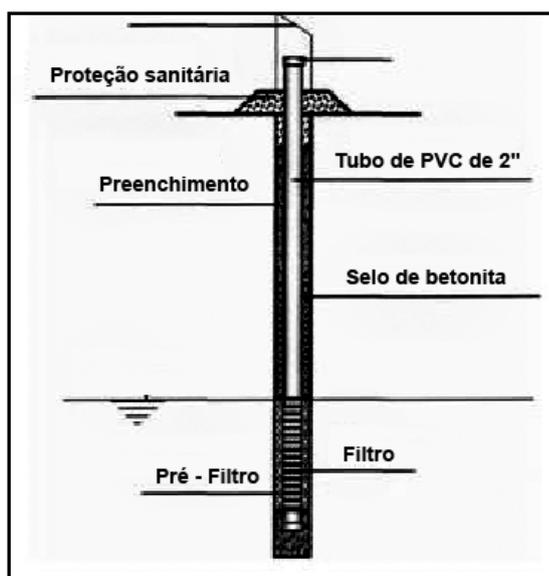


Figura 4.1- Esquema construtivo dos poços de monitoração.

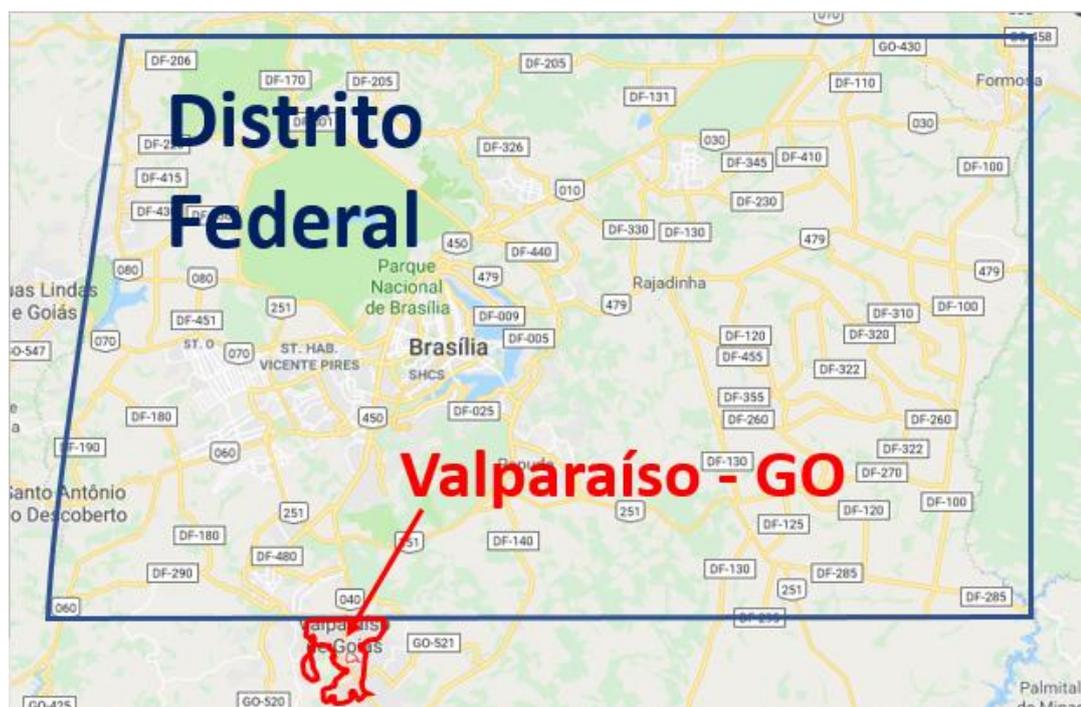


Figura 4.2- Localização da região de estudo (Valparaíso-GO).

Fonte: Googlemaps, 2018 (modificada).

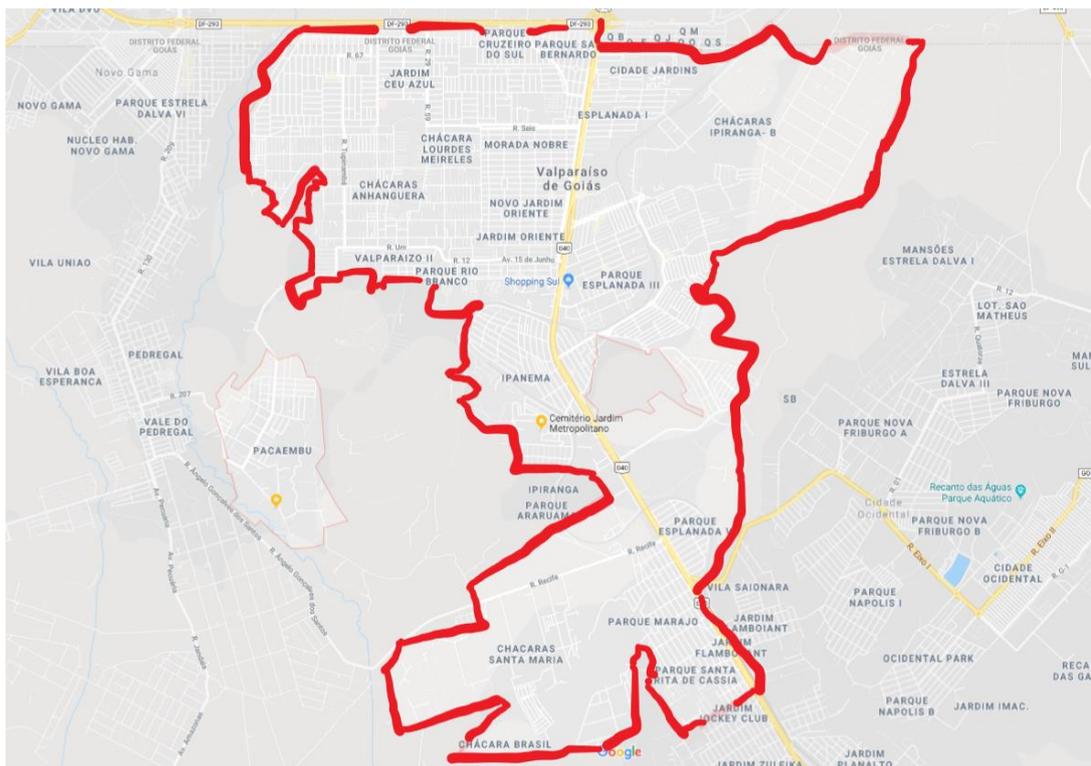


Figura 4.3- Localização da região de estudo (Valparaíso-GO).
 Fonte: Googlemaps, 2019 (modificada).

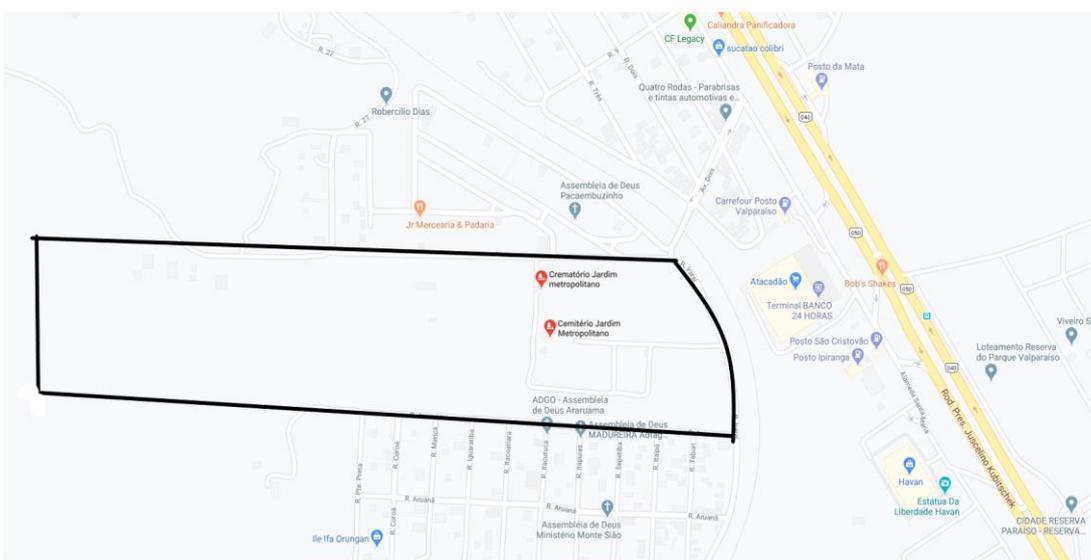


Figura 4.4- Localização da região de estudo (Valparaíso-GO) destacando Cemitério Jardim Metropolitano.
 Fonte: Googlemaps, 2020 (modificada).



Figura 4.5- Imagem de satélite da área de estudo: da área de estudo Valparaíso: 16°05'40.59"S; 47°59'09.95"O; Alt. 1045m.
Fonte: Googlemaps, 2018 (modificada).



Figura 4.6- Localização dos poços de monitoramento - 1, 2, 3. Distância: P1 e P2 90m - poço P2 ao poço P3 830m
Fonte: Googlemaps, 2018 (modificada).

4.2 Segunda etapa – análises físico-químicas e microbiológicas da água

Após a coleta, submeteu-se as amostras de água ao processo de refrigeração e envio para o laboratório de análises químicas Quinosan Laboratório Químico Ltda, localizado na cidade de Brasília, DF.

Para a escolha dos parâmetros a serem analisados, foram considerados i) os compostos presentes no corpo humano (Tabela 4.1); ii) quais parâmetros foram avaliados em estudos de qualidade da água de aquíferos localizados em outras regiões que também acomodam jardins cemitérios; e iii) quais eram os parâmetros normativos adotados no Brasil à época para caracterizar a qualidades dos aquíferos.

De acordo com Pacheco (1986), os organismos que transmitem doenças pela água são os seguintes: vírus da hepatite A; enterobactérias, tal como a *Salmonella* (febre tifoide); *Mycobacterium* (tuberculose); e *Clostridium* (toxi-infecção alimentar, tétano e gangrena gasosa). Para eles, os indicadores contaminantes mais utilizados são os coliformes, especialmente do grupo dos termotolerantes ou coliformes fecais e os estreptococos.

Martins et al. (1991) relembram ainda que, além destes, outros indicadores vêm sendo propostos para avaliar a qualidade das águas, como ocorre com os parâmetros físico-químicos de oxidabilidade, condutividade, pH, DBO, entre outros, e alguns íons como cloretos, sulfatos, fosfatos, sódio, potássio e cálcio, que podem apontar para uma possível contaminação.

Migliorini (2004), ao estudar a qualidade das águas subterrâneas em áreas de cemitério em Cuiabá – MT analisou qualitativa e quantitativamente as seguintes variáveis: *Escherichia coli*, *Salmonella* sp, coliformes totais, coliformes termotolerantes, cádmio, chumbo, cromo, zinco, ferro, manganês, sódio, potássio, sulfato silício, amônia, nitrito, nitrato, sólidos totais dissolvidos (TDS), alcalinidade, condutividade elétrica, pH, temperatura da água e do ar e fósforo.

Ante o exposto, ao verificar que os parâmetros das normas e da literatura eram coincidentes, optou-se por realizar análises físico-químicas e

microbiológicas com o intuito de verificar se os padrões de qualidade da água e os níveis de contaminação correspondem aos padrões exigidos pelo Ministério da Saúde (MS) na Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017) pela Resolução CONAMA 396, de 4 de abril de 2008 (BRASIL, 2008). A Tabela 4.1 apresenta os padrões estabelecidos para a boa qualidade da água:

Tabela 4.1. Parâmetros estabelecidos para a boa qualidade da água com base nos padrões exigidos pelo MS na (PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5, 2017), de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017) e pelo CONAMA na Resolução CONAMA 396, de 4 de abril de 2008 (BRASIL, 2008) e na Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005).

PARÂMETRO	PADRÃO
Odor	Inodoro
Alcalinidade	< 500 mg.L ⁻¹
pH	De 6,0 a 9,5
Aspecto	Límpido
Oxigênio	> 6 mg.L ⁻¹
Fósforo	0,025 mg.L ⁻¹
Condutividade	Não especificado
Manganês	< 0,1 mg.L ⁻¹
DQO	< 3,69 mg.L ⁻¹
Nitrogênio amoniacal	3,7 mg.L ⁻¹ N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg.L ⁻¹ N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg.L ⁻¹ N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg.L ⁻¹ N, para pH > 8,5
Sabor	Insípido
Cor	15 µH
Dureza	< 500 mg.L ⁻¹
Turbidez	5 UT
Ferro	< 0,3 mg.L ⁻¹
Cromo	< 0,05 mg.L ⁻¹
Amônia	1,5 mg.L ⁻¹
TDS	< 1000 mg.L ⁻¹
DBO	<3 mg.L ⁻¹
Chumbo	0,033 mg.L ⁻¹

As análises microbiológicas foram realizadas usando os métodos de ausência/presença. Na Tabela 4.2 estão descritos os parâmetros quantificados, os métodos e os equipamentos utilizados em cada tipo de análise.

Tabela 4.2. Métodos analíticos e equipamentos utilizados na determinação dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água.

Parâmetros	Método	Equipamentos
Alcalinidade	2320 - (SMWW , 2005)	Bureta, balança analítica e reagente.
pH	(IAL , 2008) – 201/IV	Micronal B 474 pH metro
Dureza	(IAL , 2008) – 185/IV	Bureta, balança analítica e reagente.
Oxigênio	-	Instrutherm MO 880
Condutividade	(IAL , 2008) - 187/1 V	Condutivímetro DM 3
Turbidez	(IAL , 2008) - 206A/I	Turbidímetro AP 2000
TDS ¹	(IAL , 2008) -204/IV	Condutivímetro DM 3
DBO	5210 B (SMWW , 2005)	Estufa 20°C
DQO	(IAL , 2008) -199/IV	Bureta, balança analítica e reagente.
Nitrogênio amoniacal	(IAL , 2008) - 189/IV	KlettSummerson
Crom	(IAL , 2008) - 209/IV	ICP - Varian
Ferro	(IAL , 2008) -192/IV	KlettSummerson
Chumbo	(IAL , 2008) - 209/IV	ICP - Varian
Mesófilos	Embrapa, manual de microbiologia de alimentos, , 1995	Bureta, balança analítica e reagente.
Coliformes termotolerantes 45°C	Embrapa, manual de microbiologia de alimentos, , 1995	Bureta, balança analítica, reagentes
Coliformes totais	Embrapa, manual de microbiologia de alimentos, , 1995	Bureta, balança analítica e reagente
Clostridium	Embrapa, manual de microbiologia de alimentos, , 1995	Bureta, balança analítica e reagente
E. Coli	Embrapa, manual de microbiologia de alimentos, , 1995	Bureta, balança analítica e reagente

¹ TDS - Sólidos Dissolvidos Totais.

4.3 Terceira etapa

Para avaliar a variação da qualidade da água do aquífero ao longo do tempo, foram utilizados conceitos básicos de estatística, para definir quais seriam os melhores métodos de tratamento de dados. Devido à variação que ocorre nos resultados e ao número elevado de variáveis analisadas, optou-se por fazer análises estatísticas convencionais e multivariadas.

A análise multivariada envolve as áreas de Calibração Multivariada, Planejamento e Otimização de experimentos, classificação e ordenação Multivariada ((MARTENS e NAES, 1989)).

Na presente Tese, a Análise de Redundância (RDA) foi utilizada para tratar os dados obtidos nas análises microbiológicas e físico-químicas, de forma a avaliar a vulnerabilidade do aquífero à poluição causada pelo necrochorume.

Foram construídas duas matrizes para análise da água, uma contendo os parâmetros físico-químicos, composta por 115 amostras e 7 variáveis contínuas (alcalinidade, oxigênio dissolvido, dureza, ferro, TDS, DQO e DBO).

A segunda matriz contém os parâmetros de ordenamento para as 115 amostras; uma variável microbiológica (mesófilo), condutividade, pH, turvação e 14 variáveis discretas, sendo 3 locais (poços de monitoramento P1, P2, e P3 no cemitério de Valparaíso e 11 referentes aos períodos de coleta (2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 e 2018). A média de precipitação mensal por ano foi inserida como variável suplementar. Para testar a existência de relações significativas entre os parâmetros discretos e/ou microbiológicos com os parâmetros físico-químicos foram construídos modelos RDA com transformação logarítmica. As análises foram realizadas no programa CANOCO 5.1 (TER, SMILAUER , 2018).

4.4 Quarta etapa – caracterização física e química do solo

Para a caracterização física do solo ensaios geotécnicos (subitem 4.3) foram realizados seguindo o fluxograma da Figura 4.7. Essa etapa se divide em três fases. A primeira, representada pela cor laranja no fluxograma da Figura 4.7, ocorreu em campo, no Cemitério Jardim Metropolitano de Valparaíso. Nessa fase foram coletadas amostras em locais próximos aos poços de monitoramento 1 e 3 e no local onde serão instaladas novas tumulações, conforme a ABNT NBR 6457:2016. As amostras foram coletadas à profundidade de 0 a 30 cm, de 1 m e de 2 m. Foram coletadas amostras amolgadas e amostras indeformadas. Ainda nessa, foi realizado o ensaio de percolação, conforme a ABNT NBR 13.969:1997.

A segunda etapa está representada pela cor verde no fluxograma da Figura 4.7. Foi realizada no Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília. Nessa etapa realizou-se toda a caracterização física do solo. A umidade das amostras amolgadas e da amostra indeformada foi medida conforme procedimento da ABNT NBR 6457:2016. A amostra indeformada foi submetida de sucção e foi determinada a sua massa específica. Uma porção de 6 kg das amostras amolgadas foram separados e destorroados no almofariz. Desse total, 5 kg foram peneirados na peneira de abertura 4,8 mm de abertura e o total passante foi submetido ao ensaio de compactação com aproveitamento, conforme a ABNT NBR 7182:2016. O 1 kg de solo restante foi peneirado na peneira de 2 mm de abertura, a porção passante foi destinada aos ensaios determinação da umidade higroscópica, de granulometria por sedimentação (ABNT NBR 7181:2017), de peso específico aparente, de limites de liquidez e de plasticidade. A porção retida na peneira de abertura de 2 mm foi utilizada no ensaio de granulometria por peneiramento (ABNT (NBR 7181:2017).

A caracterização química do solo foi realizada por meio de dados obtidos em comunicação privada com a empresa SANEAGO e por análises químicas do solo realizadas no laboratório químico QUINOSAN.

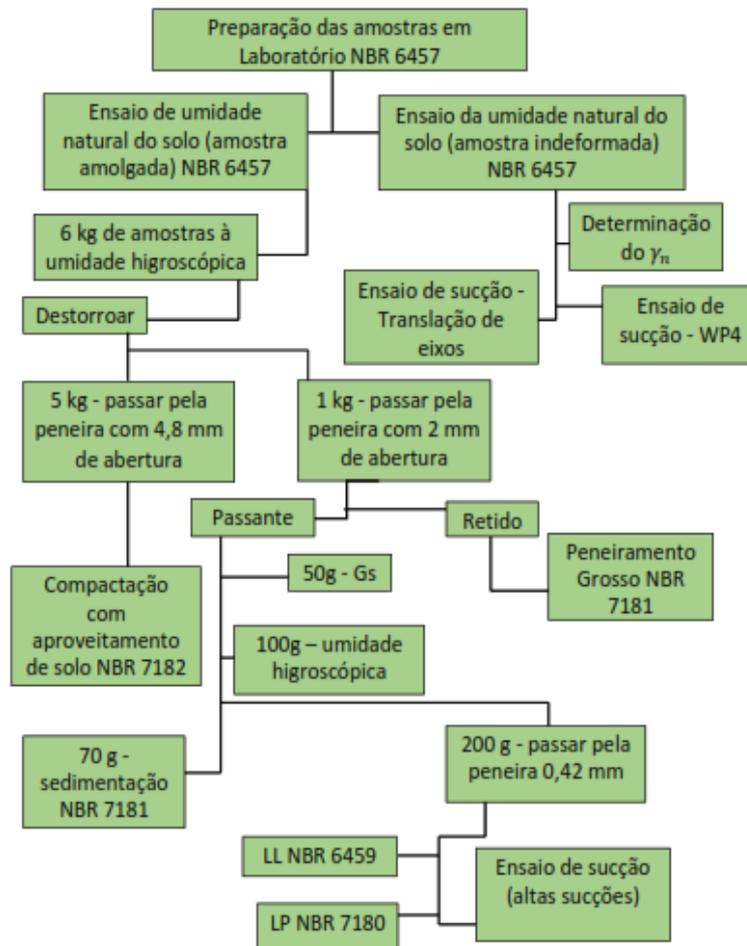
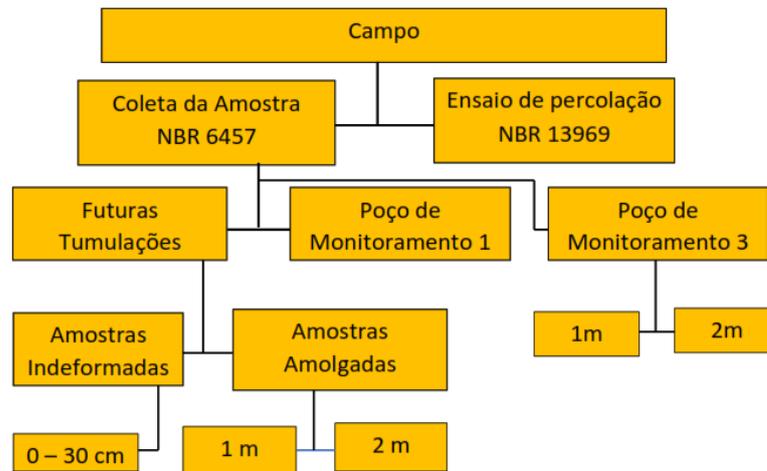


Figura 4.7- Fluxogramas de execução da caracterização física do solo do Cemitério Jardim Metropolitano de Valparaíso em campo e em laboratório.

4.4.1 Coleta de amostras e ensaio de percolação

Na fase laranja (Figura 4.7), foram coletadas amostras de solo em três pontos representativos da região: no local onde serão instaladas novas tumulações; próximo ao Poço de monitoramento 1 e próximo ao poço de monitoramento 3. No primeiro ponto, foi coletada uma amostra indeformada a uma profundidade de 0-30 cm (Figura 4.8), e três amostras amolgadas (solo solto) a uma profundidade de 0-30 cm, de 1 m e de 2 m. No segundo e no terceiro ponto foram coletadas apenas amostras amolgadas a 1 m e 2 m de profundidade.

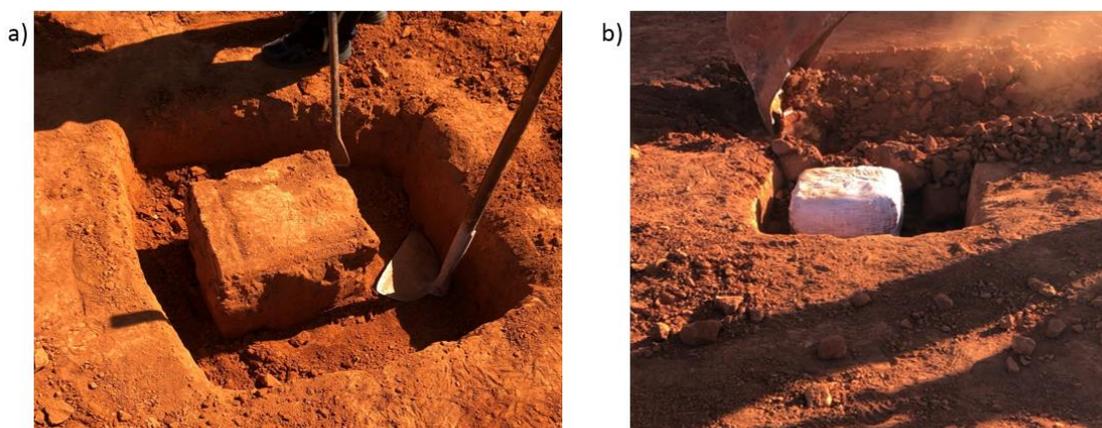


Figura 4.8- Amostra indeformada; a) durante a moldagem da amostra; b) amostra recoberta por filme e parafina para preservá-la com as mesmas características do campo.

Ainda na fase laranja, realizou-se o ensaio de percolação, seguindo a ABNT NBR. 13.969:1997. Foram escavadas 3 valas com dimensões 30 cm x 30 cm x 30 cm. Elas foram saturadas conforme a especificação da norma e depois foi possível verificar a taxa de percolação da água em 30 minutos para as três valas (Figura 4.9).

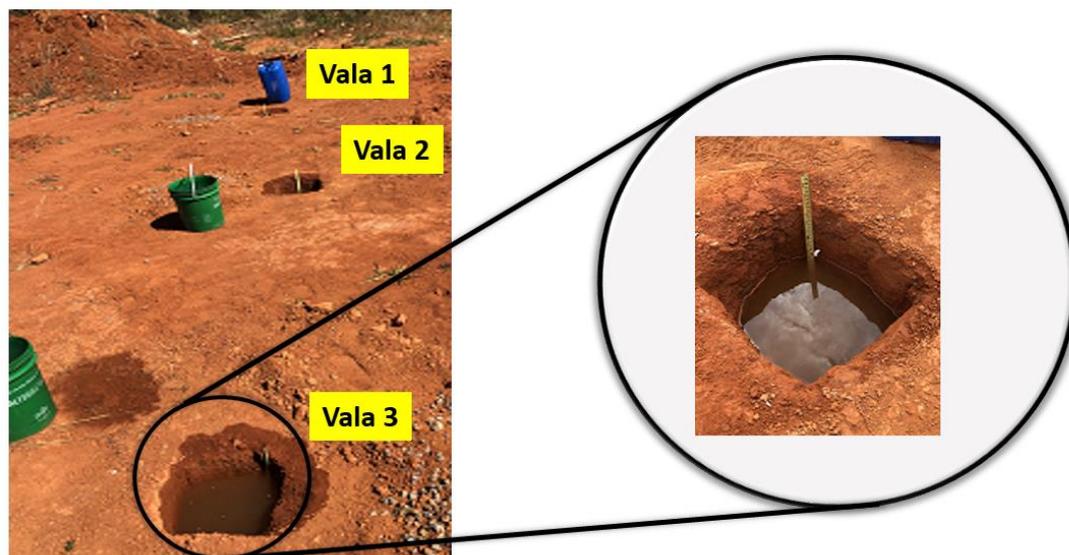


Figura 4.9- Ensaio de percolação da água no solo conforme a ABNT NBR 13969:1997.

4.4.2 Ensaio laboratoriais – amostras amolgadas

Na fase verde (Figura 4.7), iniciaram-se os ensaios de laboratório. Primeiramente, foram separadas três amostras de aproximadamente 30 g para encontrar a umidade natural do solo de cada ponto. O restante foi depositado em bandejas para que secassem à umidade higroscópica.

Primeiramente, uma pequena porção do solo à umidade higroscópica foi usada para encontrar o valor da umidade das amostras secas ao ar livre. Desse solo, separou-se 6 kg, que foi destorroado com almofariz, sendo 5 kg amolgados usados para o ensaio de compactação tipo proctor normal (Figura 4.10) com reuso de solo.



Figura 4.10 - Proctor normal e soquete pequeno.

O 1 kg restante das amostras amolgadas foi usado para os ensaios de granulometria, tendo sido ele peneirado (peneira de 2mm) e lavado, com submissão do material retido à estufa por mais de 24h. Após, foi encaminhado para o peneiramento grosso (Figura 4.11). Do solo passante, foram separados 70 g para a sedimentação (Figura 4.12) e posterior peneiramento fino (Figura 4.13). A sedimentação foi feita, inicialmente, seguindo os parâmetros da ABNT NBR 7181:2017, com defloculante e hexametáfosfato, e depois sem estes compostos (método não normativo). O objetivo de realizar essas duas análises está em comparar as curvas para verificar a semelhança – ou não – entre elas, admitindo-se a não semelhança como indício de que o solo está contaminado por produtos químicos com características semelhantes à do defloculante.

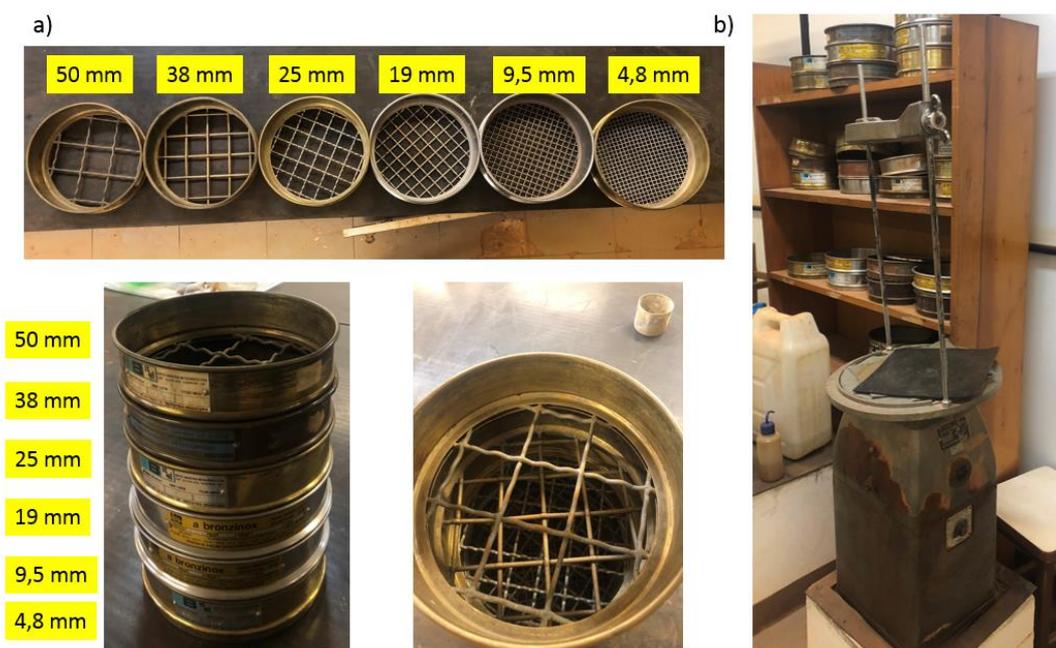


Figura 4.11- Granulometria a) Peneiras do peneiramento grosso b) Agitador mecânico para peneiramento.



Figura 4.12- Ensaio de granulometria da água no solo conforme a ABNT NBR 13969:1997.

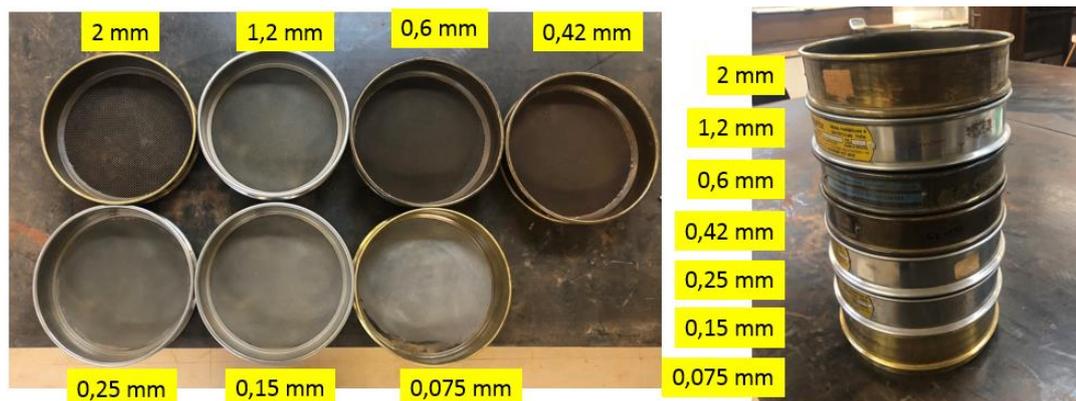


Figura 4.13- Granulometria - peneiramento fino.

Para encontrar os Limites de Liquidez, Limites de Plasticidade e Índice de Plasticidade, separou-se 200 g do solo passante na peneira 2 mm. Os ensaios foram realizados em conformidade com a ABNT NBR 6459:2017 e ABNT NBR 7180:2016, respectivamente (Figura 4.14).

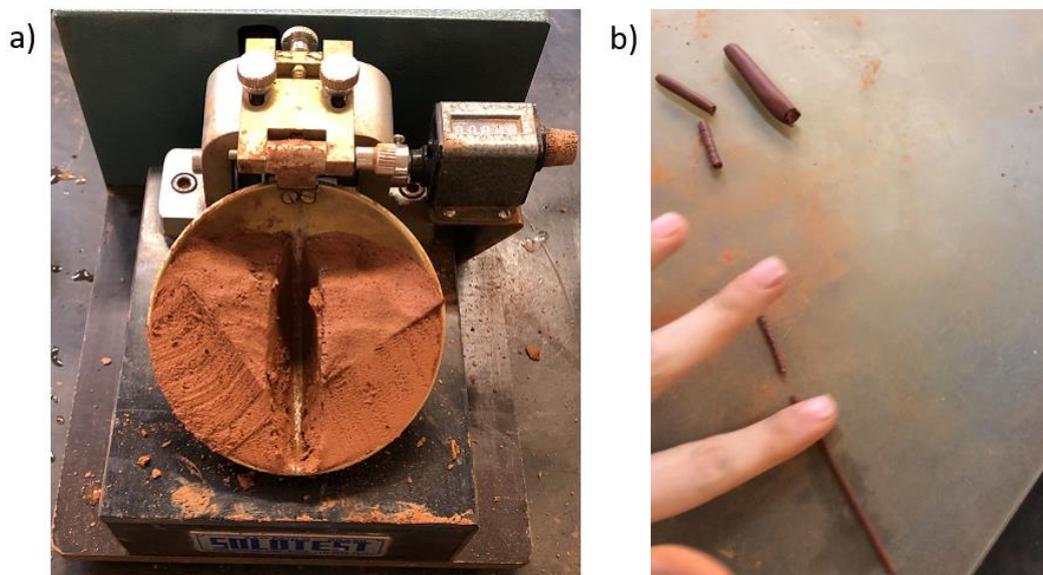


Figura 4.14 - a) Limite de liquidez; b) Limite de plasticidade.

Para determinar o peso específico aparente (G_s) escolheu-se o equipamento pentapicnômetro a gás modelo 5200e da fabricante Quantachrome (Figura 4.15), pela praticidade, rapidez e precisão que o equipamento entrega. Nele são colocadas amostras de solo destorroadas e secas em estufa, cuja massa é conhecida. O equipamento injeta hélio nas

cápsulas que contém o solo, e por meio do volume de hélio injetado, calcula o volume de solo presente na capsula e com o valor da massa como *input* no *software* do equipamento, calcula o peso específico aparente do solo.



Figura 4.15 - Pentapicnômetro – Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília

Foram ainda realizados ensaios de sucção nas amostras amolgadas para altas sucções, utilizando o equipamento WP4 (Figura 4.17).

4.4.3 Ensaios laboratoriais – amostras indeformadas

O primeiro ensaio realizado na amostra indeformada foi para calcular o peso específico natural, em que se retirou uma amostra cilíndrica do solo, cujas dimensões foram medidas com o paquímetro e o peso aferido em balança com precisão de 0,01g.

O segundo ensaio foi o de sucção, cujo objetivo é encontrar a curva de retenção do solo. A curva de sucção da amostra indeformada foi encontrada em duas etapas, a primeira etapa foi feita no equipamento de translação de eixos (Figura 4.16), para obter a curva de retenção para baixa sucção.

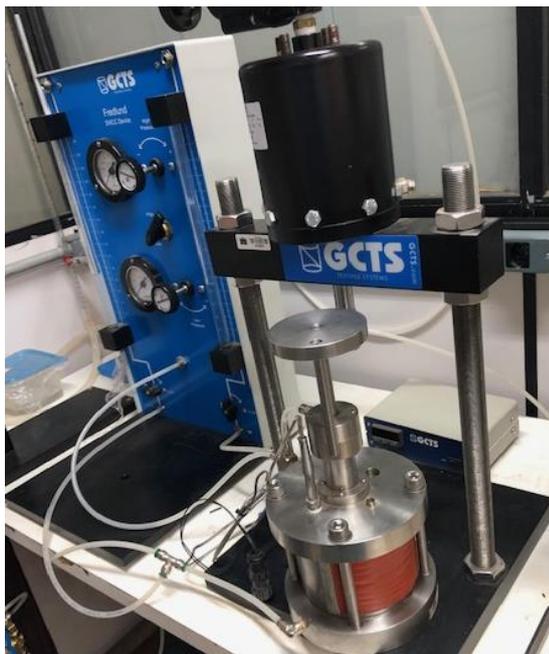


Figura 4.16- Ensaio Fredlund cell - Translação de eixos. Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília

A segunda etapa foi feita no equipamento WP4 (Figura 4.17), para encontrar a curva de retenção quando o solo é submetido a altas sucções. A mesma amostra usada no equipamento de translações de eixos foi usada no *WP4C Dewpoint Potentiometer Decagon Devices, Inc.*

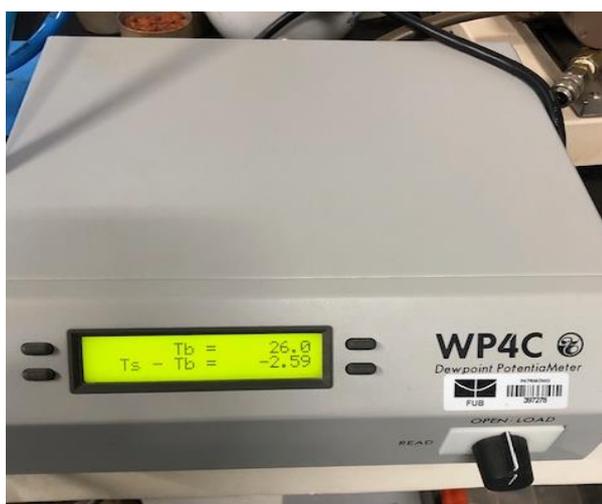


Figura 4.17- WP4C - mede o potencial hídrico determinando a umidade relativa. Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília.

5 RESULTADOS

5.1 Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas da água

Essa parte da pesquisa se destinou a analisar e expor estatisticamente os resultados referentes à qualidade da água dos aquíferos localizados abaixo do Cemitério Jardim Metropolitano de Valparaíso, com objetivo de identificar qual a sua influência sobre a qualidade da água.

Conforme indicado no item 4.2, os parâmetros analisados laboratorialmente nesta Tese foram: Alcalinidade, pH, Aspecto, Oxigênio, Fósforo, Condutividade, Manganês, DQO, Nitrogênio, Sabor, Cor, Dureza, Turbidez, Ferro, Cromo, DBO, Chumbo. Entretanto, os resultados de fósforo, manganês, nitrogênio, amônia e chumbo não serão objeto de análise estatística pois as quantidades encontradas são desprezíveis. Os resultados de Cor, EBC turbidez, odor, sabor também não serão analisados estatisticamente, pois a variação deles pouco influencia na qualidade da água de aquíferos, dado que são indicadores do aspecto da água, mais voltados para a avaliação de água potável.

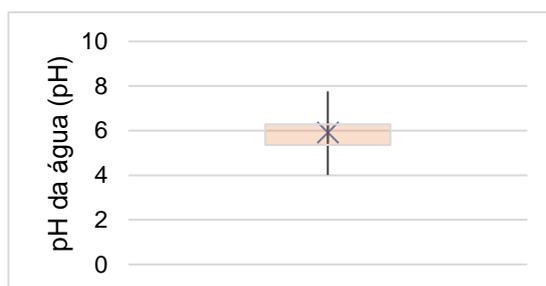
As análises serão apresentadas individualmente, de modo a facilitar a avaliação de possíveis correlações e a comparação da distribuição por região e durante todo o período analisado, buscando-se, desse modo, identificar possível tendência.

5.1.1 pH

Em relação ao pH da água, as medidas adotadas estão descritas na Tabela 5.1. O Boxplot da variável “pH da água” é o que consta da Figura 5.1:

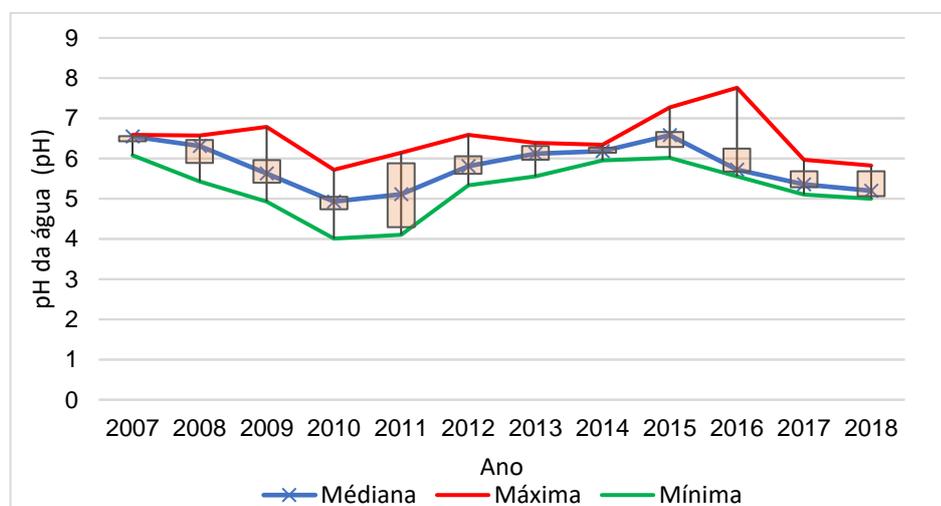
Tabela 5.1. pH da água.

MEDIDAS RESUMO	VALORES (pH)
Mínima	4,01
1º Quartil	5,36
Mediana	5,92
Média	5,79
3º Quartil	6,29
Máxima	7,76
Desvio padrão	0,69

**Figura 5.1** - Boxplot da variável pH da água para o período de 2007 a 2018.

Em relação ao pH, nota-se pela Tabela 5.1 que os valores estão entre 4,01 e 7,76. Observa-se na Figura 5.1, em virtude dos valores com alta variação, uma média (5,79) em relação à mediana (5,92) com pequena variação.

As medidas-resumo de pH por ano estão evidenciadas na Tabela A.1 (Apêndice A) e na Figura 5.2:

**Figura 5.2-** Variação do pH da água coletada entre 2007 e 2018. Limite normativo: $6 < \text{pH} < 9,5$.

Na Figura 5.2, nos anos de 2007 e 2011, observa-se uma queda no pH medido, voltando a níveis normais no ano de 2012. Entre 2012 e 2018 houve um pico de medição em 2015, voltando a cair após esse ano. Foram observados poucos pontos com alta variação.

A tendência ao longo dos anos da variável pH, será estudada através de um gráfico de linhas, com o intuito de entender o comportamento médio dos valores desta variável, ao passar dos anos.

Ao analisar o gráfico de linha da Figura 5.3, vê-se uma queda, em relação à média do pH da água, do ano de 2007 até o ano de 2011. Após esse período, o valor da média segue aumentando até o ano de 2015, em que tem o seu maior valor médio. Por fim, o pH médio da água volta a diminuir até o ano de 2018; porém, ainda permanece maior do que o valor de 2010.

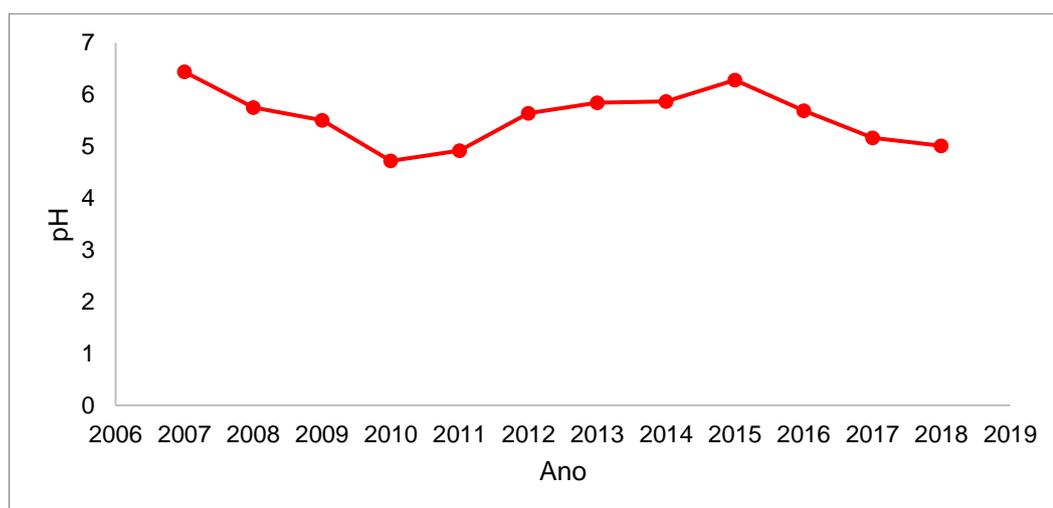


Figura 5.3 - Gráfico de linha para a variável pH. Limite normativo: $6 < \text{pH} < 9,5$.

Para analisar se há tendência nos dados, será utilizado o teste Cox-Stuart (Tabela 5.2). Observa-se, através da Tabela 5.2, que o p-valor obtido para a variável pH foi superior ao nível de significância de 0,05. Nesses casos, não há evidência estatística para rejeitar a hipótese nula. Não existe tendência ao longo dos anos.

Tabela 5.2. Teste Cox-Stuart para pH.

Variável	p-valor
Valparaíso	0,161

5.1.2 Alcalinidade

Das amostras coletadas, as medidas consideradas para alcalinidade da água estão descritas na Tabela 5.3. O Boxplot da variável “alcalinidade da água” é o que consta da Figura 5.4:

Tabela 5.3. Alcalinidade da água.

MEDIDAS RESUMO	VALORES (mg.L ⁻¹)
Mínima	3,79
1º Quartil	7,59
Mediana	11,38
Média	12,11
3º Quartil	15,18
Máxima	26,56
Desvio padrão	5,02

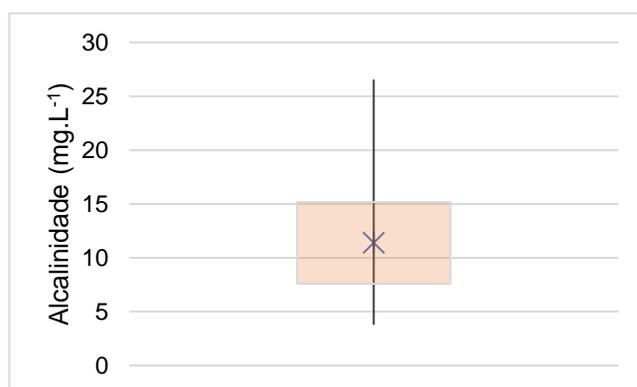


Figura 5.4- Boxplot da variável alcalinidade da água.

Os valores obtidos estão entre 3,79 e 26,56 para alcalinidade, como é possível ver na Tabela 5.3, com um desvio padrão de 5,02. Nota-se que, dos valores observados, 50% encontram-se entre 7,59 e 15,18. A Figura 5.4 ilustra a proximidade da média de 12,11 com a mediana de 11,38, sugerindo um comportamento de simetria. Nenhum valor discrepante foi observado.

As medidas-resumo de alcalinidade por ano estão evidenciadas na Tabela A.2 (Apêndice A) e na Figura 5.5:

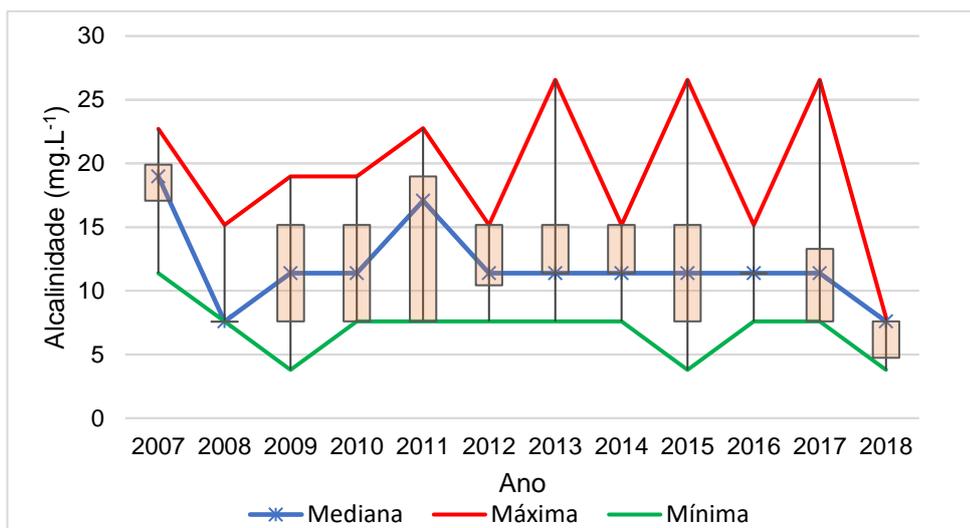


Figura 5.5- Variação de alcalinidade da água (por ano) (2007-2018). Limite normativo: Alcalinidade <math> < 500\text{mg.L}^{-1}</math>

Em geral, como é visto na Figura 5.5, não parece haver nenhuma forte tendência para alcalinidade ao longo dos anos, apesar de ter ocorrido uma diminuição no ano de 2018, fenômeno também observado no ano de 2008 e de 2011. No ano de 2015, foi observada a maior variação entre o mínimo (3,79) e o máximo (26,56), o maior desvio padrão foi visto em 2011, de 6,71

Assim como se procedeu em relação ao pH, para analisar a tendência ao longo dos anos da variável Alcalinidade, será utilizado um gráfico de linhas (Figura 5.6). O intuito é entender o comportamento médio dos valores desta variável, com o passar dos anos.

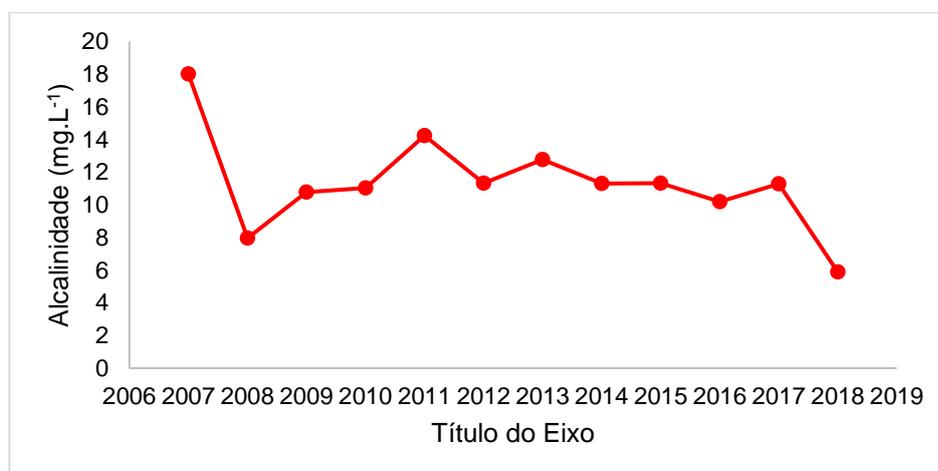


Figura 5.6- Gráfico de linha para a variável Alcalinidade. Limite normativo: Alcalinidade <math> < 500\text{mg.L}^{-1}</math>

Observando o gráfico de linha, percebe-se que há uma grande queda na média do ano de 2007 para 2008, e um aumento até o ano de 2010. Logo após esse período, há novamente uma queda no ano de 2011; porém, tendo um aumento nas médias até o ano de 2017, em que a maior média nesse período é no ano de 2013. Por fim, de 2017 para 2018, há novamente uma grande queda na média dos valores da variável Alcalinidade.

Com isso, para analisar se há tendência nos dados, será utilizado o teste CoxStuart (Tabela 5.4). As hipóteses do teste seguem abaixo:

- H_0 : Não existe tendência
- H_1 : Existe tendência

Por meio da Tabela 5.4, e utilizando um nível de significância de 0,05, vê-se que o p-valor obtido para a variável Alcalinidade foi superior ao nível de significância. Logo, para alcalinidade, não há evidências estatísticas para rejeitar a hipótese nula, ou seja, não existe tendência ao longo dos anos.

Tabela 5.4. Teste Cox-Stuart para alcalinidade

Variável	p-valor
Valparaíso	0,309

5.1.3 Concentração de oxigênio

Quanto à concentração de O₂ nas amostras analisadas, as medidas adotadas estão descritas na Tabela 5.5. O Boxplot da variável “concentração de O₂” é o que consta da Figura 5.7:

Tabela 5.5. Concentração de O₂.

MEDIDAS RESUMO	VALORES (mg.L ⁻¹)
Mínima	0,12
1º Quartil	3,94
Mediana	5,08
Média	4,93
3º Quartil	6,04
Máxima	9,98
desvio padrão	1,70

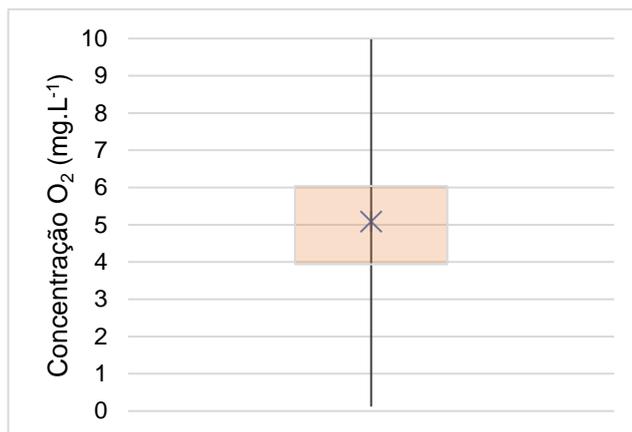


Figura 5.7 – Boxplot da variável concentração de O₂ dissolvido.

Na observação da Tabela 5.5, conclui-se que metade dos valores estão entre 3,94 e 6,04, região definida pelos quartis. Os valores de média e mediana estão bem próximos, sendo 5,08 e 4,93 respectivamente. Apenas um valor discrepante foi observado, correspondente ao valor de máximo da Tabela 5.5: 9,98

As medidas-resumo de concentração de oxigênio por ano estão evidenciadas na Tabela A.3 (Apêndice A) e na Figura 5.8:

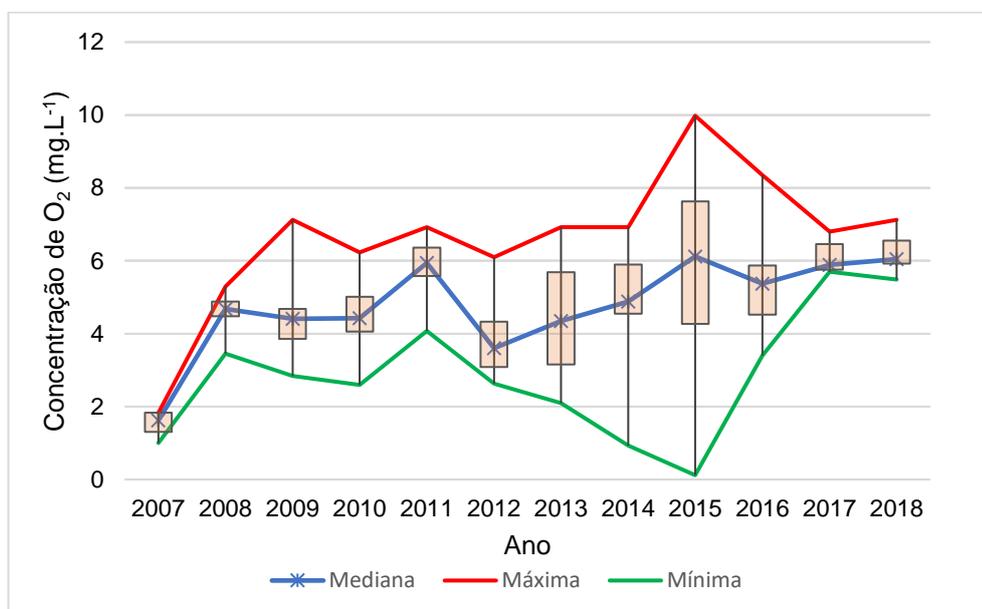


Figura 5.8- Variação da concentração de O₂ (por ano) (2007-2018). Limite normativo: Oxigênio >6mg.L⁻¹.

Na Figura 5.8, percebe-se que os valores mais baixos ocorrem em 2007; após essa data, os dados mostram uma aparente tendência de aumento. Em 2015, foi observada uma grande variabilidade dos dados. Há poucos pontos discrepantes.

Assim como se procedeu em relação ao pH e à alcalinidade, para analisar a tendência ao longo dos anos da variável concentração de O₂, utilizou-se um gráfico de linhas (Figura 5.9). O intuito é entender o comportamento médio dos valores desta variável, com o passar dos anos.

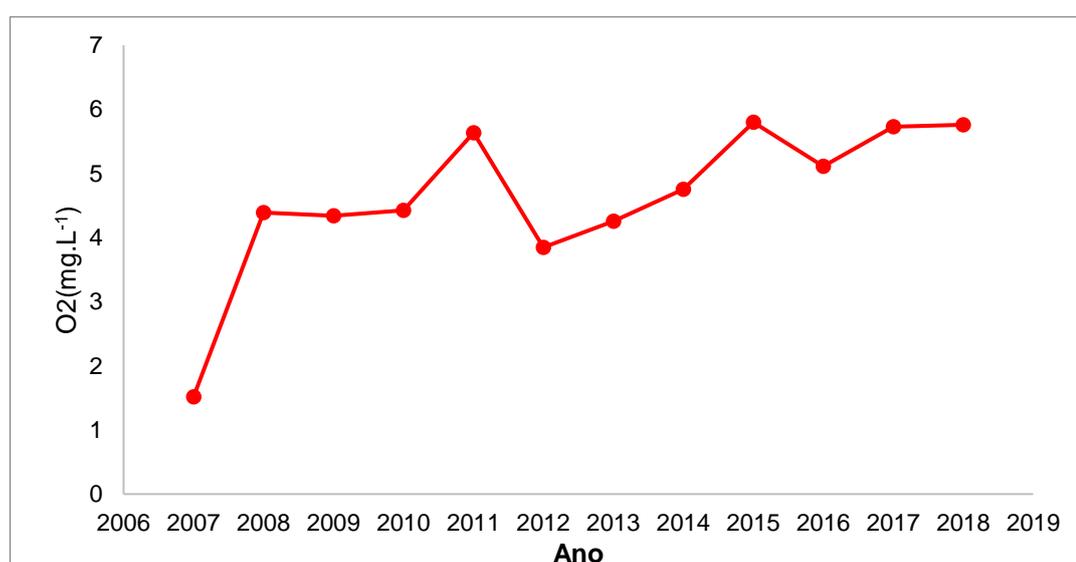


Figura 5.9- Gráfico de linha para a variável concentração de O₂. Limite normativo: Oxigênio >6mg.L⁻¹.

O gráfico de linha (Figura 5.9) mostra que a concentração de O₂ média tem um aumento de um valor inferior a 2 no ano de 2007, para valores superiores a 4 nos anos subsequentes. Assim, novamente, para analisar se há tendência nos dados, será utilizado o teste CoxStuart (Tabela 5.6).

Por meio da Tabela 5.6, com um nível de significância de 0,05, tem-se que o p-valor obtido para a variável Concentração de O₂ foi inferior ao nível de significância. Há evidências estatísticas para rejeitar a hipótese nula, ou seja, há tendência na variável ao longo dos anos.

Tabela 5.6. Teste Cox-Stuart para concentração de O₂

Variável	P-valor
Valparaíso	< 0,001

5.1.4 Condutividade

Quanto à condutividade da água nas amostras analisadas, as medidas adotadas estão descritas na Tabela 5.7. O Boxplot da variável “condutividade da água” é o que consta da Figura 5.10.

Tabela 5.7. Condutividade da água.

MEDIDAS RESUMO	VALORES (μS)
Mínima	4,50
1º Quartil	16,94
Mediana	23,10
Média	24,23
3º Quartil	30,48
Máxima	70,50
Desvio padrão	11,40

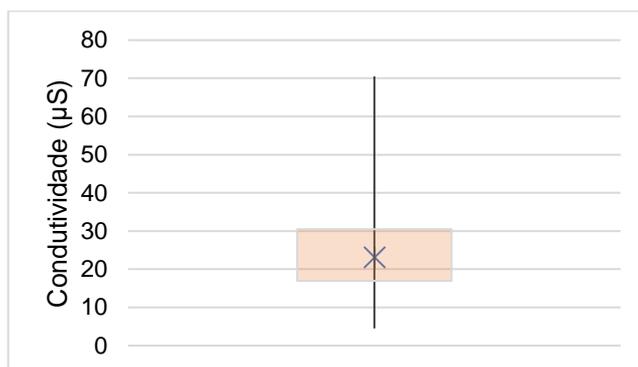


Figura 5.10- Boxplot da variável condutividade da água.

Nos resultados obtidos em relação à condutividade, foram observados valores entre 4,5 e 70,50. Apesar da grande amplitude de valores, a média foi de 24,23, um pouco acima da mediana de 23,10. Parte dessa diferença é explicada pelas variações dos valores superiores.

As medidas-resumo de condutividade por ano estão evidenciadas na Tabela A.4 (Apêndice A) e Figura 5.11:

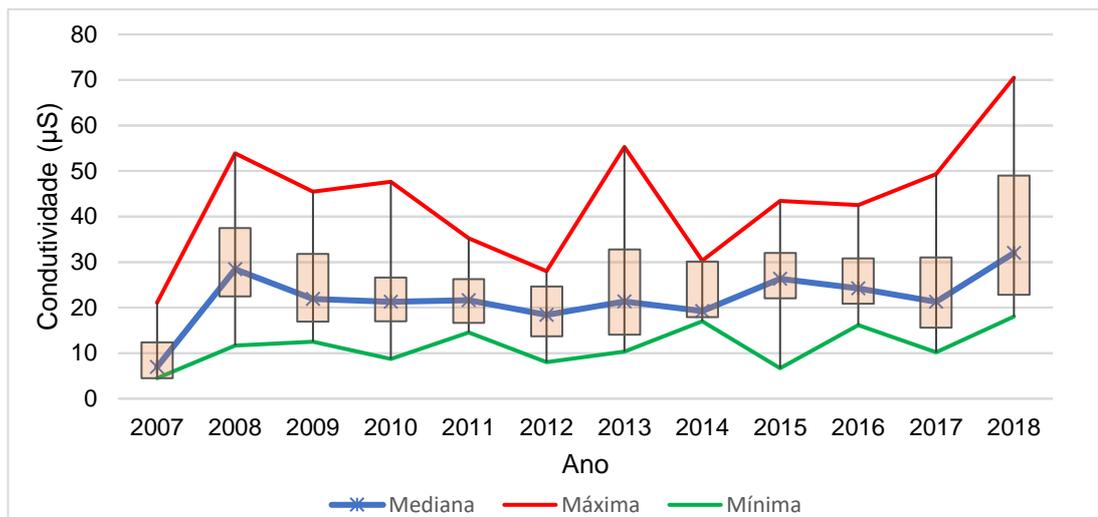


Figura 5.11- Boxplot da variável concentração de Condutividade (por ano) (2007-2018). Limite normativo: Condutividade, não especificado.

No último ano em estudo (2018), foi observada uma grande variabilidade nas medições de condutividade; além disso, esse foi também o ano com o maior valor de média (32,85) e o maior desvio padrão (22,91). Os anos após 2007 foram todos muito similares, apresentando valores de média e mediana relativamente próximos, com exceção do ano de 2018, em que houve um aumento.

Da mesma forma que se procedeu anteriormente, para analisar a tendência ao longo dos anos da variável condutividade será utilizado um gráfico de linhas (Figura 5.12). O intuito é entender o comportamento médio dos valores desta variável, com o passar dos anos.

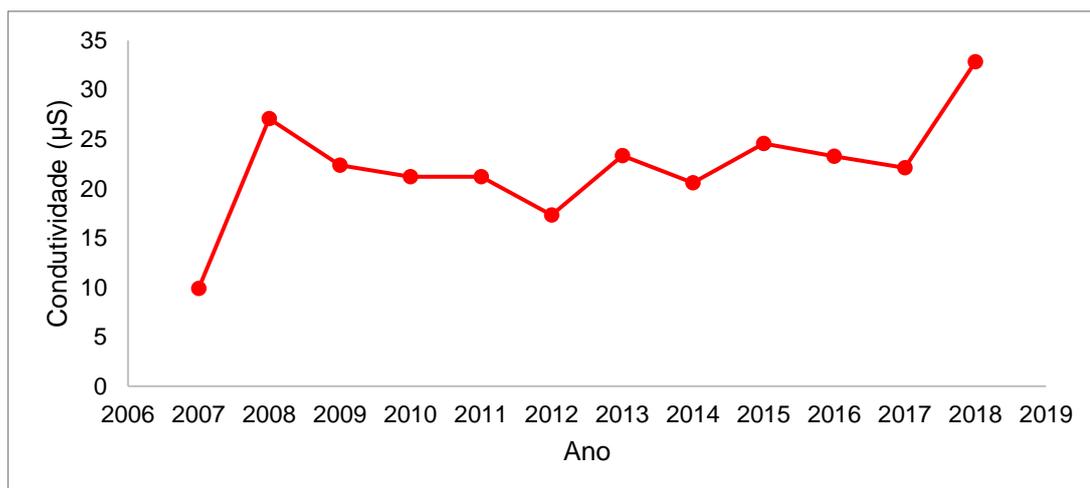


Figura 5.12- Gráfico de linha para a variável condutividade. Limite normativo: Condutividade, não especificado.

Observando o gráfico de linha, evidencia-se que a Condutividade média tem um aumento no valor superior a 20 no ano de 2007, para valores inferiores a 30 nos anos até 2017; porém, com um leve aumento no ano de 2018, para valor próximo a 35. Com isso, para analisar se há tendência nos dados, será utilizado o teste CoxStuart (Tabela 5.8).

Por meio da Tabela 5.8, é possível verificar que o p-valor obtido para a variável Condutividade foi superior ao nível de significância. Isso quer dizer que, para esses casos, não há evidência para rejeitar a hipótese nula, ou seja, não existe tendência ao longo dos anos.

Tabela 5.8. Teste Cox-Stuart para condutividade

Variável	p-valor
Valparaíso	0,101

5.1.5 Dureza

Quanto à dureza nas amostras analisadas, as medidas adotadas estão descritas na Tabela 5.9. O Boxplot da variável “dureza” é o que consta da Figura 5.13:

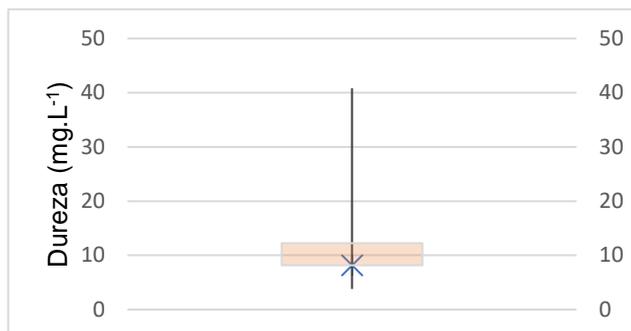


Figura 5.13- Boxplot da variável dureza.

Tabela 5.9. Dureza.

MEDIDAS RESUMO	Valores (mg.L ⁻¹)
Mínima	3,79
1º Quartil	8,16
Mediana	8,16
Média	10,42
3º Quartil	12,24
Máxima	40,82
desvio padrão	6,29

Para a variável dureza da água, há valores iguais para a mediana e para o 1º Quartil (8,16), sendo um comportamento anormal para variáveis quantitativas. Foram observados valores superiores, sendo o máximo igual a 40,82.

As medidas-resumo de dureza por ano estão evidenciadas na Tabela A.5 (Apêndice A) e Figura 5.14:

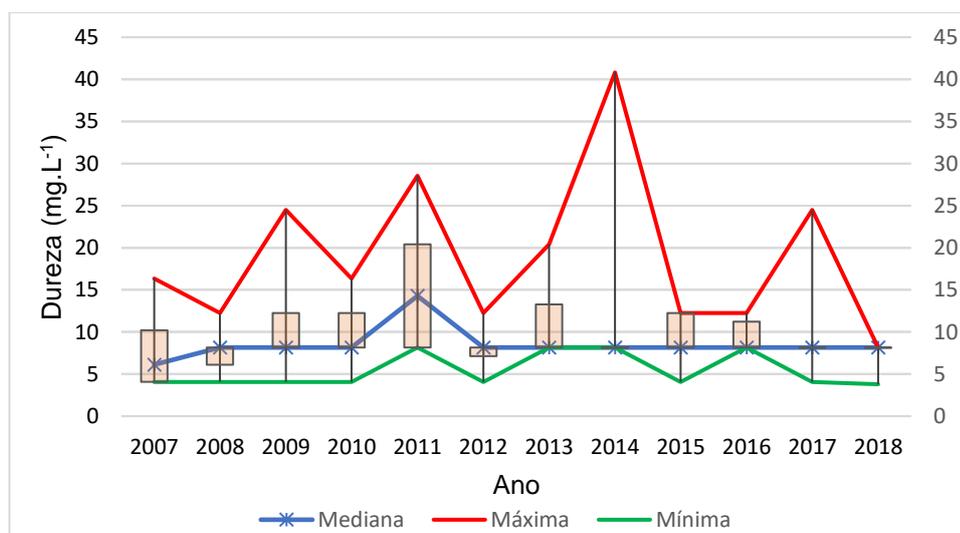


Figura 5.14- Variável dureza (por ano) (2007-2018). Limite normativo dureza: dureza <500mg.L⁻¹.

Pela Figura 5.14e a Tabela A.5 (Apêndice A), percebe-se que o ano que apresentou a maior mediana foi 2011, com 14,29; e também, aquele que apresentou a maior média foi o ano de 2011, com 14,36. Além disso, ao observar a Figura 5.14, fica evidente que os anos parecem apresentar comportamentos muito semelhantes, sem existir nenhuma evidência clara de tendência em nenhum desses períodos.

Assim como se procedeu anteriormente, para analisar a tendência ao longo dos anos da variável dureza será utilizado um gráfico de linhas (Figura 5.15). O intuito é entender o comportamento médio dos valores desta variável, com o passar dos anos.

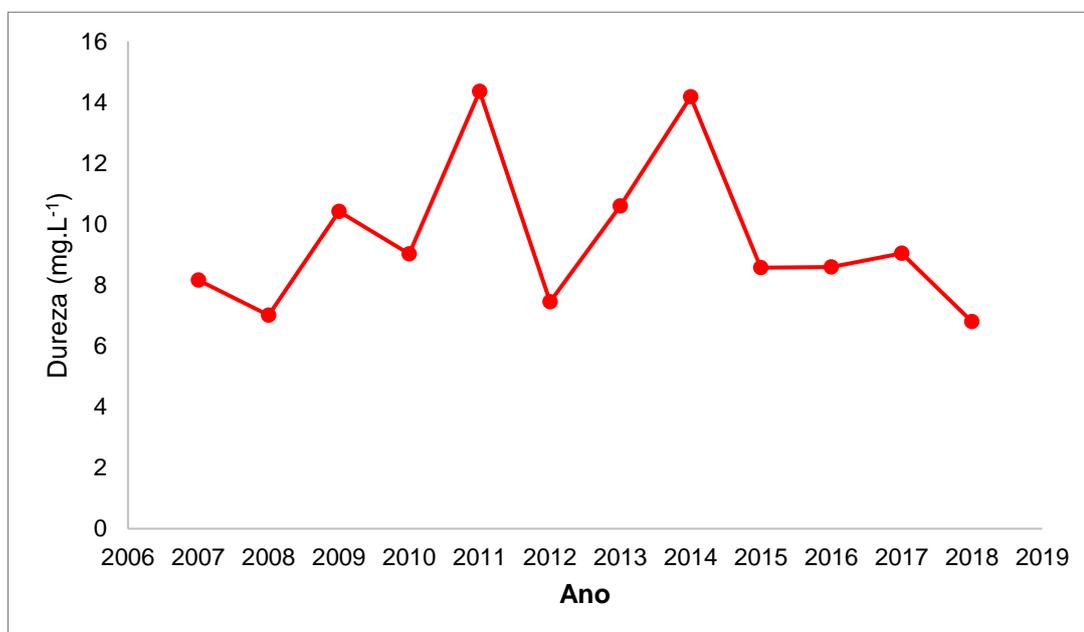


Figura 5.15- Gráfico de linha para a variável dureza. Limite normativo dureza: dureza <500mg.L⁻¹.

A Figura 5.15 mostra que a variável dureza apresenta três picos de valores médios, sendo eles nos anos de 2009, 2014 e 2018, sendo que o maior valor médio apresentado se encontra no ano de 2014, valor que é superior a 14. Ocorreram quedas nos anos de 2007 para 2008, 2009 para 2012 e 2014 para 2015.

Será usado o teste Cox-Stuart, para verificar a tendência dos dados (Tabela 5.10).

Tabela 5.10. Teste Cox-Stuart para dureza

Variável	p-valor
Valparaíso	0,364

O p-valor de 0,364, da Tabela 5.10 para a variável Dureza foi superior ao nível de significância. Então não há evidência estatística para rejeitar a hipótese nula, ou seja. Não existe tendência ao longo dos anos.

5.1.6 Concentração de ferro

Quanto à concentração de ferro na água nas amostras analisadas, as medidas adotadas estão descritas na Tabela 5.11. O boxplot da variável “Concentração de ferro” é o que consta da Figura 5.16:

Tabela 5.11. Concentração de ferro

MEDIDAS RESUMO	VALORES (mg.L ⁻¹)
Mínima	0,06
1º Quartil	0,21
Mediana	0,35
Média	0,76
3º Quartil	0,76
Máxima	7,89
desvio padrão	1,23

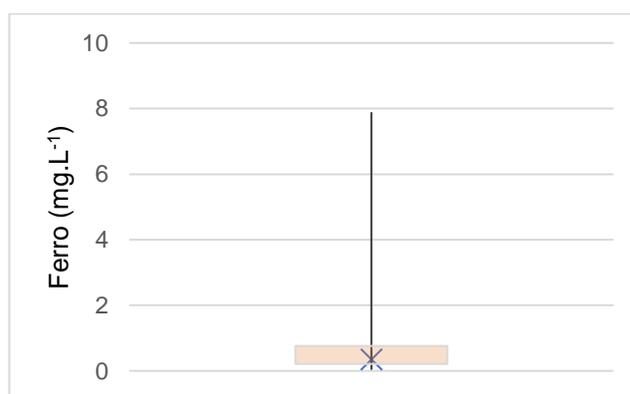


Figura 5.16- Boxplot da variável Concentração de ferro.

Analisando a Tabela 5.11 e a Figura 5.16, observa-se que os valores da variável concentração de ferro variam entre 0,06 (mínimo) e 7,89 (máximo).

Sendo que 50% destes estão no intervalo entre 0,21 e 0,74. Tem-se também que a média e a mediana possuem valores relativamente próximos, sendo, respectivamente, 0,76 e 0,35. Assim como na variável anterior, há muitos valores discrepantes.

As medidas-resumo de concentração de ferro por ano estão evidenciadas na Tabela A.7 (Apêndice A) e na Figura 5.17:

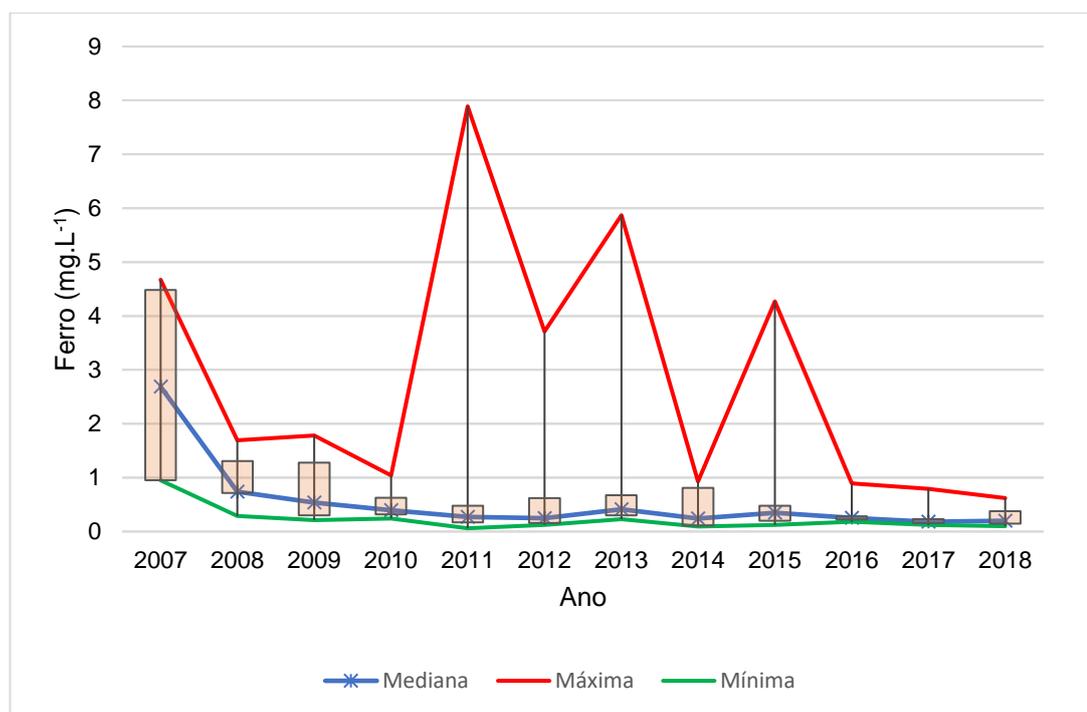


Figura 5.17- A variável concentração de ferro (por ano) (2007-2018). Limite normativo: Ferro <math><0,3\text{mg.L}^{-1}</math>.

Comparando os resultados para a concentração de ferro ao longo dos anos, tem-se uma grande queda do valor médio do ano de 2007 para o ano de 2008, seguida por uma nova queda, dessa vez não tão drástica, até o ano de 2011. Após isso, as médias se tornam todas próximas, voltando a ter uma pequena queda no ano de 2016 a 2018.

O ano de 2007 apresenta valores mais elevados em comparação aos anos seguintes e, conseqüentemente, a maior média: 3,55, que é um pouco abaixo da mediana (4,3), devido à presença de um valor inferior, igual a 0,95, valor de mínimo desse ano. As médias dos anos de 2015, 2016 e 2017 também sofreram a influência de valores distantes, sendo todas elas maiores que o 3º Quartil de seus respectivos anos.

Assim como se procedeu anteriormente, para analisar a tendência ao longo dos anos da variável concentração de ferro será utilizado um gráfico de linhas (Figura 5.18). O intuito é entender o comportamento médio dos valores desta variável, com o passar dos anos.

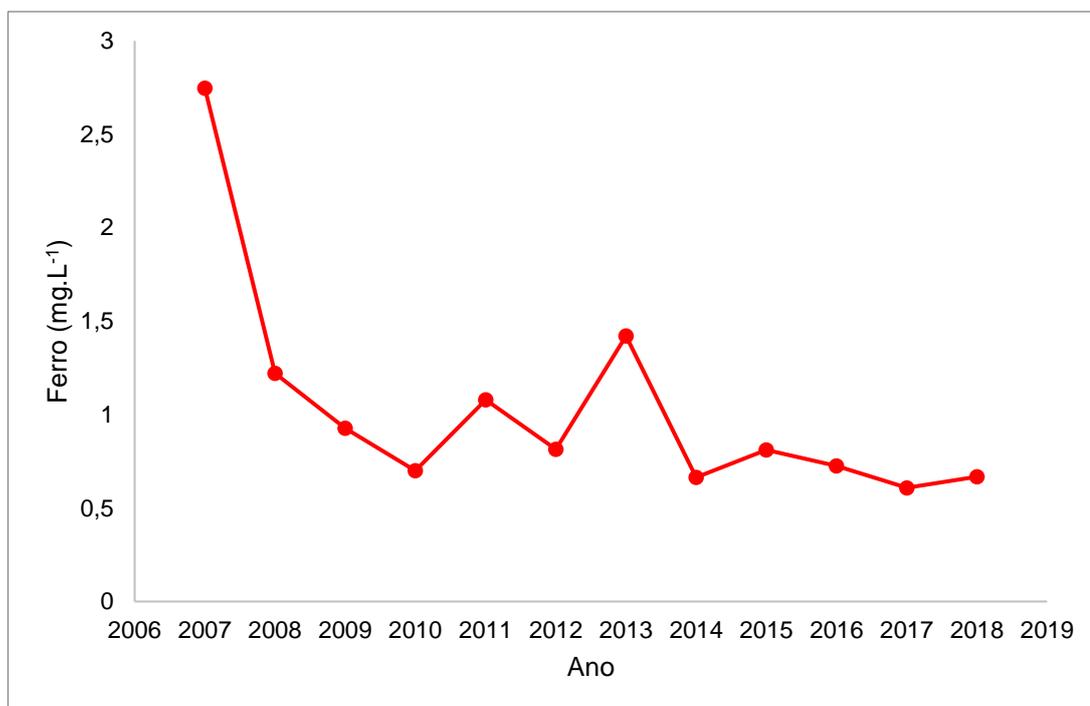


Figura 5.18- Gráfico de linha para a variável concentração de ferro. Limite normativo: Ferro <0,3mg.L⁻¹.

Através da Figura 5.18, vê-se que a média dos valores da concentração de ferro tem uma queda de um valor superior a 3 no ano de 2007 para valores inferiores a 1 nos anos subsequentes.

Com um nível de significância de 0,05, a Tabela 5.12 mostra que: o p-valor obtido para a variável Concentração de ferro foi muito inferior ao nível de significância. Há evidência estatística para rejeitar a hipótese H_0 , ou seja, há tendência na variável ao longo dos anos.

Tabela 5.12. Teste Cox-Stuart para concentração de ferro.

Variável	p-valor
Valparaíso	< 0,001

5.1.7 Sólidos dissolvidos totais

Quanto à presença de sólidos dissolvidos totais nas amostras analisadas, as medidas adotadas estão descritas na Tabela 5.13. O boxplot da variável “Sólidos dissolvidos totais” consta da Figura 5.19:

Tabela 5.13. Sólidos dissolvidos totais

MEDIDAS RESUMO	VALORES (mg.L ⁻¹)
Mínima	6,10
1º Quartil	14,29
Mediana	19,88
Média	20,61
3º Quartil	26,00
Máxima	51,30
desvio padrão	8,65

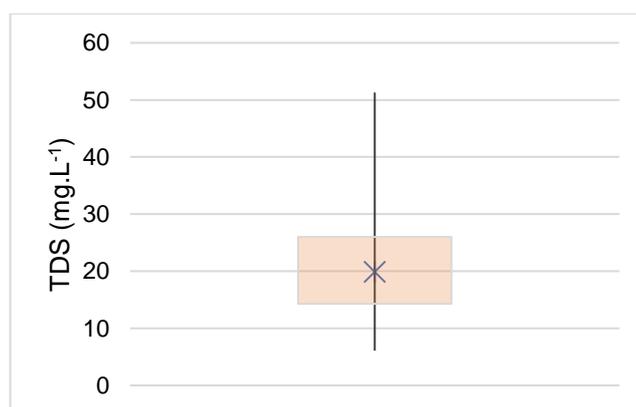


Figura 5.19- Boxplot da variável Sólidos dissolvidos totais.

Para a variável sólidos dissolvidos totais, de acordo com a Tabela 5.13 e a Figura 5.19, os valores encontram-se entre 6,10 e 51,30. Para a média e mediana, os valores observados foram, respectivamente, 20,61 e 19,88.

As medidas-resumo de concentração de sólidos dissolvidos totais estão evidenciadas na Tabela A.8 (Apêndice A) e na Figura 5.20:

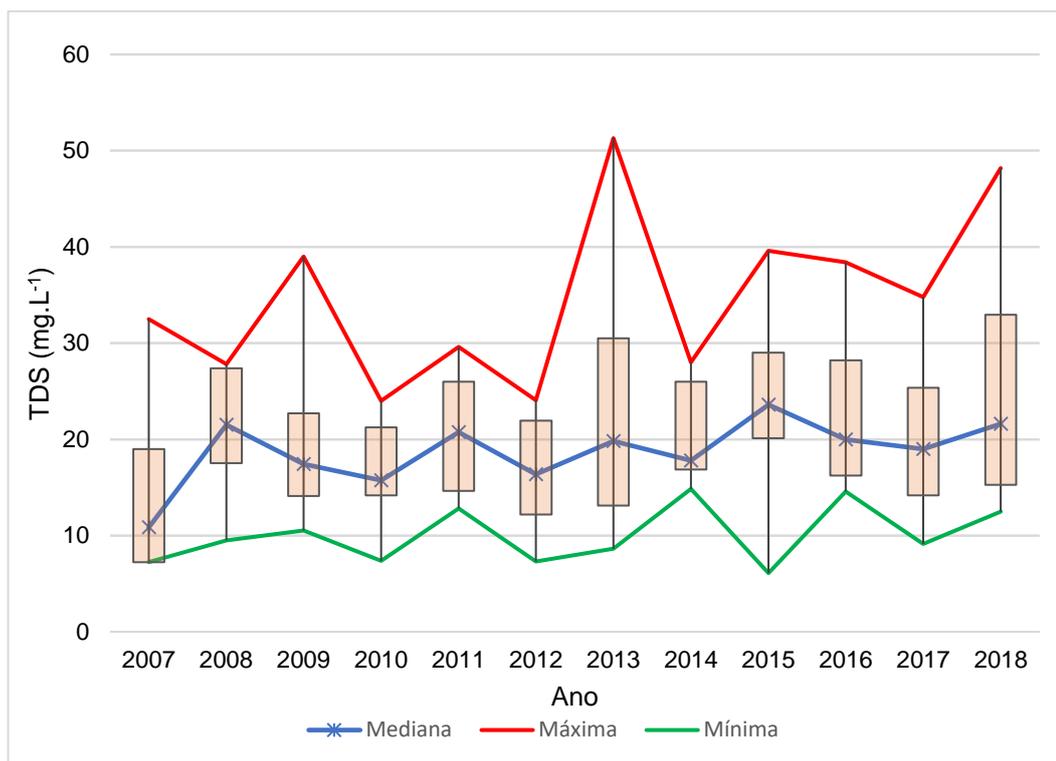


Figura 5.20- Variação dos sólidos dissolvidos totais (por ano) (2007-2018). Limite normativo: sólidos dissolvidos totais <math><1000 \text{ mg.L}^{-1}</math>

Ao analisar a Tabela A.8 (Apêndice A) e a Figura 5.20 para sólidos dissolvidos totais por ano, tem-se que o ano de 2015 aparece com valores superiores aos anos seguintes, tendo média igual a 22,69, valor mínimo de 6,10 e máximo de 39,60. Após esse ano, as médias apresentam uma queda: a maior é igual a 6,10, do ano de 2015.

Os valores médios têm uma pequena variação do ano de 2008 para o de 2013. O ano de 2013 apresenta um aumento também no seu valor de desvio padrão, fato esse resultante da grande amplitude dos valores, já que o mínimo é de 6,10 e o máximo é 51,3.

Assim como se procedeu anteriormente, para analisar a tendência ao longo dos anos da variável sólidos totais dissolvidos será utilizado um gráfico de linhas (Figura 5.21). O intuito é entender o comportamento médio dos valores desta variável, com o passar dos anos.

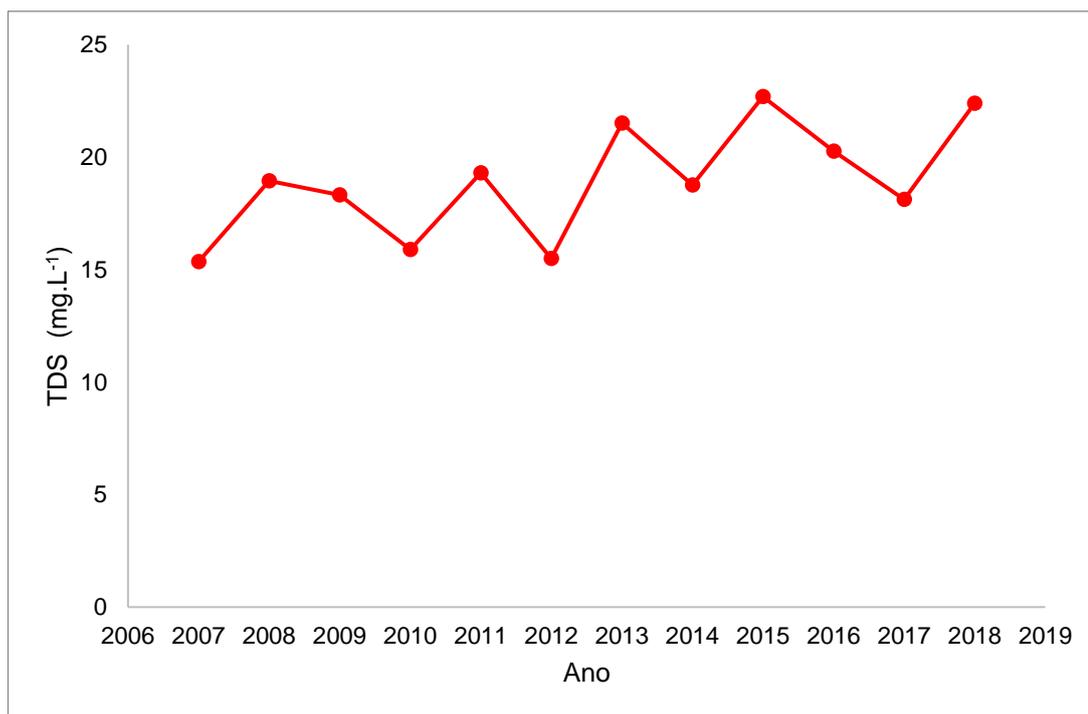


Figura 5.21- Gráfico de linha para a variável sólidos dissolvidos totais. Limite normativo: sólidos dissolvidos totais <1000 mg.L⁻¹.

Observando o gráfico de linha, observa-se que a média dos valores da Sólidos dissolvidos totais, assim como em alguns casos vistos anteriormente, tem uma queda de um valor superior a 100 no ano de 2007 para valores inferiores a 25 nos anos subsequentes, sendo o menor valor correspondente ao ano de 2018. Para analisar se há tendência nos dados, também será usado o teste Cox-Stuart (Tabela 5.14).

Tabela 5.14. Teste Cox-Stuart para sólidos dissolvidos totais

Variável	p-valor
Valparaíso	0,336

Através da Tabela 5.14, e nível de significância de 0,05, observa-se que o p-valor obtido para a variável Sólidos dissolvidos totais foi superior ao nível de significância. Para esses casos, não há evidências estatísticas para se rejeitar a hipótese nula, ou seja, não existe tendência ao longo dos anos.

5.1.8 DQO

Quanto à variável DQO nas amostras analisadas, as medidas adotadas estão descritas na Tabela 5.15: O Boxplot dessa variável consta da Figura 5.22:

Tabela 5.15. DQO.

MEDIDAS RESUMO	Valores (mg.L ⁻¹)
Mínima	0,70
1º Quartil	3,93
Mediana	5,13
Média	5,34
3º Quartil	6,49
Máxima	21,00
desvio padrão	2,61

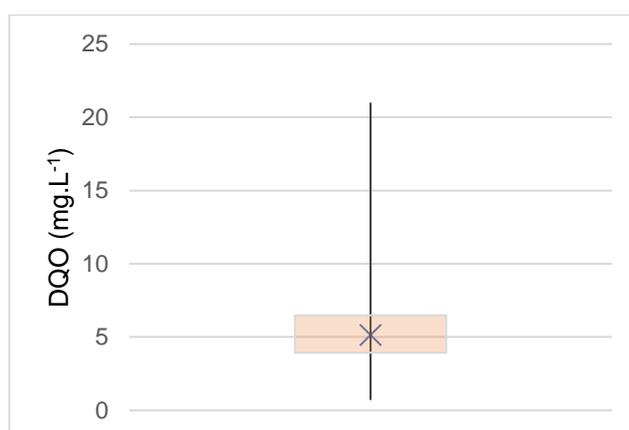


Figura 5.22- Boxplot da variável DQO.

Com as informações acima, vê-se que, enquanto todos os valores estão entre 0,12 e 9,98, metade deles estão contidos entre 0,70 (mínimo) e 21,00 (máximo). A média e a mediana são muito próximas, com valores iguais a, respectivamente, 5,34 e 5,13. Além disso, é possível notar que a parte inferior da Figura 5.22 (intervalo entre o 1º quartil e mediana), apresenta maior dispersão das informações do que a parte superior (mediana até o 3º quartil).

As medidas-resumo de DQO por ano estão evidenciadas na Tabela A.9 (Apêndice A) e na Figura 5.23:

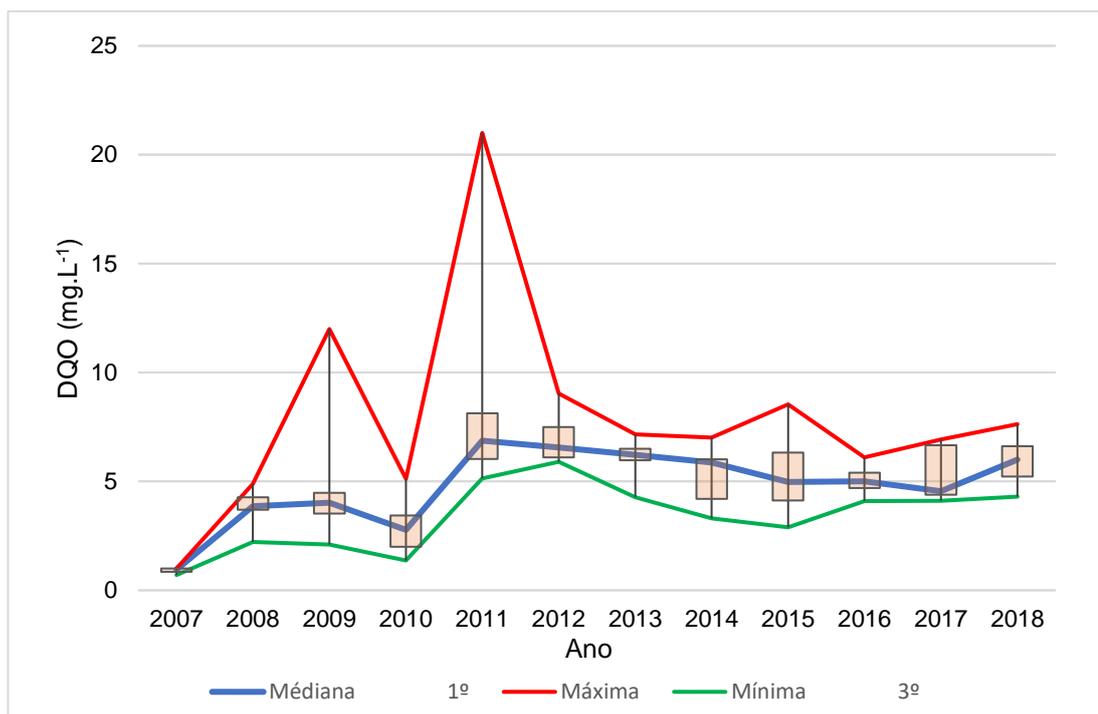


Figura 5.23- Variável DQO (por ano) (2007-2018). Limite normativo: DQO < 3,69mg.L⁻¹.

Pode-se, ainda, considerar que o fato da média ser aproximadamente igual à mediana mostra que, mesmo com muitos valores altos, a variável apresentou um comportamento de simetria. A partir do ano de 2012, observa-se que os valores médios passam a ter uma queda até 2015, em que somente os anos de 2016 e 2018 possuem valores de média e mediana próximos. Já o restante sofreu alterações no valor da média devido à presença de valores de mínimo e máximo muito distantes. Os anos de 2014 e 2015 se encaixam no caso explicitado e apresentam, respectivamente, mínimos iguais a 3,40 e 5,49, e máximos iguais a 8,35 e 7,12.

Por meio do gráfico de linha das médias da variável DQO (Figura 5.24), observa-se entre 2007 um grande crescimento até 2012 (com queda considerável em 2010); porém, ocorreu uma queda a partir desse ano. O ano de 2012 apresenta o maior valor médio, sendo esse superior a 6.

Pelo teste Cox-Stuart para um nível de significância de 0; 05, repara-se que o p-valor obtido para a variável DQO, foi igual a 0,016, inferior ao nível de significância. Isto é, há evidência estatística para rejeitar a hipótese nula, ou seja, há tendência na variável ao longo dos anos.

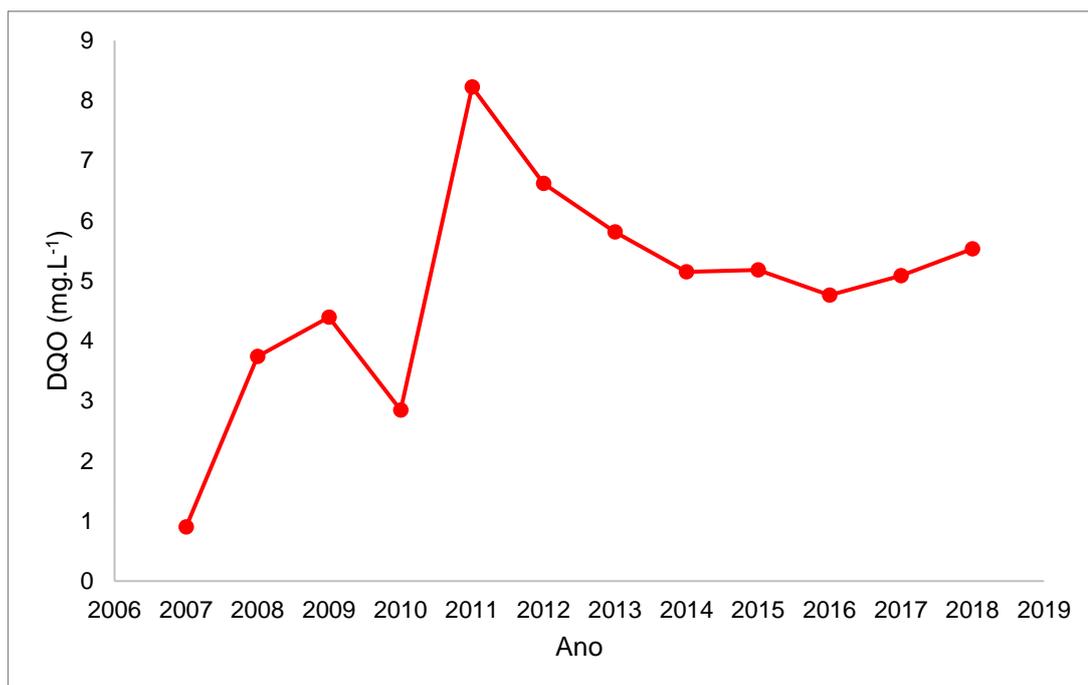


Figura 5.24- Gráfico de linha para a variável DQO. Limite normativo: DQO <3,69mg.L⁻¹.

5.1.9 DBO

Quanto à variável DBO nas amostras analisadas, as medidas adotadas estão descritas na Tabela 5.16. O Boxplot dessa variável consta na Figura 5.25.

Tabela 5.16. DBO.

MEDIDAS RESUMO	VALORES (mg.L ⁻¹)
Mínima	0,00
1º Quartil	2,88
Mediana	3,27
Média	3,64
3º Quartil	4,53
Máxima	13,95
desvio padrão	1,94

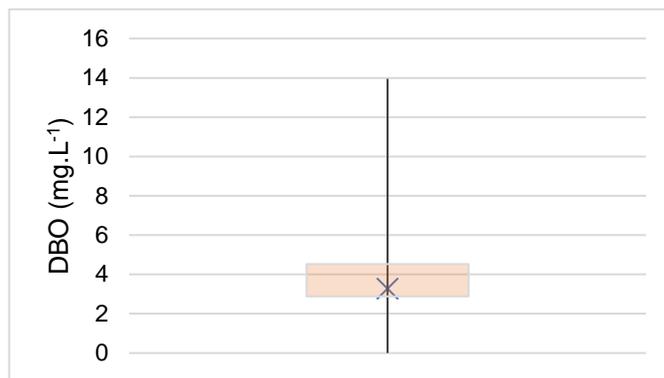


Figura 5.25– Boxplot da variável DBO.

Com as informações acima, vê-se que, enquanto todos os valores estão entre 0 e 13,95, metade deles estão contidos entre 2,88 e 4,53. A média e a mediana são muito próximas, com valores iguais a, respectivamente, 3,64 e 3,29. Além disso, é possível notar que a parte inferior da Figura 5.25 (intervalo entre o 1º quartil e mediana), apresenta maior dispersão das informações do que a parte superior (mediana até o 3º quartil).

As medidas-resumo de DBO por ano estão evidenciadas na Tabela A.10 (Apêndice A) e na Figura 5.26:

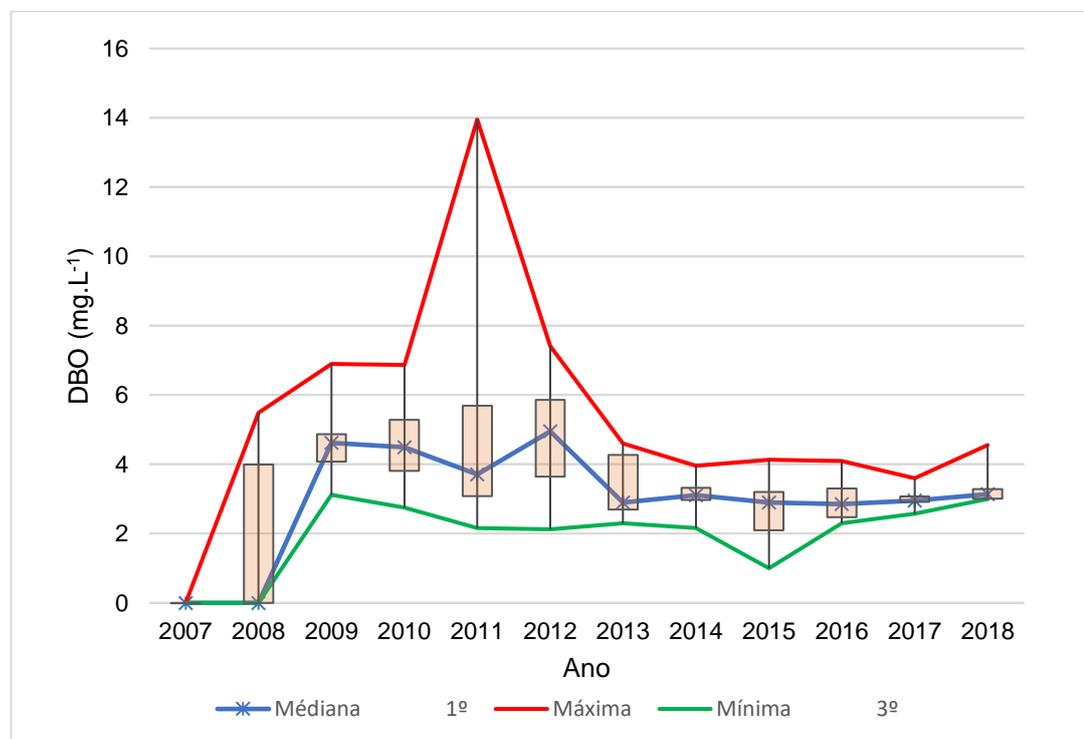


Figura 5.26– Boxplot da variável DBO (por ano) (2007-2018). Limite normativo: DBO < 3,0mg.L⁻¹.

Pode-se, ainda, considerar que o fato da média ser aproximadamente igual à mediana mostra que, mesmo com muitos valores discrepantes, a variável apresentou um comportamento de simetria. A partir do ano de 2012, observa-se que os valores médios passam a ter uma queda até 2018, em que somente os anos de 2016 e 2018 possuem valores de média e mediana próximos. Já o restante sofreu alterações no valor da média devido à presença de valores de mínimo e máximo muito distantes. Os anos de 2014 e 2015 se encaixam no caso explicitado e apresentam, respectivamente, mínimos iguais a 2,16 e 1,00, e máximos iguais a 3,93 e 4,15.

Observando o gráfico de linha (Figura 5.27), a média dos valores da variável DBO tem um aumento de um valor igual a 0 em 2007 para valor superior a 4 em 2009.

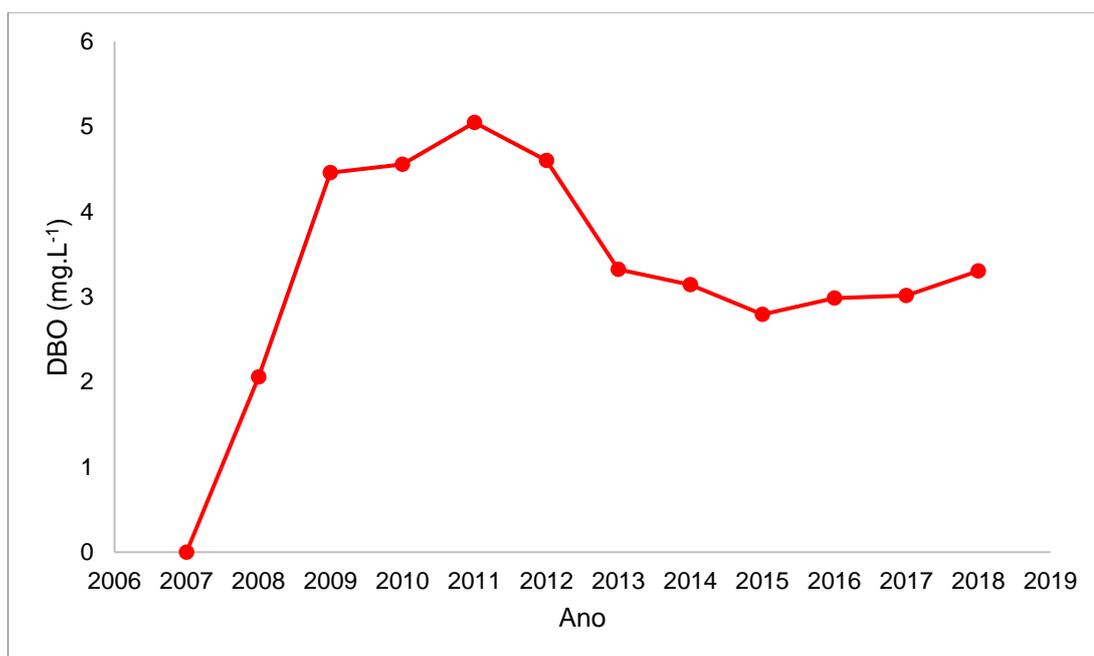


Figura 5.27– Gráfico de linha para a variável DBO.). Limite normativo: DBO <3,0mg.L⁻¹.

Por meio do teste Cox-Stuart, utilizando um nível de significância de 0; 05, o p-valor obtido para a variável DBO foi de 0,032, inferior ao nível de significância. Logo, para esse caso, há evidências estatísticas para se rejeitar a hipótese nula, ou seja, há tendência na variável ao longo dos anos.

5.1.10 Mesófilo

Quanto à variável mesófilo nas amostras analisadas, as medidas adotadas estão descritas na Tabela 5.17: O boxplot dessa variável consta na Figura 5.28.

Tabela 5.17. Mesófilo

MEDIDAS RESUMO	VALORES (UFC)
Mínima	0,00
1º Quartil	15,25
Mediana	36,50
Média	59,88
Máxima	422,00
3º Quartil	67,75
desvio padrão	81,05

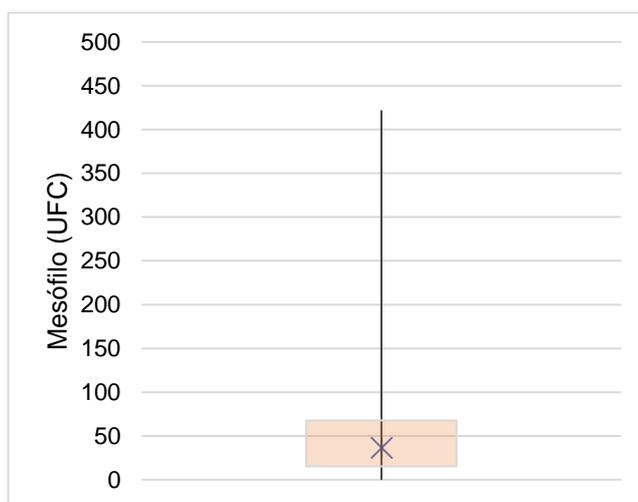


Figura 5.28– Boxplot da variável mesófilo.

Por fim, analisando os resultados contidos no Quadro e no Boxplot para a variável mesófilo, percebe-se que os valores estão entre 0 e 422, sendo que este último é maior que 6 vezes o terceiro quartil.

Tem-se uma grande diferença entre os valores da média (58,88) e da mediana (36,50). Com isso, o desvio padrão da amostra resulta em um valor elevado: 81,05. As medidas-resumo da variável Mesófilo estão evidenciadas na Tabela A.11 (Apêndice A) e na Figura 5.29:

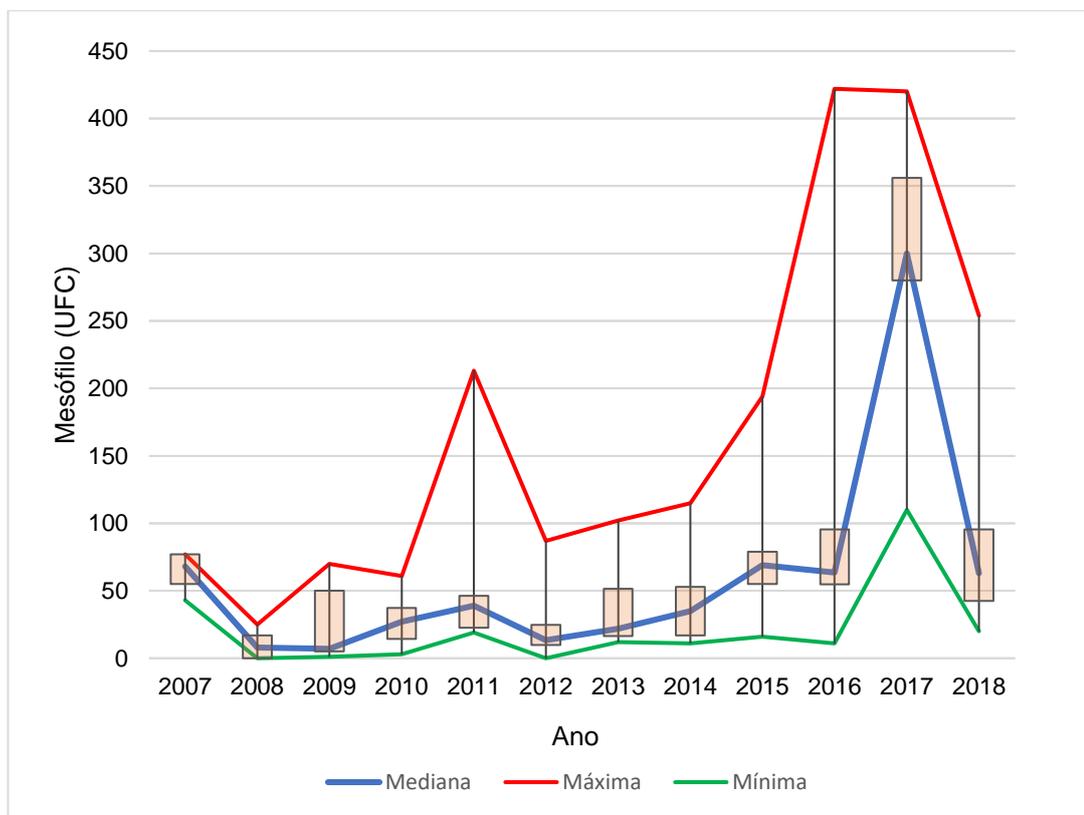


Figura 5.29- Boxplot da variável Mesófilo (por ano) (2007-2018).). Limite normativo: Não especificado

Pode-se, ainda, considerar que o fato da média ser aproximadamente igual à mediana mostra que, mesmo com muitos valores discrepantes, a variável apresentou um comportamento de simetria. A partir do ano de 2012, observa-se que os valores médios passam a ter uma queda até 2018, em que somente os anos de 2016 e 2018 possuem valores de média e mediana próximos. Já o restante sofreu alterações no valor da média devido à presença de valores de mínimo e máximo muito distantes. Os anos de 2014 e 2015 se encaixam no caso explicitado e apresentam, respectivamente, mínimos iguais a 3,30 e 2,90, e máximos iguais a 7,01 e 8,54.

Pelo gráfico de linha dos valores médios da variável mesófilo (Figura 5.30) observa-se um crescimento contínuo durante os anos, até 2017. O ano de 2017 apresenta o maior valor dentre todos os anos, que em 2018 diminuiu para um valor próximo de 100.

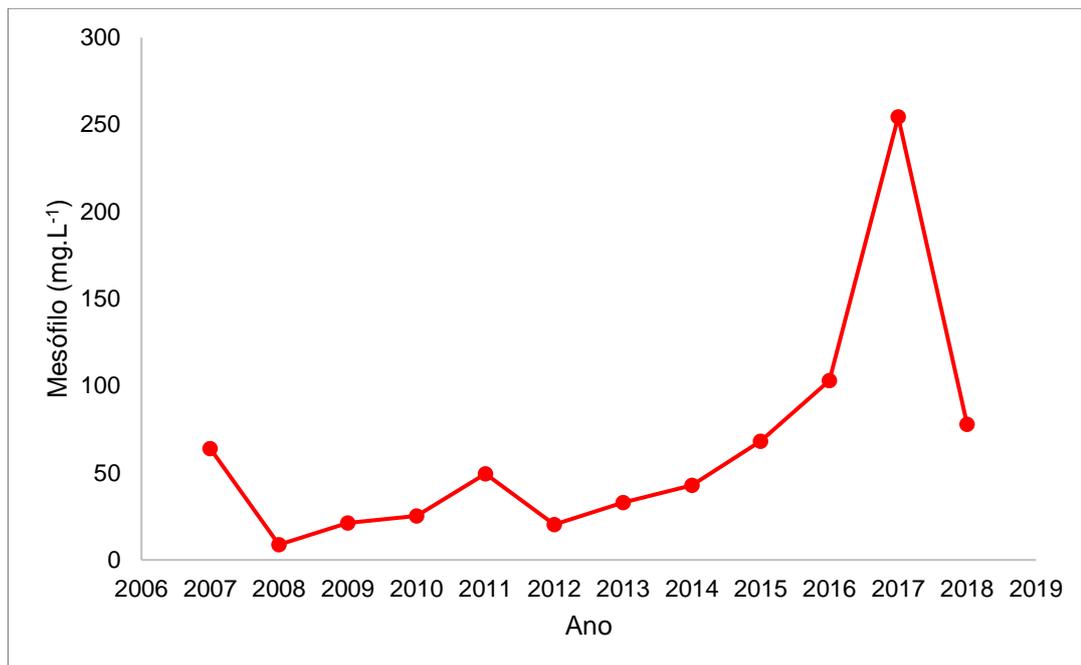


Figura 5.30- Gráfico de linha para a variável mesófilo.). Limite normativo: Não especificado

Com isso, para analisar se há tendência nos dados, será utilizado o teste Cox-Stuart. Com nível de significância de 0,05, conclui-se que: o p-valor, menor do que 0,001, obtido para a variável Mesófilo foi inferior ao nível de significância. Isso quer dizer que, há tendência na variável ao longo dos anos, pois H_0 foi rejeitada.

5.2 Resultados da análise multivariada

Os resultados das análises físico-químicas da água foram dispostos em uma matriz de dimensão 115 x 111 (115 amostras por 11 variáveis) as variáveis, chumbo (Pb), nitrogênio amoniacal (N-NH₃), cromo (Cr), coliformes totais, coliformes termotolerantes 45°C e Clostridium não foram incluídos pois não estiveram presentes. Para verificar se os dados amostrais se distribuem normalmente, o teste estatístico Kruskal Wallis (MILLER e MILLER, 1993) foi realizado. O teste demonstrou que nenhum dos parâmetros que foram avaliados distribuem-se normalmente. Dessa forma, os resultados serão apresentados em funções das respectivas medianas, valores máximos e mínimos para cada ano amostrado.

Para demonstrar as análises dos resultados das que foram feitas nessa Tese, se propôs a análise de redundância utilizando os valores medianos das séries anuais, cujos valores encontram-se na Tabela 5.18 e na Tabela 5.19.

A escolha dos parâmetros apresentados neste estudo foi devido a sua incidência e variação, foram analisados juntamente com estes parâmetros chumbo, prata, mercúrio cadmio, coliformes (termo tolerantes), coliformes totais clostridium, Escherichia, análises estas que ficaram abaixo do limite de detecção. E este trabalho concentrou-se em analisar: alcalinidade, o pH, a quantidade de oxigênio dissolvido, a condutibilidade, dureza, turbidez, quantidade de ferro, quantidade de sólidos totais dissolvidos (TDS), a demanda química de oxigênio (DQO), a demanda biológica de oxigênio (DBO) e a quantidade de mesófilos. A variável precipitação média mensal de cada ano foi acrescentada à análise como variável suplementar.

Como foram muitos parâmetros analisados, com unidades e grandezas diferentes, fez-se necessária a utilização de uma representação gráfica que permitisse analisar os dados e identificar os parâmetros sofreram maiores alterações em cada ano, para posteriormente, relacionar essa análise com as condições climáticas de cada ano. Para isso, fez-se o uso da análise de redundância.

Tabela 5.18. Medianas dos resultados de análises de alcalinidade, pH, O₂ orgânico, condutividade e dureza, realizadas entre 2007 e 2018 nos piezômetros construídos no Cemitério Jardim Metropolitano – Valparaíso – GO.

Ano	Alc. (mg L ⁻¹)	pH	O ₂ org (mg L ⁻¹)	Condutiv. (µS)	Dureza (mg L ⁻¹)
2007	18,97	6,55	1,62	6,98	6,12
2008	7,59	6,31	4,68	28,40	8,16
2009	11,38	5,63	4,41	21,90	8,16
2010	11,38	4,92	4,27	23,70	8,16
2011	17,08	5,12	5,95	21,60	14,29
2012	11,38	5,88	3,40	21,30	8,16
2013	11,38	6,12	4,35	21,36	8,16
2014	11,38	6,26	4,85	23,32	8,16
2015	11,38	6,58	6,12	26,30	8,16
2016	11,38	5,73	5,37	24,25	8,16
2017	11,38	5,36	5,89	21,30	8,16
2018	7,59	5,20	6,05	32,00	8,16

Tabela 5.19. Medianas dos resultados de análises de turbidez, ferro, TDS, DQO, DBO e mesófilo, realizadas entre 2007 e 2018 nos piezômetros construídos no Cemitério Jardim Metropolitano – Valparaíso – GO

Ano	Turb.(NTU)	Fe (mg L ⁻¹)	TDS (mg L ⁻¹)	DQO (mg L ⁻¹)	DBO (mg L ⁻¹)	Mesófilo (UFC)
2007	19,45	2,69	19,87	0,95	0,00	68,00
2008	0,52	0,74	21,50	3,86	0,00	8,00
2009	0,32	0,54	17,43	4,02	4,62	7,00
2010	0,42	0,35	15,25	2,56	4,37	27,00
2011	0,27	0,27	20,74	6,87	3,71	39,00
2012	0,24	0,25	18,82	6,31	4,50	17,00
2013	0,87	0,41	19,83	6,22	2,90	22,00
2014	0,45	0,23	21,27	5,94	3,11	40,50
2015	0,50	0,35	23,60	4,98	2,90	69,00
2016	0,26	0,25	19,98	5,01	2,85	63,50
2017	5,56	0,18	19,00	4,55	2,95	280,00
2018	7,45	0,20	21,60	6,00	3,14	63,00

5.2.1 Análise de redundância

A RDA na (Figura 5.31) indicou que 51,7% da variância total das propriedades físico-químicas de águas do aquífero freático, em poços localizados em regiões do cemitério de Valparaíso/GO, foram explicadas pelas variáveis predictoras contínuas (pH, condutividade, turbidez e mesófilos) e multicotômicas (poço e ano).

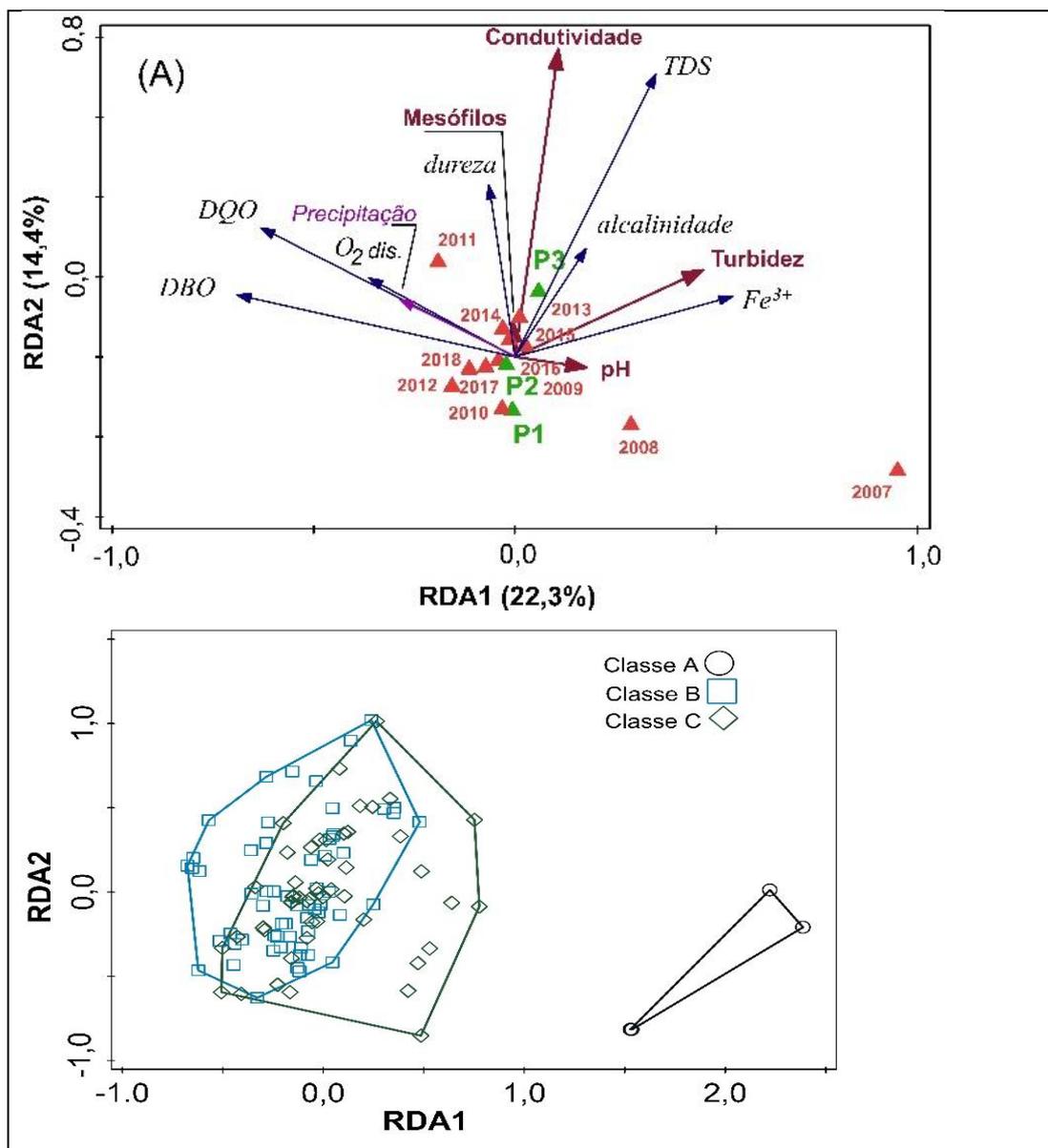


Figura 5.31- Diagrama da RDA 1 e RDA 2 (eixo x e y) das a) propriedades físico-químicas de águas do lençol freático (vetores em azul) em poços (P1-P3) localizados em regiões de cemitério ao longo dos anos (2007-2018), explicadas pelas variáveis contínuas (setas vermelhas) ou multicotômicas (triângulos); b) distribuição das amostras no diagrama RDA.

A RDA1 (22,3%; $F = 27,8$; $p = 0,001$, 999 permutações de Monte Carlo) caracterizou-se pela separação dos anos 2007 e 2008 devido a elevada turbidez e teor de Fe, o qual pode estar associado ao início da coleta de dados no período de perfuração dos poços.

Por outro lado, as condições das águas nos anos 2010, 2012, 2017 e 2018, apresentaram maiores valores em DBO, DQO e O_2 dissolvido. A RDA2 (14,4%; $F = 22,0$; $p = 0,001$), por sua vez, caracterizou-se principalmente pela alta condutividade e presença de mesófilos, especialmente no poço P3 em 2011. Essas águas apresentaram uma maior dureza e alcalinidade.

A Tabela 5.20 resume os resultados do teste de eixos restritos individuais de uma análise restrita. A coloração na primeira linha (com a porcentagem da variação total explicada por um eixo específico) reflete os valores mostrados na terceira linha.

Tabela 5.20. Resultados do teste de eixos restritos individuais de análise restrita.

	1	2	3	4
Explicando os eixos [%]	22.29	14.39	5.96	4.05
Pseudo-F value	27.8	22	10.1	7.4
P value	0.001	0.001	0.001	0.054

A RDA3 (6,0%; $F = 10,1$; $p = 0,001$) separou as amostras coletadas no intervalo 2009-2013 em decorrência aos altos níveis de DBO, dureza, alcalinidade, turbidez e Fe, associadas ao poço P3, das amostras oriundas do período de 2014-2018, que se caracterizam pelos valores mais altos de condutividade, O_2 dissolvido, TDS, DQO, mesófilos e pH (Figura 5.32).

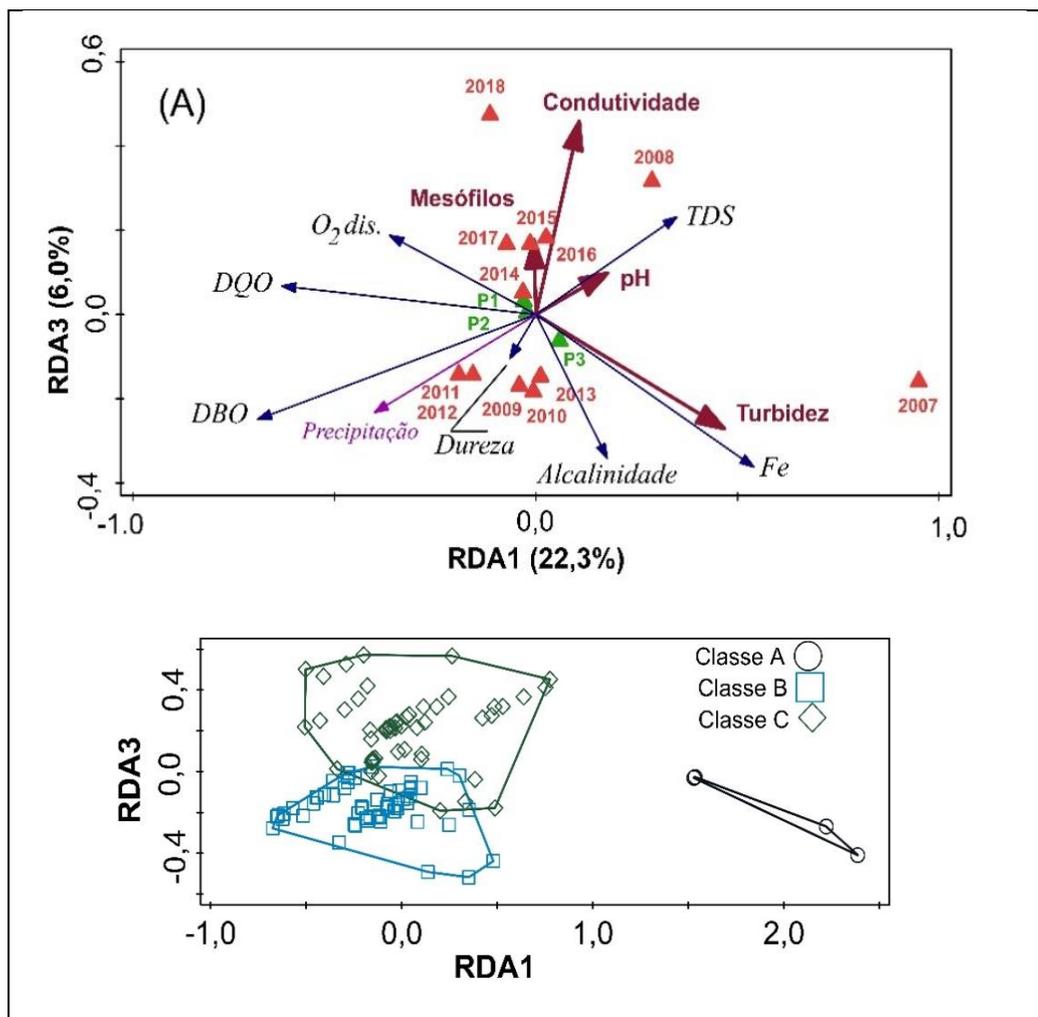


Figura 5.32- Diagrama da RDA 1 e RDA3 (eixo x e z) das a) propriedades físico-químicas de águas do lençol freático (vetores em azul) em poços (P1-P3) localizados em regiões de cemitério ao longo dos anos (2007-2018), explicadas pelas variáveis contínuas (setas vermelhas) ou multicotômicas (triângulos); b) distribuição das amostras no diagrama RDA.

A partir da RDA pode-se sugerir a tendência natural das amostras em torno de três agrupamentos: A: formado pelas amostras de 2007, apresentando alcalinidade como característica; B: formado pelas amostras entre os anos 2009-2013 com DBO como melhor descritor; C: agrupando as amostras dos anos 2008 e aquelas entre 2014-2018, caracterizada pelos níveis mais elevados de O_2 dissolvido. Dessa forma, efetuou-se uma análise de discriminante (Figura 5.33) estabelecendo os três agrupamentos como variáveis de resposta (categóricas) com as variáveis físico-químicas como explicativas. A escolha dos melhores descritores para os agrupamentos baseou-se no procedimento de seleção automática tendo a correção de

Bonferroni ($\alpha' = 0,05/k$, onde k é o número de variáveis) como critério de controle da multicolinearidade nas regressões multivariadas.

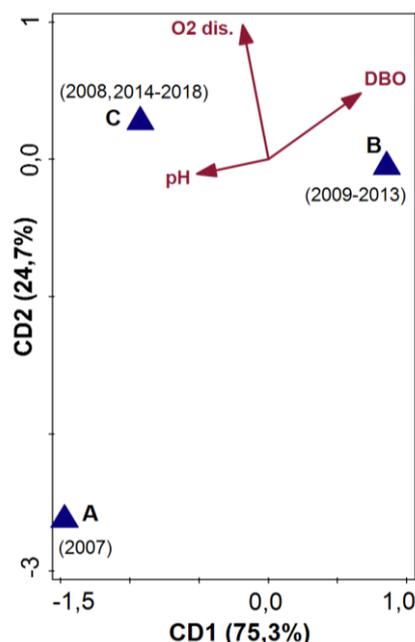


Figura 5.33- Diagrama da análise de discriminante de amostras de águas do lençol freático, em regiões de cemitério de Valparaíso/GO, de acordo com os agrupamentos dos anos (A-C), e as propriedades físico-químicas descritoras (vetores vermelhos).

Nesses agrupamentos foram obtidos valores médios para o pH (5,79), O₂ dissolvido (4,93) e DBO (3,64). Os dois eixos discriminantes foram significativos ($p = 0,001$) e, juntas, essas variáveis classificaram corretamente 80% das amostras nos agrupamentos pela técnica de reamostragem de Jackknife.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) indicaram que as amostras da classe A (2007) apresentaram maior alcalinidade ($18,01 \pm 4,75$ mg.L⁻¹), Fe³⁺ ($2,75 \pm 2,08$ mg.L⁻¹), pH ($6,44 \pm 0,24$), mesófilos ($64,00 \pm 16,37$ mg.L⁻¹) e turbidez, enquanto aquelas provenientes dos agrupamentos B (2009-2013) e C (2008 e 2014-2018) distinguiram-se pelos maiores teores de oxigênio dissolvido ($4,62 \pm 1,32$ e $5,59 \pm 1,75$ mg.L⁻¹), DQO ($5,77 \pm 3,15$ e $5,18 \pm 1,35$ mg.L⁻¹) e condutividade ($22,6 \pm 9,69$ e $27,36 \pm 12,38$ mg.L⁻¹). No entanto, essas duas classes apresentaram diferenças significativas quanto a DBO ($4,51 \pm 1,99$ e $2,85 \pm 1,13$ mg.L⁻¹, respectivamente), cujos valores mais elevados ocorreram nas amostras provenientes da classe B (Tabela 5.21). A

dureza e os sólidos totais dissolvidos não apresentaram diferenças significativas entre as classes. A comparação entre os coeficientes de variação da Tabela 5.21 também indicou a grande variabilidade nos teores dos mesófilos e na turbidez nos locais de amostragem ao longo do tempo.

Tabela 5.21. Concentração média^a dos parâmetros.

Parâmetro (mg.L ⁻¹)	CV ^b	Classes		
		A (n = 4)	B (n = 61)	C (n = 50)
Alcalinidade	22,9	18,01 a	12,75 ab	10,86 b
O₂ dissolvido	17,4	1,52 b	4,62 a	5,59 a
Dureza	13,0	8,16 a	10,97 a	9,94 a
Fe ³⁺	26,0	2,75 a	0,82 b	0,52 b
Sólidos totais dissolvidos	12,6	47,92 a	19,35 a	22,56 a
DQO	26,0	0,90 b	5,77 a	5,18 a
pH	23,3	6,44 a	5,52 b	6,07 ab
Condutividade	18,2	9,89 b	22,60 a	27,36 a
Mesófilos	52,0	64,00 a	31,97 b	94,18 ab
Turbidez	55,3	23,32 a	3,56 b	6,73 ab
DBO	24,2	0,00 c	4,51 a	2,85 b

^aBaseado nos dados originais. ^bCoefficiente de Variação(%). Os parâmetros em negrito correspondem às variáveis discriminantes. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem ao nível de 5% pelo teste de Tukey..

5.3 Resultados: caracterização física e química do solo

Os poços P1, P2 e P3, se dispõem, P1 e P2 - distância 90m e com o nível de água semelhantes de P1 e P2 de 8,50m no período seco e com o nível de 4,50m no período chuvoso, o poços P3 tem o seu nível no período seco de 40m e 34m no período chuvoso, a distância entre o poço P2 com o poço P3, é de 830m

Foram caracterizadas as 7 amostras de solo citadas no subitem 6.3. Os resultados dos ensaios serão demonstrados nesse item, cada ponto de coleta será caracterizado em um subitem, sendo intitulados em função da localização e da profundidade.

5.3.1 Tumulação – 0 a 30 cm

O solo coletado no local em que serão instaladas novas tumulações, à profundidade de 0 a 30 cm é uma argila siltosa. Quando analisado pelo ensaio de granulometria com defloculante apresenta 68,15% de argila, 23,37% de silte, 2,53% de areia fina, 3,69% de areia média, 1,81% de areia grossa e 0,44% de pedregulho, como se pode observar na curva granulometria na Figura 5.34. O Relatório completo da análise granulométrica encontra-se no Apêndice B. Sem o defloculante, o solo se comporta como um silte arenoso. Apresentou 0% de argila e 81,85% de silte 5,98% de areia fina, 10,04% de areia média, 1,70% de areia grossa e 0,44% de pedregulho.

Como o defloculante pode servir para comparação a um poluente do necrochorume, tal resultado indicaria que o solo no local da amostra não está contaminado, considerando-se a diferença no perfil das curvas granulométricas com e sem defloculante.

Das curvas granulométricas com e sem defloculante, infere-se que em campo, o solo está agregado, e granulometricamente, se comporta como um silte, uma vez que o ensaio realizado sem o defloculante representa com mais precisão a situação em campo.

Na Tabela 5.22 estão apresentados os resultados da densidade relativa específica do solo (G_s), Peso específico natural (γ_n), umidade natural ($w\%$), umidade higroscópica ($w_h\%$), Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), índice de vazios da amostra indeformada (ε), porosidade da amostra indeformada ($n\%$), saturação da amostra indeformada ($S\%$). Os relatórios dos ensaios de G_s e dos índices de consistência (LL, LP e IP) podem ser vistos no Apêndices C e D, respectivamente.

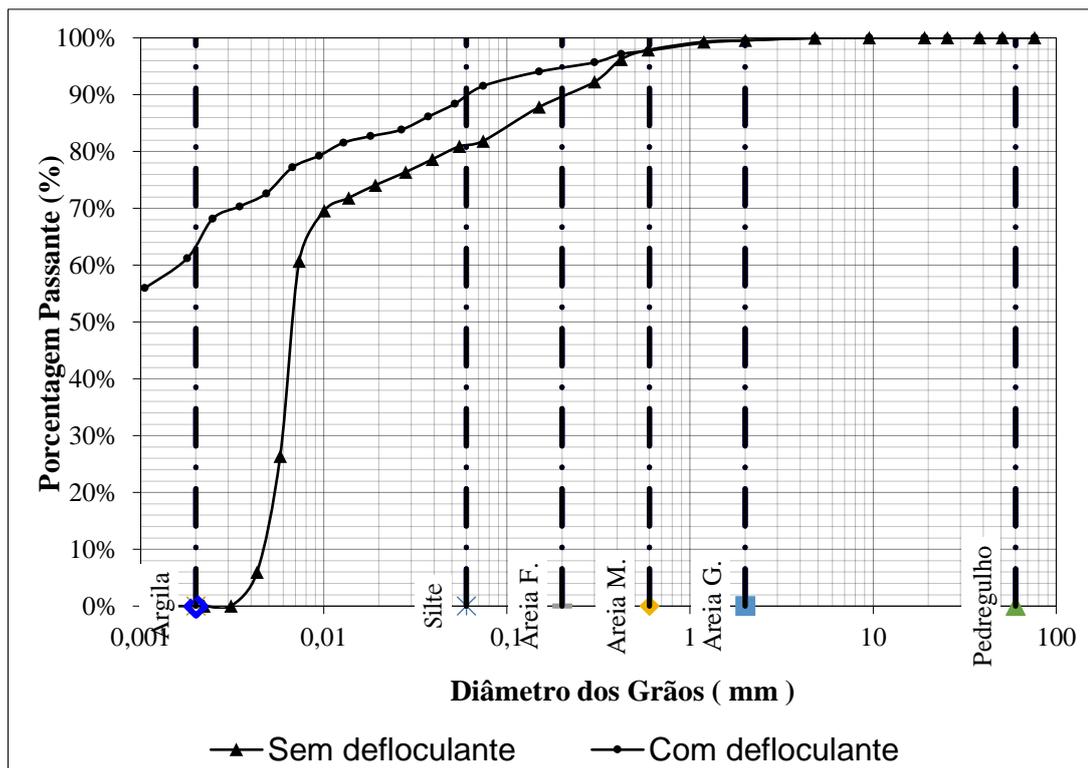


Figura 5.34- Curvas granulométricas com e sem defloculante. Amostra: Tumulação 0 – 30 cm.

Tabela 5.22. Índices físicos. Amostra: Tumulação 0 - 30 cm.

Amostra: Tumulação a profundidade de 0 – 30 cm			
G_s	2,719 g/cm ³	w	28,13 %
γ_n	1,5 g/cm ³	w_h	1,26 %
LL	43 %	ε	1,291
LP	28,55 %	n	56,35 %
IP	14,18 %	S	28 %

A curva de compactação com a curva de Saturação a 100% de umidade dessa amostra é dada pela Figura 5.35, em que a umidade ótima é 28% e a massa específica seca do corpo compactado é 1,51 g/cm³.

Para analisar a taxa de percolação de água no solo, foi adotada a metodologia da NBR. 13.969 (ABNT, 1997). Os valores de rebaixamento de água nas três cavas preparadas encontram-se na Tabela 5.23. A taxa de percolação calculada foi de 408 min/m, ou seja, a água precisa de 408 min para infiltrar em 1 m de profundidade. Por meio desse ensaio, também foi

possível calcular a permeabilidade do solo e a taxa de infiltração do solo, cujos valores encontram-se na Tabela 5.23.

Tabela 5.23. Resultados de percolação e permeabilidade.

Local	Taxa de percolação (min/m)
Cava A	410,9589
Cava B	490,1961
Cava C	323,2759
Percolação média =	408,1436
Permeabilidade do solo (m/s) =	k=4,08E-05

Observa-se que a permeabilidade do solo, é da mesma ordem de grandeza de areias finas argilosas. Tal resultado condiz com o resultado granulométrico.

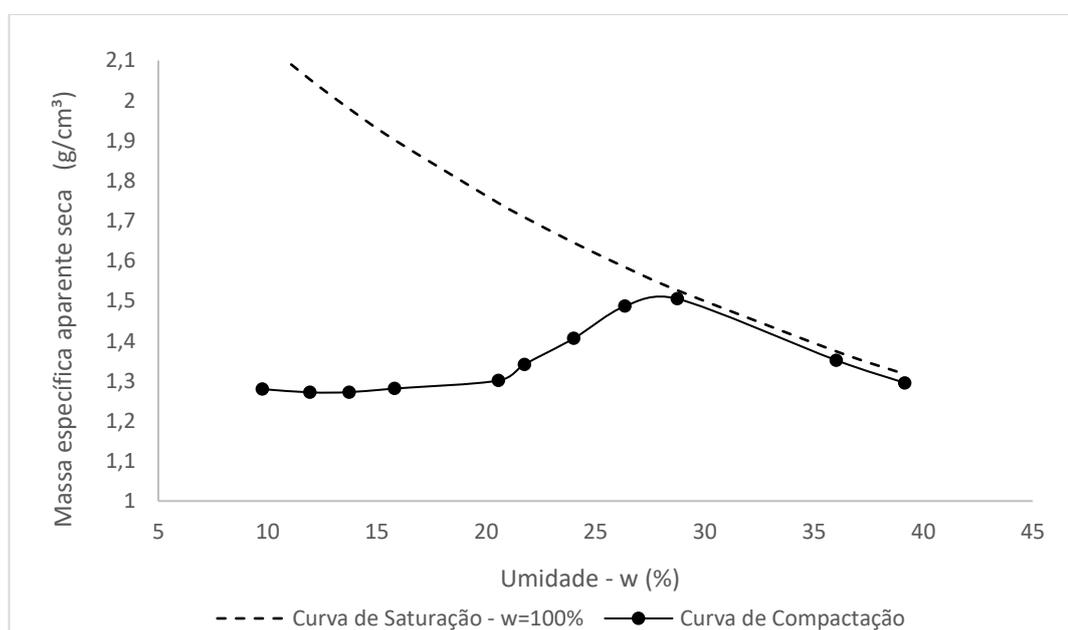


Figura 5.35- Curva de compactação e curva de Saturação a 100% de umidade. Amostra: Tumulação 0 – 30 cm.

Da curva de retenção da amostra indeformada para baixas e para altas sucções (Figura 5.36), observa-se um comportamento bimodal do solo da

amostra indeformada, tal comportamento é característico de solos com a distribuição de poros dividida em macroporos e microporos.

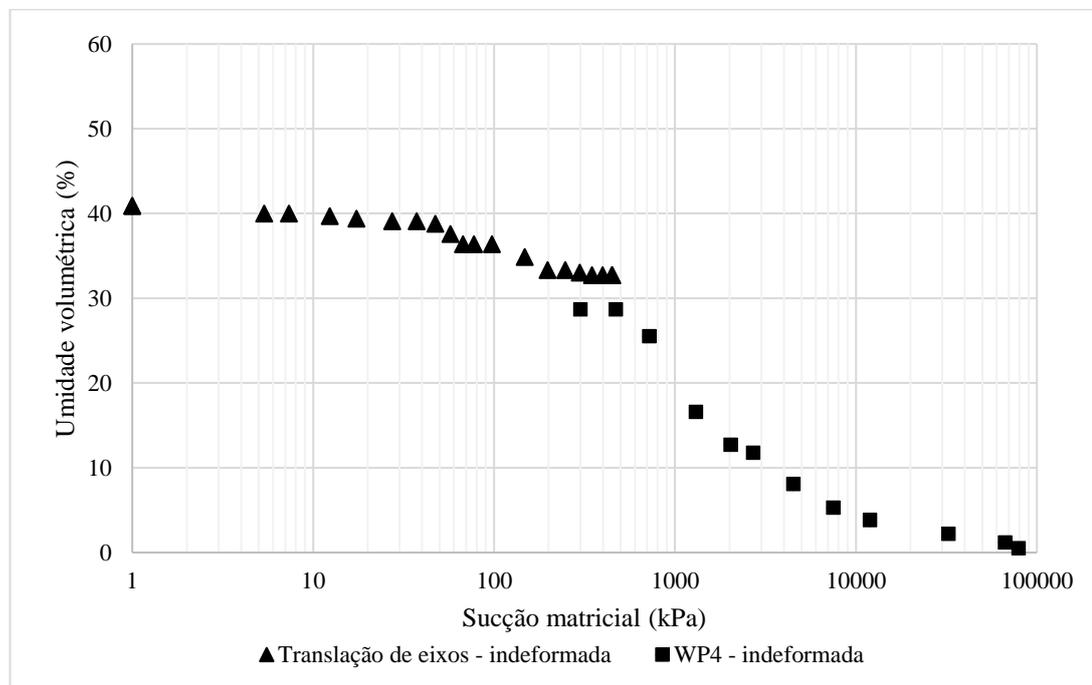


Figura 5.36- Curva de retenção amostra indeformada. Tumulação 0 – 30 cm.

5.3.2 Tumulação – 1 m

O solo coletado no local em que serão instaladas novas tumulações, à profundidade de 1 m é um solo silto-argiloso. Quando analisado pelo ensaio de granulometria com defloculante ele apresenta 34,18% de argila, 56,15% de silte 3,45% de areia fina, 3,27% de areia média, 2,03% de areia grossa e 0,91% de pedregulho, como se pode observar na curva granulométrica na Figura 5.37.

Sem o defloculante, o solo se comporta como silto-arenoso. Apresentou 1,17% de argila e 36,04% de silte 21,51% de areia fina, 24,24% de areia média, 16,12% de areia grossa e 0,91% de pedregulho. O Relatório completo da análise granulométrica encontra-se no Apêndice B. Infere-se das curvas granulométricas que o solo se comporta como um silte arenoso em campo, pois a situação que mais se assemelha com a situação em campo é a do ensaio sem o defloculante.

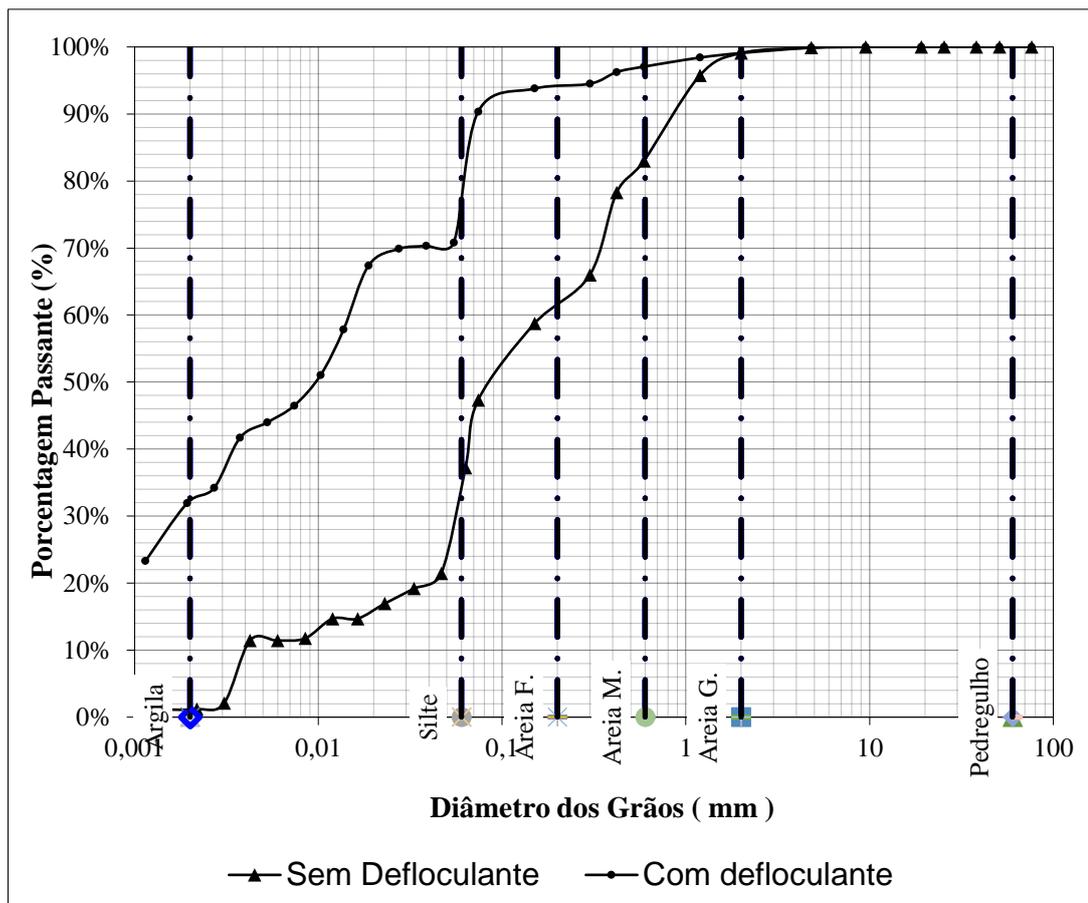


Figura 5.37- Curvas granulométricas com e sem defloculante. Amostra: Tumulação 1 m.

Na

Tabela 5.24 estão apresentados os resultados da densidade relativa específica do solo (G_s), umidade natural ($w\%$), umidade higroscópica ($w_h\%$), Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), umidade ótima ($w_o\%$) de compactação. Os relatórios dos ensaios de G_s , e dos índices de consistência – LL, LP e IP – podem ser vistos nos Apêndices C e D, respectivamente.

Cumprе ressaltar que o ponto amostrado se encontra a profundidade maior que a profundidade onde são instaladas as tumulações, por esse motivo o G_s dessa amostra é maior que da amostra retirada entre 0 e 30 cm de profundidade. Solos mais profundos são menos intemperizados, portanto os minerais da rocha mãe são mais preservados, o que faz com que o G_s seja maior.

Tabela 5.24. Índices físicos. Amostra: Tumulação 0 - 30 cm
Tumulação 1 m

G_s	2,761 g/cm ³
LL	46 %
LP	27,69 %
IP	18,38 %
w	30,68 %
w_h	1,43 %

Pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), o solo se comporta como uma argila de baixa compressibilidade.

A curva de compactação com a curva de Saturação a 100% de umidade dessa amostra é dada pela Figura 5.38, em que a umidade ótima é 27 % e a massa específica seca do corpo compactado é 1,49 g/cm³.

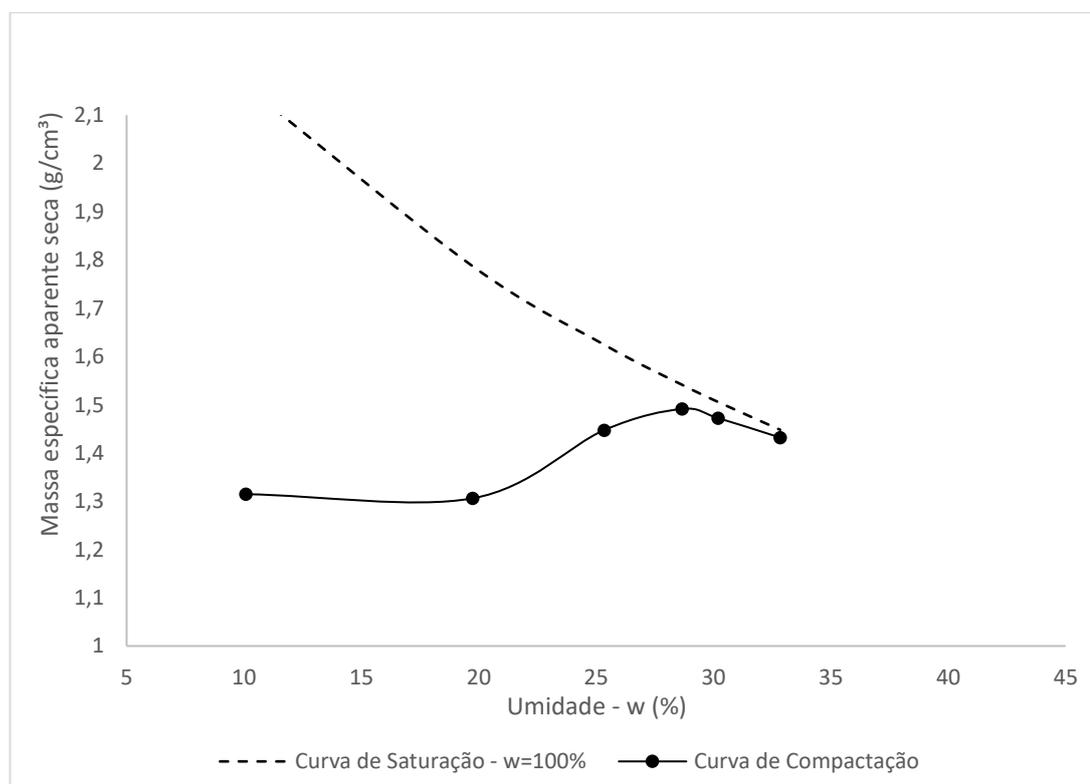


Figura 5.38- Curva de compactação e curva de Saturação a 100% de umidade. Amostra: Tumulação 1 m.

5.3.3 Tumulação – 2 m

O solo coletado no local em que serão instaladas novas tumulações, à profundidade de 2 m é uma argila siltosa com pedregulhos. Quando analisado pelo ensaio de granulometria com defloculante ele apresenta 36,92% de argila, 22,42% de silte, 1,73% de areia fina, 4,85% de areia média, 7,06% de areia grossa e 27,02% de pedregulho, como se pode observar na curva granulométrica da Figura 5.39. Sem o defloculante, o solo se comporta como silte, apresentou 0,34% de argila e 58,04% de silte, 2,13% de areia fina, 5,15% de areia média, 7,32% de areia grossa e 27,02% de pedregulho. O Relatório completo da análise granulométrica encontra-se no Apêndice B.

Infer-se das curvas granulométricas que o solo se comporta como um silte arenoso em campo, pois a situação que mais se assemelha com a situação em campo é a do ensaio sem o defloculante.

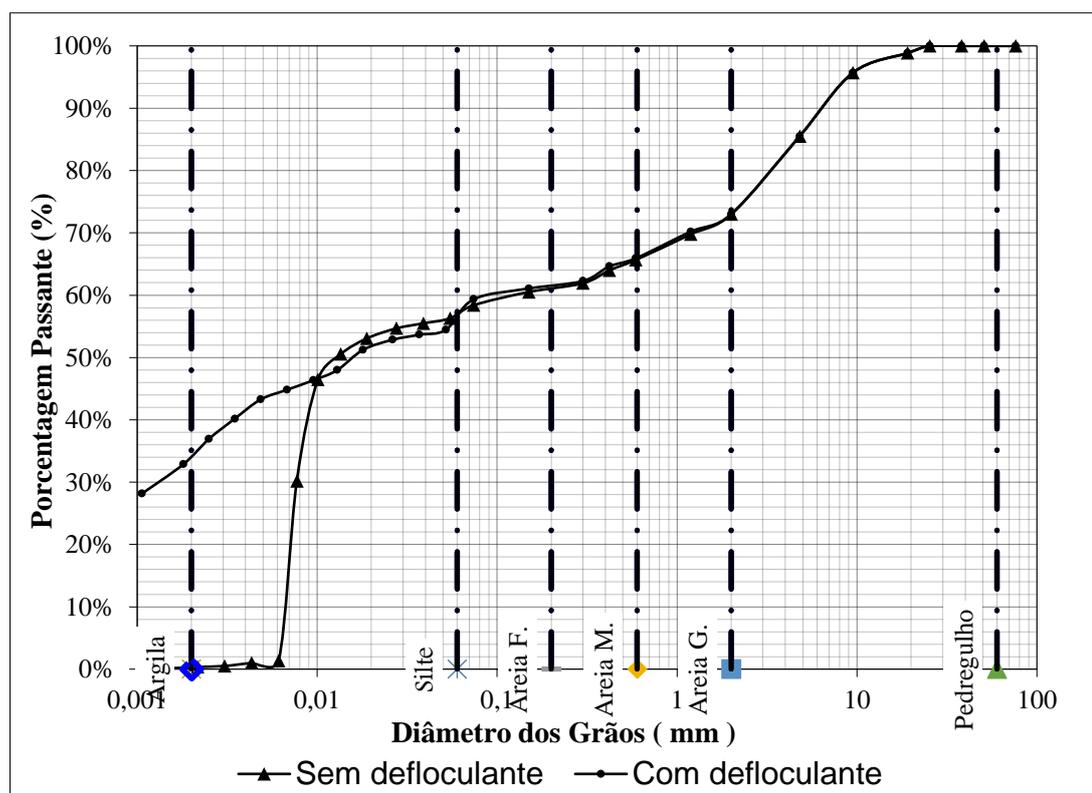


Figura 5.39- Curvas granulométricas com e sem defloculante. Amostra: Tumulação 2 m.

Na Tabela 5.25 estão apresentados os resultados da densidade relativa específica do solo (G_s), umidade natural ($w\%$), umidade higroscópica ($w_h\%$), Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), umidade ótima ($w_o\%$) de compactação. Os relatórios dos ensaios de G_s , e dos índices de consistência – LL, LP e IP – podem ser vistos nos Apêndices C e D, respectivamente.

Nesse ponto de coleta, observa-se que há maior concentração de pedregulhos, isso ocorre por ser uma amostra mais profunda que conseqüentemente está mais próxima da rocha mãe e menos intemperizada. Outro fato que se evidencia nas amostras mais profundas, é o aumento do G_s , pois quanto menos intemperizado o solo, mais preservados estarão os minerais da rocha e maior será o G_s .

Tabela 5.25. Índices físicos. Amostra: Tumulação 2 m

Tumulação 2 m	
G_s	2,881 g/cm ³
LL	40 %
LP	25,65 %
IP	14,66 %
w	31,18 %
w_h	2,48 %

Pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), o solo se comporta como uma argila de baixa compressibilidade.

A curva de compactação com a curva de Saturação a 100% de umidade dessa amostra é dada pela Figura 5.40, em que a umidade ótima é 27,5 % e a massa específica seca do corpo compactado é 1,49 g/cm³.

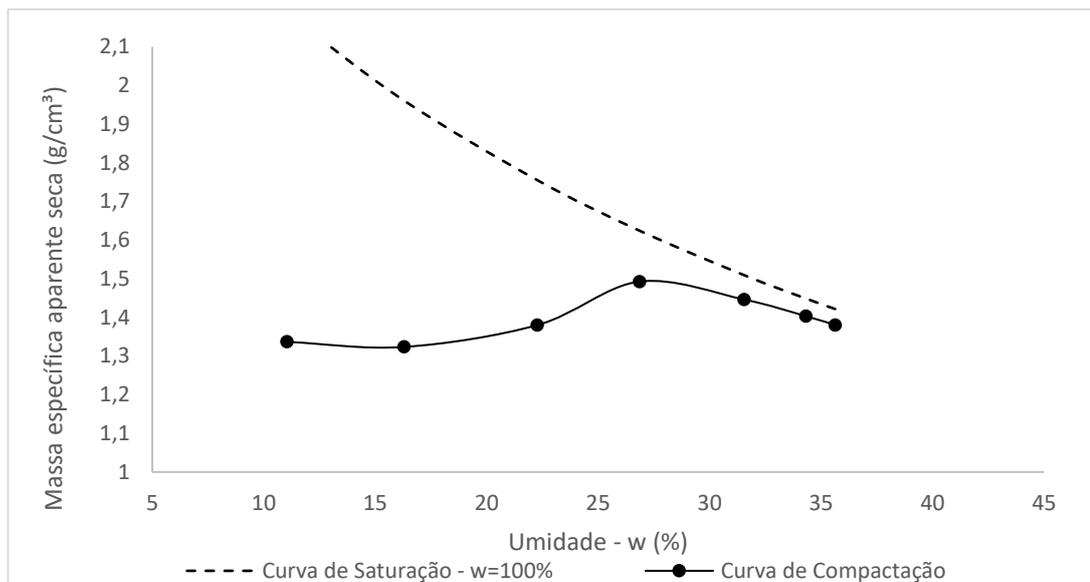


Figura 5.40- Curva de compactação e curva de Saturação a 100% de umidade. Amostra: Tumulação 2 m.

5.3.4 Poço de monitoramento 1 – 1 m

O solo coletado em local nas proximidades do poço de monitoramento 1, à profundidade de 1 m é uma argila siltosa. Quando analisado pelo ensaio de granulometria com defloculante ele apresenta 70,18% de argila, 22,50% de silte, 1,69 de areia fina, 3,41% de areia média, 1,5 de areia grossa e 0,72% de pedregulho, como se pode observar na curva granulométrica da Figura 5.41. Sem o defloculante, o solo se comporta como silte arenoso, apresentou 0,01% de argila e 77,31% de silte 6,4 de areia fina, 13,09% de areia média, 2,48 de areia grossa e 0,72% de pedregulho. O Relatório completo da análise granulométrica encontra-se no Apêndice B.

Inferese das curvas granulométricas que o solo se comporta como um silte arenoso em campo, pois a situação que mais se assemelha com a situação em campo é a do ensaio sem o defloculante.

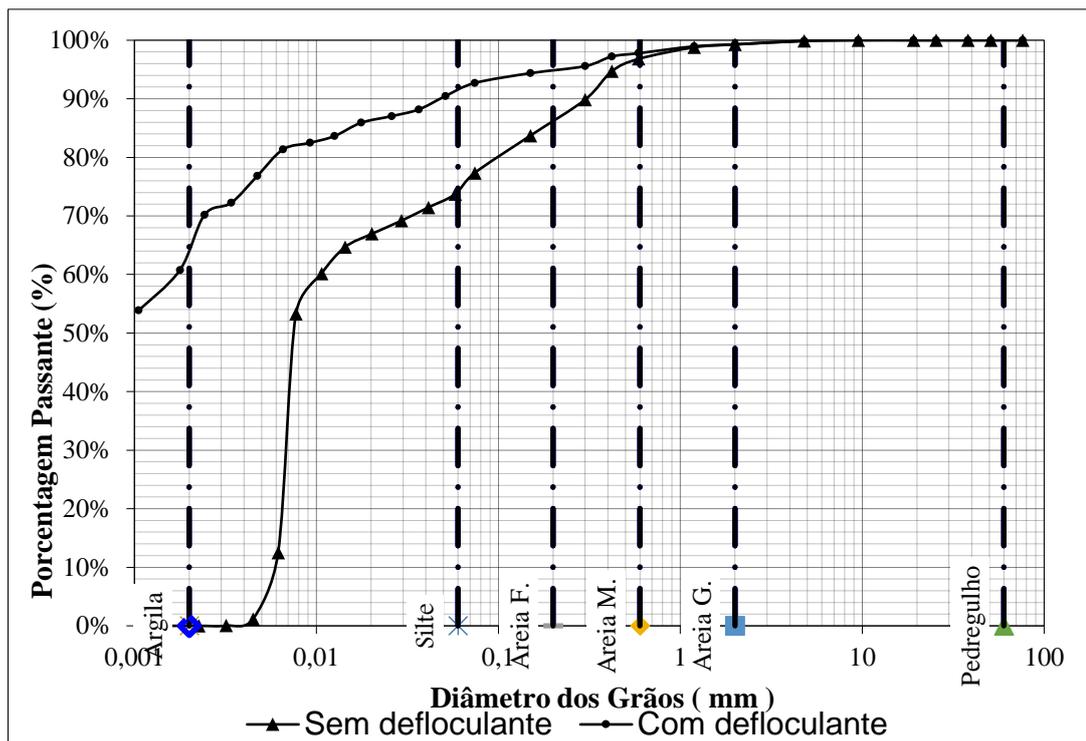


Figura 5.41- Curvas granulométricas com e sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1 - 1 m.

Na Tabela 5.26 estão apresentados os resultados da densidade relativa específica do solo (G_s), umidade natural ($w\%$), umidade higroscópica ($w_h\%$), Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), umidade ótima ($w_o\%$) de compactação. Os relatórios dos ensaios de G_s , e dos índices de consistência – LL, LP e IP – podem ser vistos nos Apêndices C e D, respectivamente.

Tabela 5.26. Índices físicos. Amostra: Tumulação 1 – 1 m
Poço de monitoramento 1 – 1m

G_s	2,744 g/cm ³
LL	44 %
LP	28,04 %
IP	15,61 %
w	31,18 %
w_h	2,48 %

Pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), o solo se comporta como uma argila de baixa compressibilidade.

A curva de compactação com a curva de Saturação a 100% de umidade dessa amostra é dada pela Figura 5.42, em que a umidade ótima é 29% e a massa específica seca do corpo compactado é 1,45 g/cm³.

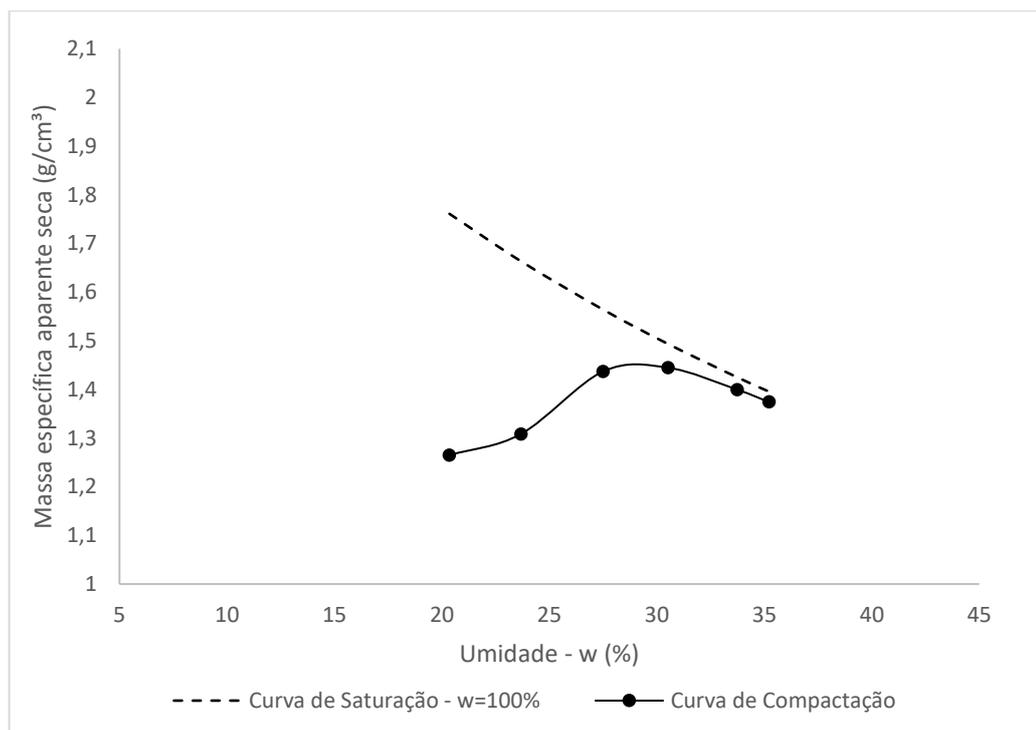


Figura 5.42- Curva de compactação e curva de Saturação a 100% de umidade. Amostra: Poço de monitoramento 1 – 1m.

Da curva de retenção da amostra indeformada para baixas e para altas sucções (Figura 5.43), observa-se um comportamento bimodal, assim como observado nas amostras coletadas no local em que serão instaladas novas tumulações.

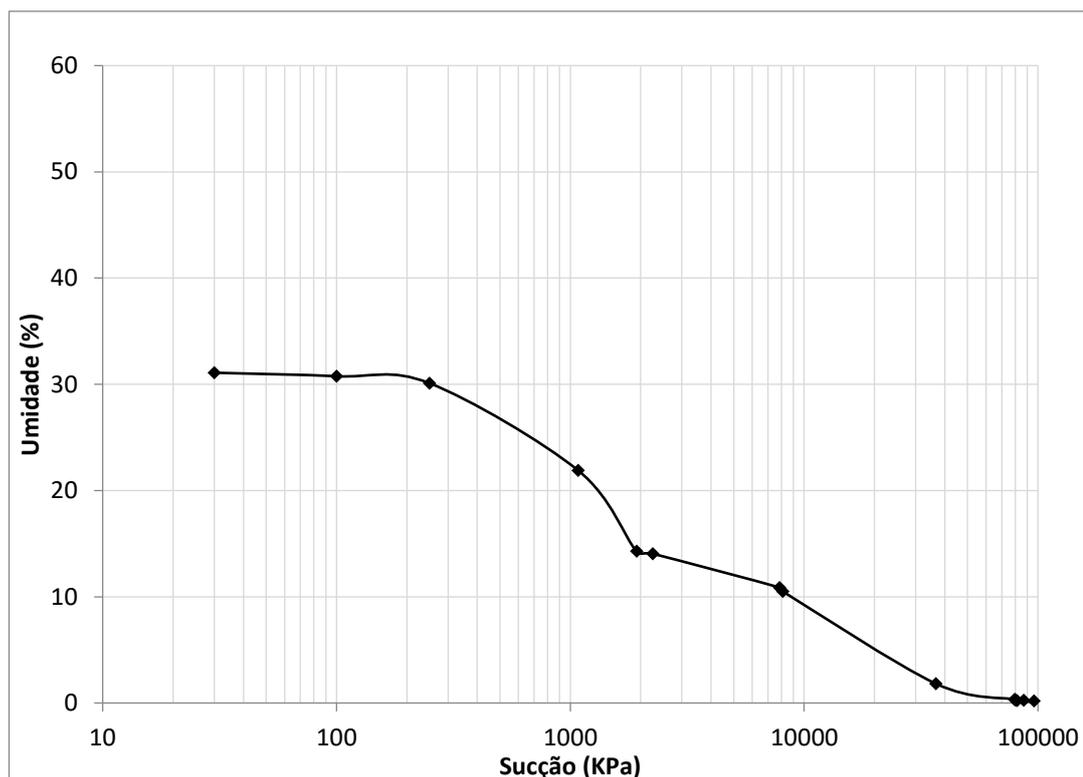


Figura 5.43- Curva de retenção medida no WP-4. Amostra: Poço de monitoramento 1 – 1m.

5.3.5 Poço de monitoramento 1 – 2 m

O solo coletado no local próximo ao poço de monitoramento 1, à profundidade de 2 m é um silte argiloso. Quando analisado pelo ensaio de granulometria com defloculante ele apresenta 43,71% de argila, 44,82% de silte, 4,12% de areia fina, 4,06% de areia média, 1,99% de areia grossa e 1,3% de pedregulho, como se pode observar na curva granulométrica na Figura 5.44. Sem o defloculante, o solo se comporta como silte argilo-arenoso, apresentou 12,56% de argila e 30,49% de silte 18,94% de areia fina, 23,92% de areia média, 12,80% de areia grossa e 1,30% de pedregulho. O Relatório completo da análise granulométrica encontra-se no Apêndice B.

Infere-se das curvas granulométricas que o solo se comporta como um silte argilo-arenoso em campo, pois a situação que mais se assemelha com a situação em campo é a do ensaio sem o defloculante.

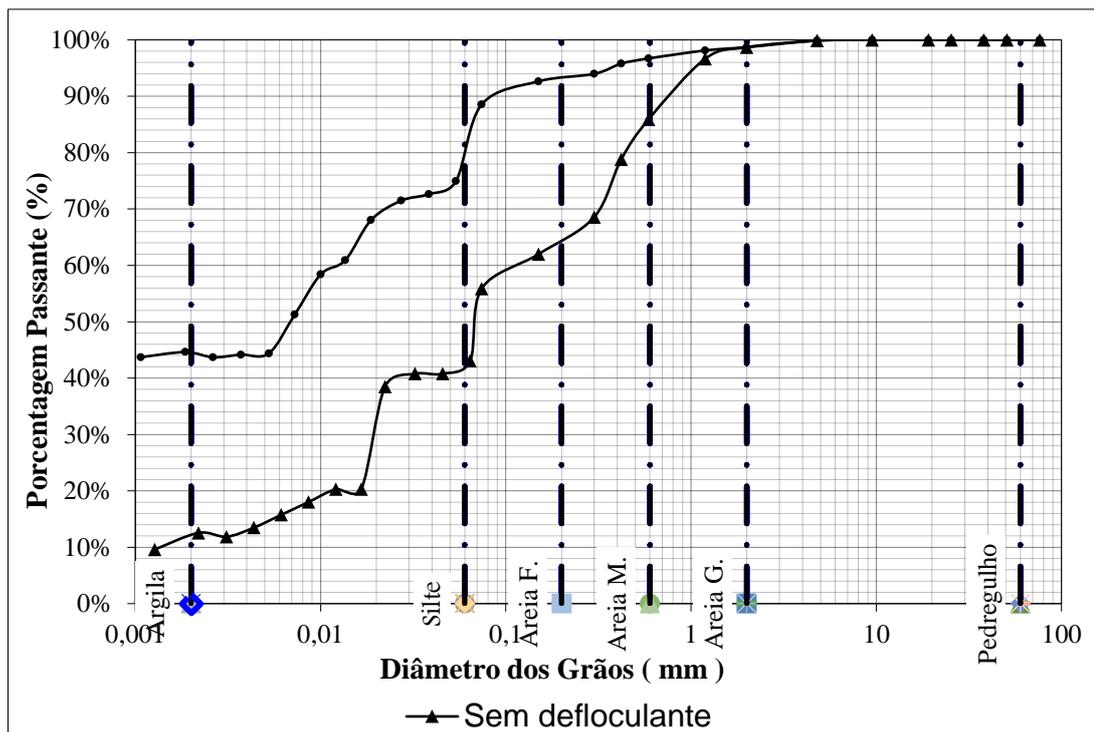


Figura 5.44- Curvas granulométricas com e sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1 - 2 m.

Na Tabela 5.27 estão apresentados os resultados da densidade relativa específica do solo (G_s), umidade natural ($w\%$), umidade higroscópica ($w_h\%$), Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), umidade ótima ($w_o\%$) de compactação. Os relatórios dos ensaios de G_s , e dos índices de consistência – LL, LP e IP – podem ser vistos nos Apêndices C e D, respectivamente.

Tabela 5.27. Índices físicos. Amostra: Poço de monitoramento 1 – 2 m
Poço de monitoramento 1 - 2 m

G_s	2,76 g/cm ³
LL	45 %
LP	27,84 %
IP	16,89 %
w	36,33 %
w_h	2,27 %

Nesse ponto de coleta, observa-se que há maior concentração de pedregulhos, isso ocorre por ser uma amostra mais profunda que conseqüentemente está mais próxima da rocha mãe e menos intemperizada. Outro fato que se evidencia nas amostras mais profundas, é o aumento do G_s , pois quanto menos intemperizado o solo, mais preservados estarão os minerais da rocha e maior será o G_s .

Pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), o solo se comporta como uma argila de baixa compressibilidade.

A curva de compactação com a curva de Saturação a 100% de umidade dessa amostra é dada pela Figura 5.45, em que a umidade ótima é 29,5 % e a massa específica seca do corpo compactado é 1,43 g/cm³.

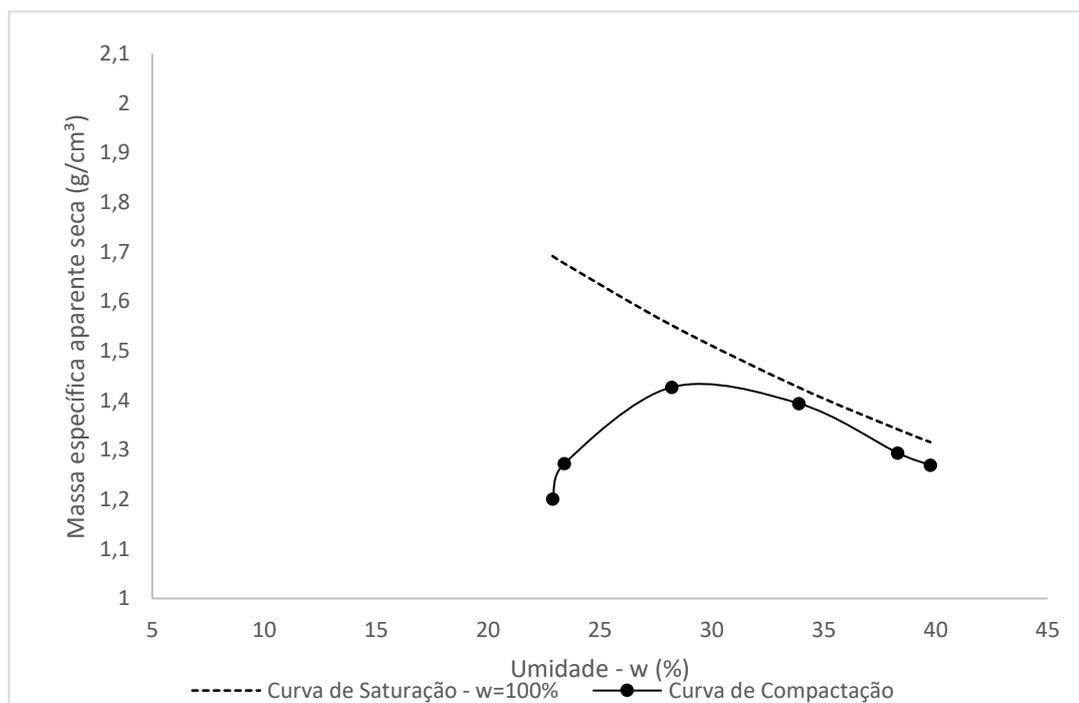


Figura 5.45- Curva de compactação e curva de Saturação a 100% de umidade. Amostra: Poço de monitoramento 1 – 2m.

Da curva de retenção da amostra indeformada para altas sucções (Figura 5.46), observa-se um comportamento bimodal.

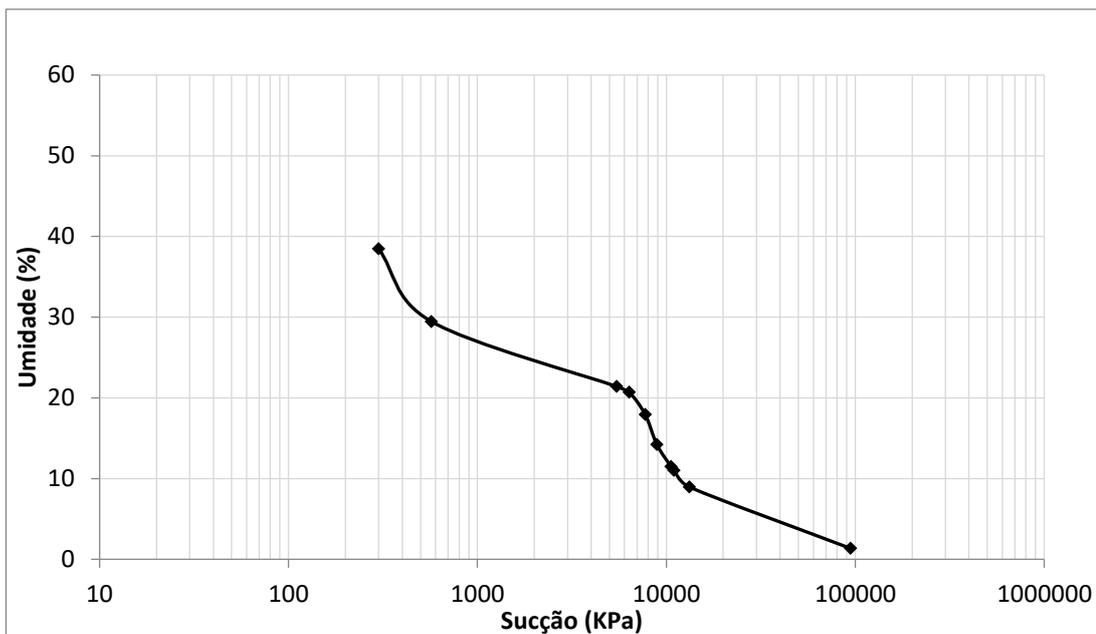


Figura 5.46- Curva de retenção medida no WP-4. Amostra: Poço de monitoramento 1 – 2 m.

5.3.6 Poço de monitoramento 3 – 1 m

O solo coletado no local próximo ao poço de monitoramento 3, à profundidade de 1 m é um silte argiloso. Quando analisado pelo ensaio de granulometria com defloculante ele apresenta 9,62% de argila, 72,06% de silte, 0,95% de areia fina, 3,27% de areia média, 6,38% de areia grossa e 7,71% de pedregulho, como se pode observar na curva granulométrica da Figura 5.47. Sem o defloculante, o solo se comporta como um silte arenoso. Apresentou 7,24% de argila 49,57% de silte, 26,28% de areia fina, 3,41% de areia média, 5,61% de areia grossa e 7,71% de pedregulho. O Relatório completo da análise granulométrica encontra-se no Apêndice B.

Infere-se das curvas granulométricas que o solo se comporta como um silte arenoso em campo, pois a situação que mais se assemelha com a situação em campo é a do ensaio sem o defloculante.

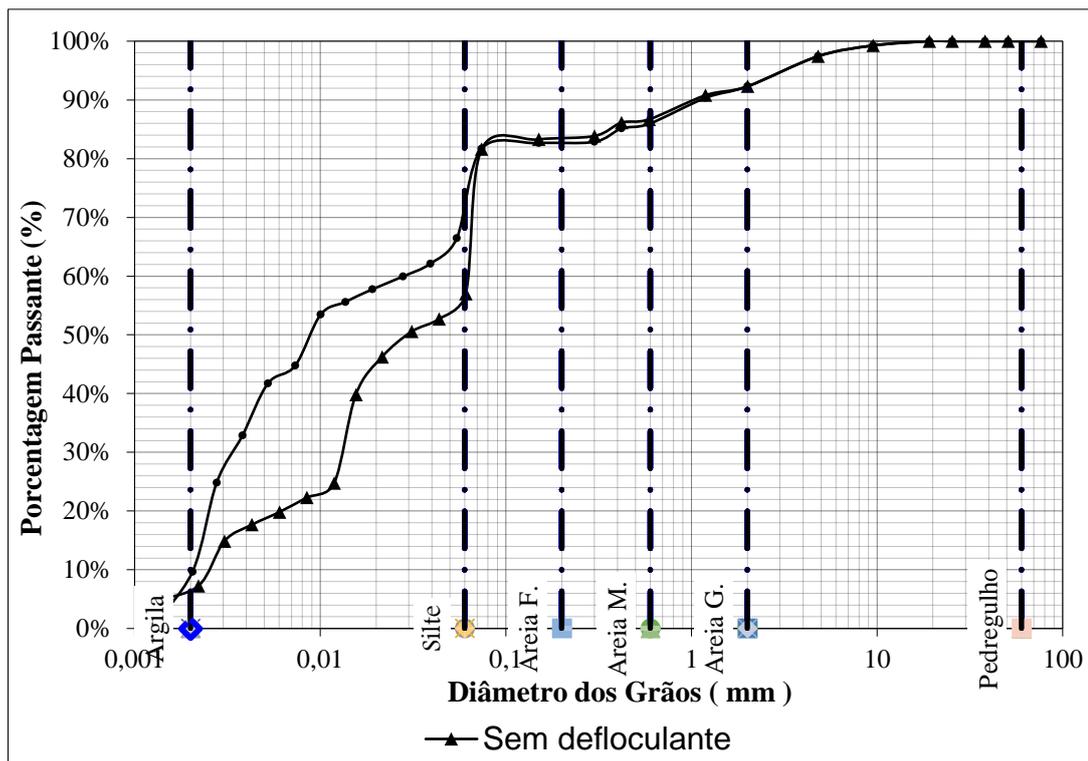


Figura 5.47- Curvas granulométricas com e sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3 - 1 m.

Na Tabela 5.28 estão apresentados os resultados da densidade relativa específica do solo (G_s), umidade natural ($w\%$), umidade higroscópica ($w_h\%$), Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), umidade ótima ($w_o\%$) de compactação. Os relatórios dos ensaios de G_s , e dos índices de consistência – LL, LP e IP – podem ser vistos nos Apêndices C e D, respectivamente.

Tabela 5.28. Índices físicos. Amostra: Poço de monitoramento 3 – 1 m

Poço de Monitoramento 3 – 1 m	
G_s	2,78 g/cm ³
LL	31 %
LP	26,07 %
IP	4,47 %
w	21,07 %
w_h	6,05 %

Pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), o solo se comporta como um silte de baixa compressibilidade (ML).

A curva de compactação com a curva de Saturação a 100% de umidade dessa amostra é dada pela Figura 5.48, em que a umidade ótima é 24,5% e a massa específica seca do corpo compactado é 1,58 g/cm³.

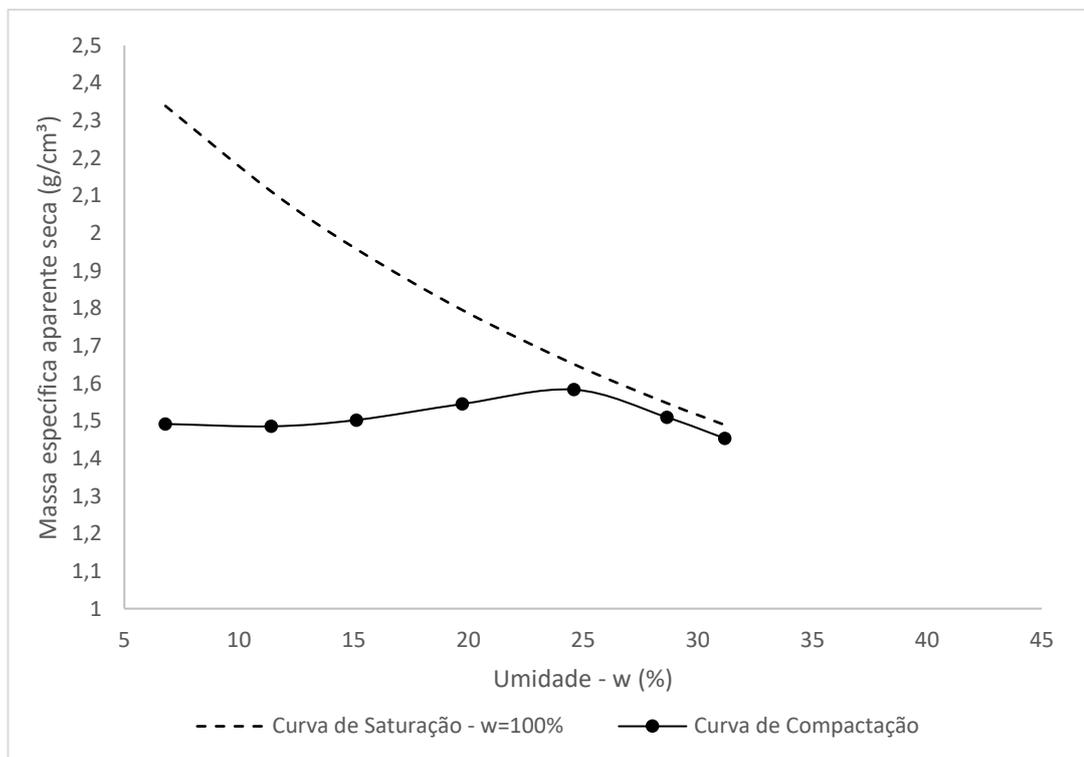


Figura 5.48- Curva de compactação e curva de Saturação a 100% de umidade. Amostra: Poço de monitoramento 3 – 1m.

Da curva de retenção da amostra indeformada para altas sucções (Figura 5.49), observa-se um comportamento unimodal, isso indica que a distribuição de poros neste solo é mais uniforme.

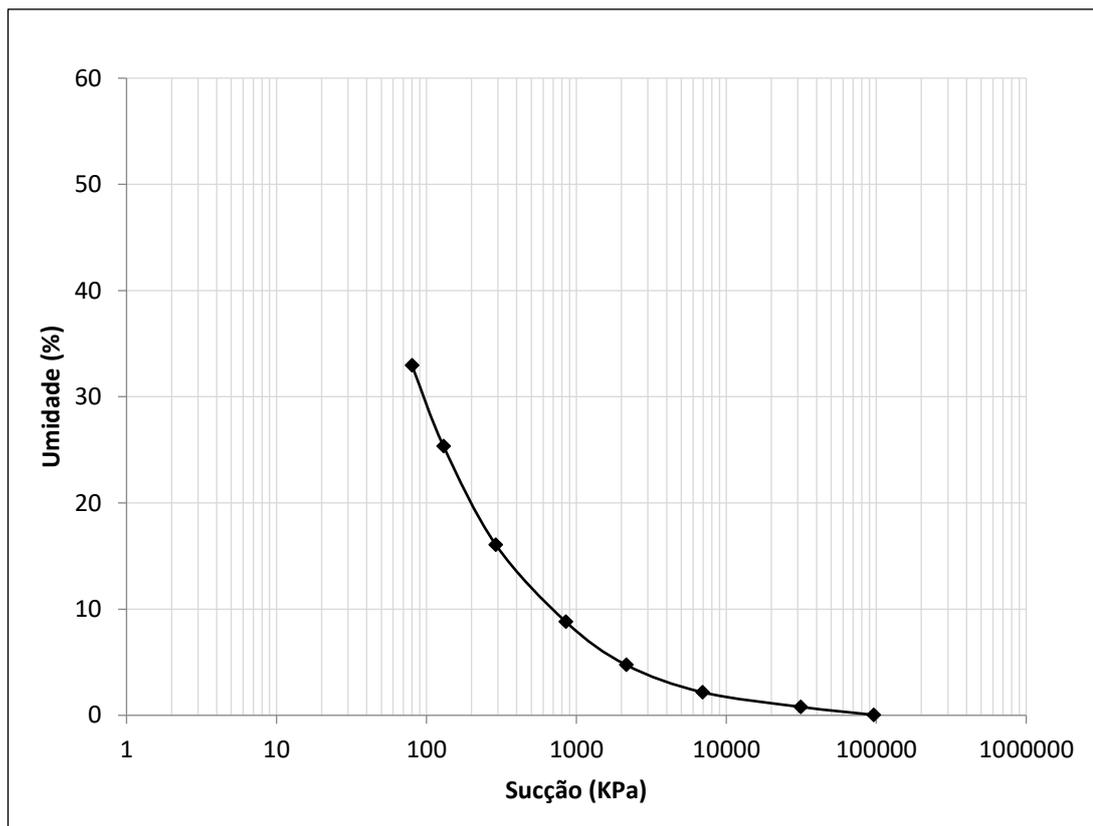


Figura 5.49. Curva de retenção medida no WP-4. Amostra: Poço de monitoramento 3 – 1m.

5.3.7 Poço de monitoramento 3 – 2 m

O solo coletado no local próximo ao poço de monitoramento 3, à profundidade de 2 m é um solo siltoso. Quando analisado pelo ensaio de granulometria com defloculante ele apresenta 12,97% de argila, 56,74% de silte, 2,74% de areia fina, 5,92% de areia média, 7,91% de areia grossa e 13,73% de pedregulho, como se pode observar na curva granulométrica da Figura 5.50. Sem o defloculante, o solo também se comporta como silte. Apresentou 8,18% de argila e 59,05% de silte 3,33% de areia fina, 5,91% de areia média, 9,81% de areia grossa e 13,31% de pedregulho. O Relatório completo da análise granulométrica encontra-se no Apêndice B.

Infere-se das curvas granulométricas que o solo se comporta como um silte arenoso em campo, pois a situação que mais se assemelha com a situação em campo é a do ensaio sem o defloculante.

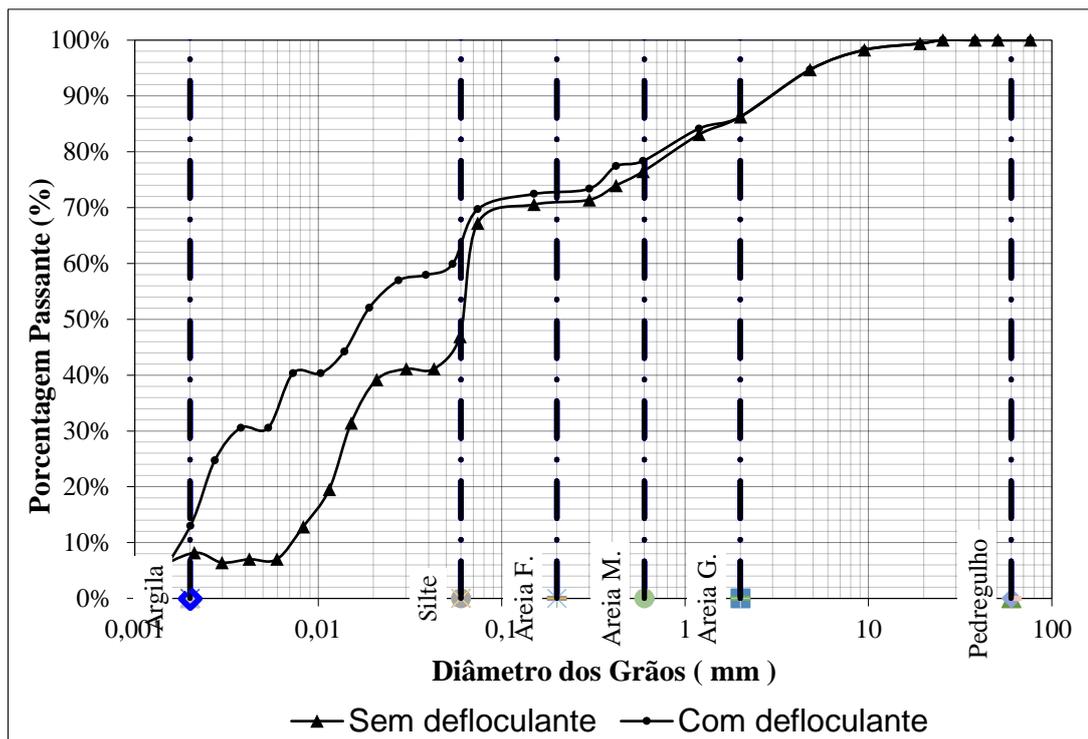


Figura 5.50- Curvas granulométricas com e sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3 – 2 m.

Na Tabela 5.29 estão apresentados os resultados da densidade relativa específica do solo (G_s), umidade natural ($w\%$), umidade higroscópica ($w_h\%$), Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP), Índice de Plasticidade (IP), umidade ótima ($w_o\%$) de compactação. Os relatórios dos ensaios de G_s , e dos índices de consistência – LL, LP e IP – podem ser vistos nos Apêndices C e D, respectivamente.

Tabela 5.29. Índices físicos. Amostra: Poço de monitoramento 3 – 2 m
Poço de monitoramento 3 - 2 m

G_s	2,80 g/cm ³
LL	33 %
LP	23,49 %
IP	9,35 %
w	20,12 %
w_h	0,3 %

Nesse ponto de coleta, observa-se que há maior concentração de pedregulhos, isso ocorre por ser uma amostra mais profunda que conseqüentemente está mais próxima da rocha mãe e menos intemperizada. Outro fato que se evidencia nas amostras mais profundas, é o aumento do G_s , pois quanto menos intemperizado o solo, mais preservados estarão os minerais da rocha e maior será o G_s .

Pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), o solo se comporta como um silte de baixa compressibilidade (ML).

A curva de compactação com a curva de Saturação a 100% de umidade dessa amostra é dada pela Figura 5.51, em que a umidade ótima é 25,5 % e a massa específica seca do corpo compactado é 1,50 g/cm³.

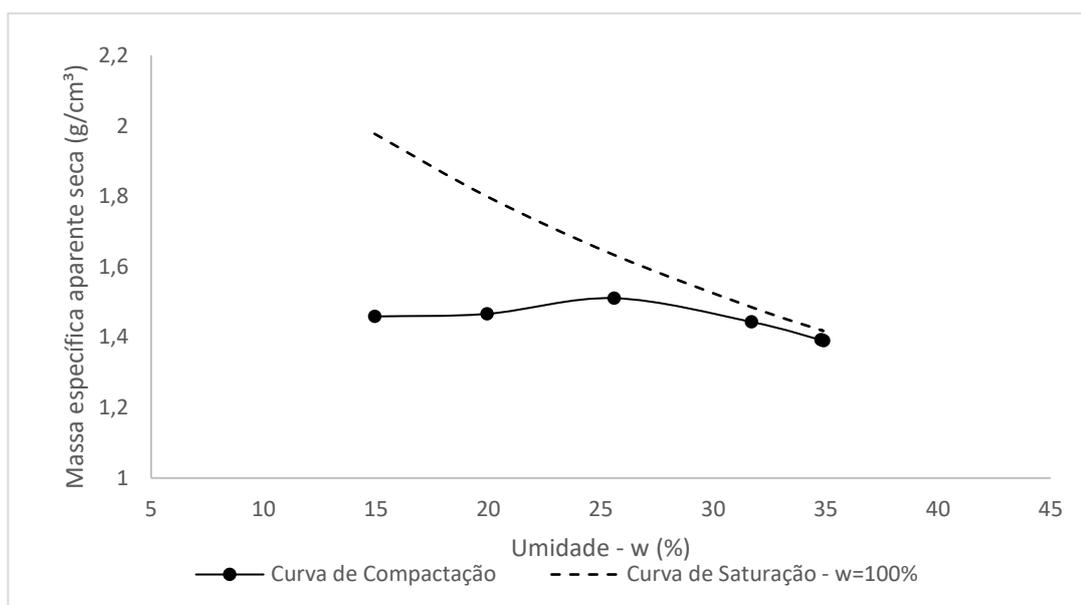


Figura 5.51- Curva de compactação e curva de Saturação a 100% de umidade. Amostra: Poço de monitoramento 3 – 2m.

5.3.8 Composição química do solo

Os compostos identificados no solo são cálcio, magnésio, potássio, sódio e ferro, conforme se pode observar na Tabela 5.30. O pH do solo varia entre ácido e neutro, a condutividade do solo é baixa, se aproxima à

condutividade da água do aquífero. O composto químico predominante no solo é o ferro.

Tabela 5.30. Análises físico-químicas de solo da unidade em estudo, amostras de solo.

Local	pH	Ca/M					Alcal. Total	Mat. Org mg L ⁻¹	N mg L ⁻¹	Ferro mg L ⁻¹	Condu t μS
		g mg L ⁻¹	Ca mg L ⁻¹	K mg L ⁻¹	Na mg L ⁻¹						
P1S	4,65	4,08	1,63	0,09	0,30	0,57	218,00	<0,10	18,40	34,40	
P1 (0,5)	7,17	32,65	13,08	0,11	0,45	0,20	10,59	<0,10	19,90	38,40	
P1 (2,0)	7,12	20,41	8,17	0,13	0,44	0,20	10,39	<0,10	20,30	19,70	
P2S	4,56	4,08	1,63	0,09	0,33	0,48	15,60	<0,10	34,00	16,50	
P2 (0,5)	6,01	8,16	3,27	0,10	0,52	0,20	18,35	<0,10	22,80	9,62	
P2 (2,0)	7,35	24,40	9,81	0,11	0,27	0,20	10,10	<0,10	23,40	32,20	
P3 (0,5)	4,78	4,08	1,63	0,10	0,26	0,20	9,37	<0,10	20,30	2,04	
P3 (2,0)	4,57	4,08	1,63	0,12	0,40	0,20	10,80	<0,10	19,10	3,85	

6 DISCUSSÃO

6.1 Discussão dos resultados das análises da água

Por meio das análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de água coletadas nos poços de monitoramento 1, 2 e 3, dispostos no Capítulo 5, desta Tese, observa-se que, apesar de ocorrer variação da concentração de índices usados para determinar se há poluição ou não, essa água não estava sendo contaminada, a ponto de torná-la imprópria para o uso, conforme estabelecido pelo MS na Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017) e pelo CONAMA na Resolução CONAMA 396, de 4 de abril de 2008, (BRASIL, 2008) e na Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005).

Ainda assim, as reclamações dos habitantes locais sobre a qualidade da água persistiam. Em vista disso, a Companhia de Saneamento de Goiás (SANEAGO) coletou amostras no entorno do cemitério, como em cisternas vizinhas ao cemitério Jardim Metropolitano de Valparaíso (Tabela 6.1), para verificar a origem da poluição reclamada pelos habitantes.

Tabela 6.1. Pontos de Monitoramentos na região do Cemitério Jardim Metropolitano em Valparaíso realizado pela SANEAGO em 2 de março de 2017.

Parâm.	Alc.	pH	cor	Cond.	Turb.	Fe	TDS
Unidade	mg L ⁻¹		mg L ⁻¹	µS	NTU	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹
1	10	5,71	20,1	16,19	4,66	0,50	8,90
2	21	5,66	4,5	99,80	3,81	0,20	54,89
3	12	5,7	2,0	162,20	1,63	0,03	89,21
4	10	5,61	2,7	100,71	0,68	0,01	55,39
5	4	3,89	0,6	83,6	1,45	0,12	45,98
6	80	6,15	0,3	148,7	1,48	0,02	81,79
7	13	5,85	1,5	23,24	1,1	0,00	12,78
8	40	6,12	8,7	98,2	5,87	0,27	54,01
9	50	6,37	13,9	155,8	4,66	0,12	85,69
10	30	6,98	36,9	135,6	11,9	0,33	74,58
Parâm.	Nitrito	Nitrato	Sulfato	N-NH3	Mn	Col. Total	E. coli
Unidade	mg L ⁻¹	P/A ou UFC	P/A ou UFC				
1	0,002	0,6	1	A	0,024	P	A
2	0,000	6,7	1	A	0,031	P	P
3	0,012	6,1	7	P	0,025	P	P
4	0,003	7,1	<1,0	A	0,015	P	P
5	0,00	25,6	<1,0	P	0,02	P	A
6	0,000	0,4	<1,0	A	0,02	P	P
7	0,016	0,8	<1,0	A	0,028	P	P
8	0,004	2,2	1	A	0,031	P	P
9	0,012	4,5	6	A	0,022	2209	243
10	0,009	3,6	6	A	0,336	1523UFC	1576

Legenda:

Poço Monitoramento amostra 1 1 H 10:20	Escola Municipal S. Araruama - Amostra 6 11, 15:15h
Qd 53 Lt 06 S. Pacaembu - 2 Amostra 3, 11:14h	Qd 18 Lt 17 S. Araruama - Amostra 13, 7 15:25h
Qd 54 Lt 74 S. Pacaembu - 3 Amostra 5, 11:21h	Casa 18 Qd 19 S. Araruama - Amostra 8 15, 15:34h
Qd 53 Lt 25 S. Pacaembu - 4 Amostra 7, 14:32h	Manancial - Final do Terreno do 9 Crematório (montante) 13:00H
Qd 08 Lt 18 S. Araruama - 5 Amostra 9, 14:50	Manancial - Final do Terreno do 10 Crematório (jusante) 14:04h

Por meio dessa nova bateria de análises, identificou-se que há contaminação de coliformes fecais nos pontos coletados, sendo que o padrão para consumo humano deve ser ausência.

A população desconhecia a origem da contaminação dos poços e passou a desconfiar que seria causada pelo cemitério, por considerar que o aquífero esteja contaminado devido às suas atividades, tal desconfiança se concretizou na 2ª Vara Cível da Fazenda Pública, de Registros Públicos e Ambiental de Valparaíso de Goiás-GO, Processo nº 2007030.36186. A

mobilização da população é pertinente, uma vez que essa região é banhada por aquíferos do Domínio Fraturado (LOUSADA, 2005; SEMARH, 2005).

Entretanto, as análises feitas demonstraram que a contaminação não provém do cemitério e sim da própria comunidade devido ao mau posicionamento de cisternas e fossas sépticas e ao mau despejo de lixo.

A variação identificada nos resultados das análises de água dos poços de monitoramento localizados no cemitério Jardim Metropolitano de Valparaíso pode ser causada por aspectos climáticos e antrópicos, além da descarga de contaminantes no local e das características do solo.

A infiltração de contaminantes no solo está diretamente relacionada com o índice pluviométrico. Por esse motivo, as curvas pluviométricas da região foram inseridas nessa fase, para expor que para um tempo de recorrência de 11 anos, com a carga de contaminantes atual, gerada pelo cemitério, essa atividade não apresentou um risco ao aquífero superficial. A Figura 6.1 - Médias mensais de chuva anual, no período de 1963 a 2018 (em ordem crescente). contém a média mensal de precipitação anual para o período compreendido entre 1963 e 2018

Quanto à influência antrópica nos resultados das análises da água, destaca-se os anos de 2007 e de 2017. A perfuração dos poços de coleta ocorreu em 2007, por esse motivo, observa-se resultados de pH e alcalinidade mais altos do que os demais, uma vez que para a perfuração do poço, utilizam-se produtos alcalinos tais como hidróxido de sódio concentração 2% barrilha leve e hipoclorito de sódio concentração 250ppm de cloro ativo. Quanto ao ano de 2017, ocorreu uma infestação de formigas e baratas, conforme constatado *in loco*, durante a coleta de amostra, e reportado à administração do cemitério, o que gerou uma distorção acentuada no resultado de mesófilos.

variancia

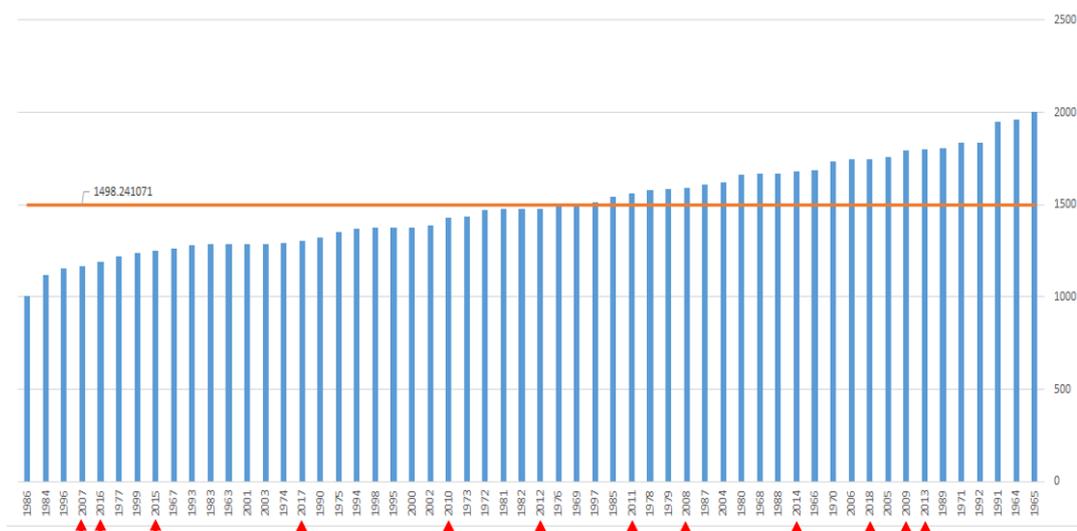


Figura 6.1 - Médias mensais de chuva anual, no período de 1963 a 2018 (em ordem crescente).

Fonte: INMET, 2019

6.2 Discussão dos resultados das análises do solo

Por meio das análises geotécnicas do solo, observou-se a existência de dois tipos de solo, argiloso e siltoso.

Os solos do cemitério, classificados como argilosos, não se encaixam perfeitamente na descrição de solos argilosos típicos, conforme a descrição inserida no item 4.1 dessa Tese. Os solos das camadas superficiais da região do Distrito Federal e entorno, embora possuam alta percentagem de argila em sua composição, não se comportam como o esperado para um solo argiloso. A porcentagem de argila pode chegar a mais de 50%, entretanto, a permeabilidade desse solo se aproxima a de um solo arenoso (ARAKI, 1997). Isso confirma a confiabilidade dos resultados dos ensaios geotécnicos, uma vez que a permeabilidade foi da ordem de 10^{-5} . A permeabilidade de solos argilosos típicos varia entre 10^{-6} e 10^{-8} (PINTO, 2002). Portanto, o solo do local em que serão instaladas novas tumulações e do poço de monitoramento 1 se comporta como um solo tropical muito intemperizado. Isso faz com que a sua permeabilidade se assemelhe à de uma areia fina.

As características físicas dos solos tropicais elencadas por Carvalho et al. (2012), são as características de solos lateríticos, e se assemelham às características identificadas nos solos do cemitério classificados inicialmente como argilosos:

- Índice de vazios maior do que os esperado para solos com a mesma granulometria. O índice de vazios elevado ocorre em função do processo de intemperismo do solo, ao longo dos anos.
- Distribuição de poros marcada pela presença de macroporos e microporos, também é um resultado do processo de intemperismo, de modo que os macroporos ocorrem entre os agregamentos de argila, e os microporos ocorrem dentro dos agregamentos dos grãos de argila.
- A estabilidade dos agregados e dos cimentos que os une pode ser perturbada por variações de umidade.
- A permeabilidade é mais alta do que em solos argilosos típicos graças a presença de macroporos.

Calle (2013), e Borges (2014) realizaram um estudo detalhado sobre a distribuição de poros nos solos tropicais do DF e entorno, identificaram um comportamento semelhante ao identificado nesta Tese. As curvas granulométricas de Calle (2013) e Borges (2014) apresentam um solo argiloso quando o ensaio é realizado com defloculante, e um silte-arenoso, quando o ensaio é realizado sem o defloculante, como se pode observar na Figura 6.2 e na Figura 6.3, respectivamente.

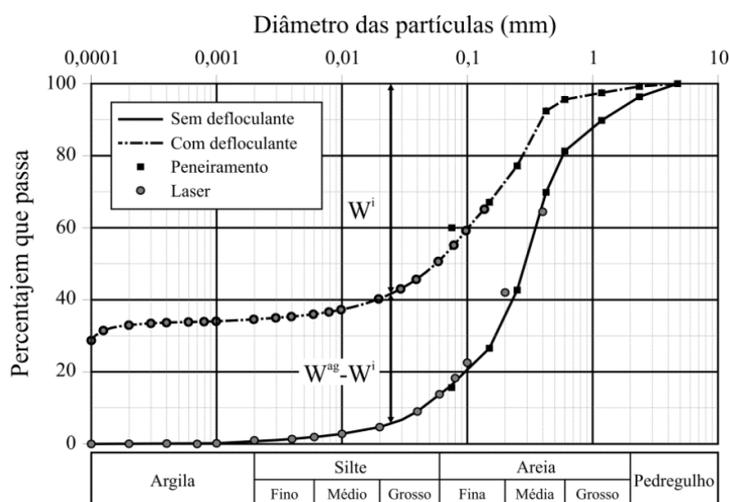


Figura 6.2- Curvas granulométricas do solo do Distrito Federal: ensaio convencional com defloculante e sem defloculante.

Fonte: CALLE, 2013.

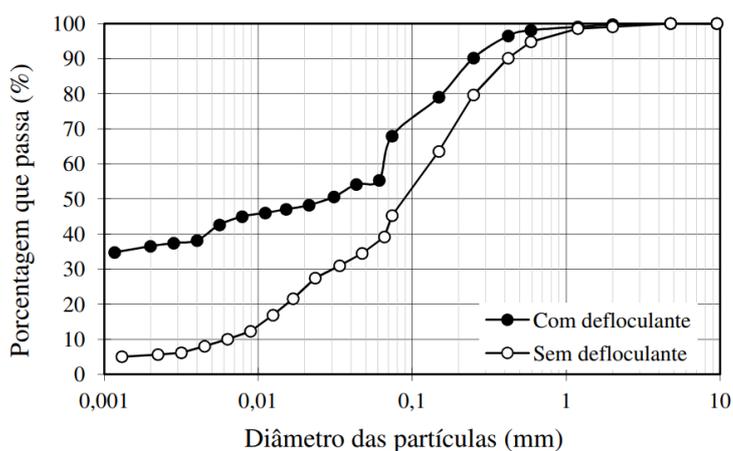


Figura 6.3- Curva granulométrica do solo de Brasília-DF (profundidade de 1,7 a 2,3 m): ensaio convencional com defloculante e sem defloculante.

Fonte: BORGES, 2014.

O processo de formação do solo tropical laterítico explica a distinção entre as curvas granulométricas com e sem defloculante. No ensaio sem defloculante, a argila forma microagregados, de modo que sua textura se assemelha a de areias-siltosas (CARVALHO et al., 2012). O ensaio sem defloculante representa a forma como o solo se comporta em campo. Por esse motivo, embora o solo tenha alta percentagem de argila em sua composição, possui a textura de um solo granular, que é conferida por um processo pedogenético contínuo, em que os oxi-hidróxidos de ferro e de alumínio atuam de modo mais ou menos intenso, formando agregados de argila (CARVALHO et al., 2012). Os oxi-hidróxidos de ferro e de alumínio são o produto da decomposição dos minerais de argila quando submetidos a condições tropicais de altas temperaturas e precipitação de chuvas (CARVALHO et al., 2012).

A porosidade e o índice de vazios são diretamente afetados pela existência das microagregações de argila, conseqüentemente, a capacidade de infiltração, a permeabilidade e a percolação também, pois estão intimamente relacionadas com a porosidade do solo.

O comportamento bimodal da curva de retenção dos solos amostrados no local em que serão instaladas novas tumulações e no poço de monitoramento 1 é causado pela distribuição dos poros em macroporos e microporos. O primeiro patamar da curva corresponde a sucção necessária para retirar a água dos macroporos existentes entre as agregações, o segundo patamar corresponde à sucção necessária para extrair a água dos microporos, contida entre os grãos de argila que compõem os agregados. Esse mecanismo é exemplificado na Figura 6.4.

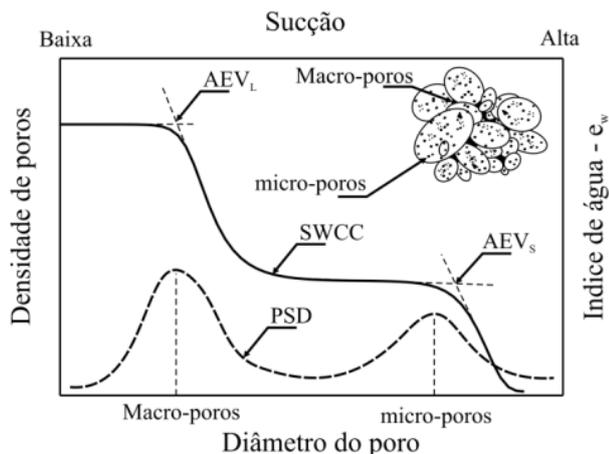


Figura 6.4- Analogia entre a função de densidade de poros e a curva de retenção.

Fonte: CALLE, 2013.

As curvas de retenção de Calle (2013) e Borges (2014), também apresentam o comportamento semelhante ao das amostras local em que serão instaladas novas tumulações e no poço de monitoramento 1, conforme a Figura 6.5 e a Figura 6.6, respectivamente. Calle (2013) aplicou sucção em amostras compactadas, utilizando diferentes técnicas de compactação e diferentes umidades. Em todos os casos, a curva apresentou o comportamento bimodal. Borges (2014) aplicou sucção em amostras naturais, compactadas e em estado de lama e em todos os casos a curva de retenção também apresentou um comportamento bimodal.

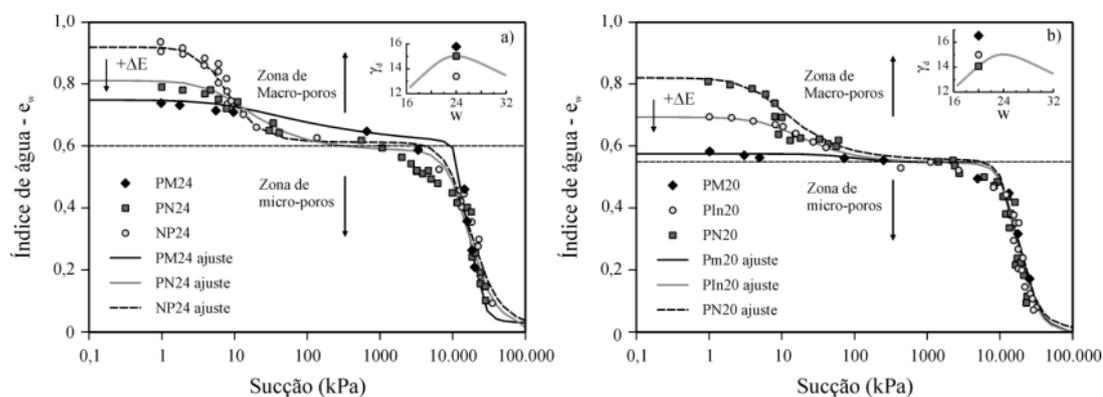


Figura 6.5- Curvas de retenção de água: a) umidade de compactação 24%, e b) umidade de compactação 18%.

Fonte: CALLE, 2013.

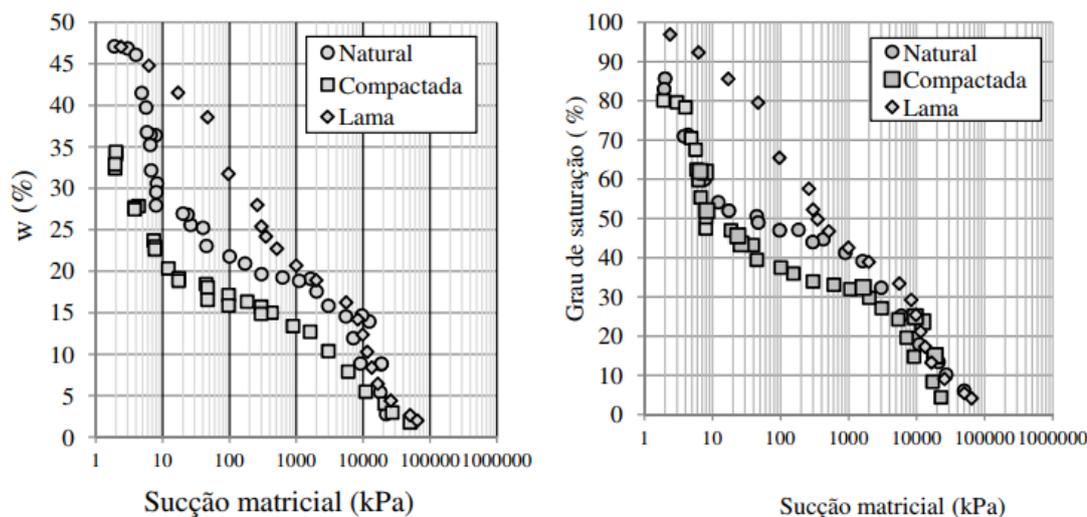


Figura 6.6- Resultados da curva de retenção do solo para amostra natural, compactada e lama.

Fonte: BORGES, 2014.

A distribuição dos poros pode ser obtida em função da inclinação da curva de retenção. Curvas mais inclinadas indicam que a distribuição dos poros é relativamente uniforme (BORGES, 2014).

Em vista das semelhanças entre os solos analisados nesta Tese e os solos estudados por Calle (2013) e Borges (2014), pode-se utilizar as análises de densidade de poros desses autores para representar a densidade de poros do solo do cemitério. A Figura 6.7 e a Figura 6.8, apresentam a densidade de poros e as imagens microscópicas da estrutura do solo ao longo do processo de compactação, respectivamente, no estudo apresentado por (CALLE, 2013).

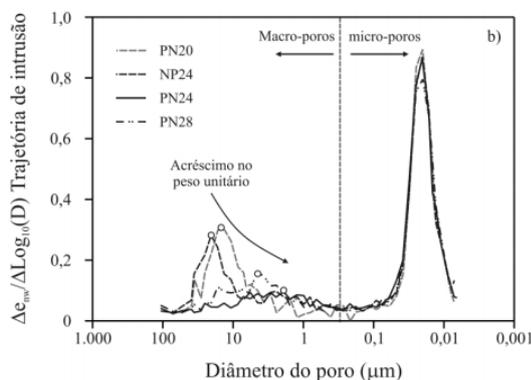


Figura 6.7- Densidade de poros das amostras compactadas com diferentes métodos

Fonte: CALLE, 2013.

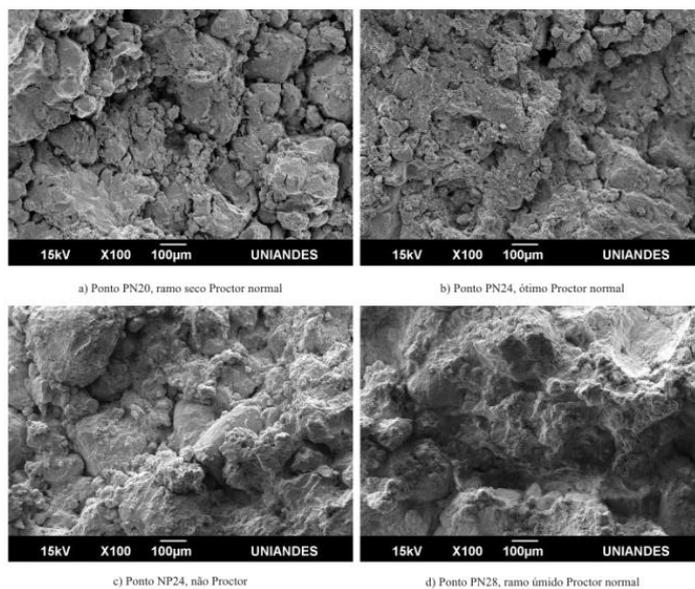


Figura 6.8- Imagens micrográficas da estrutura do solo ao longo da compactação.
Fonte: CALLE, 2013.

A Figura 6.9 e a Figura 6.10 se referem a distribuição dos poros em macro e microporos com o solo natural, compactado e lama, e as imagens microscópicas do solo natural, em que é possível observar a existência dos macroporos e das agregações de argila, respectivamente, do estudo de Borges (2014).

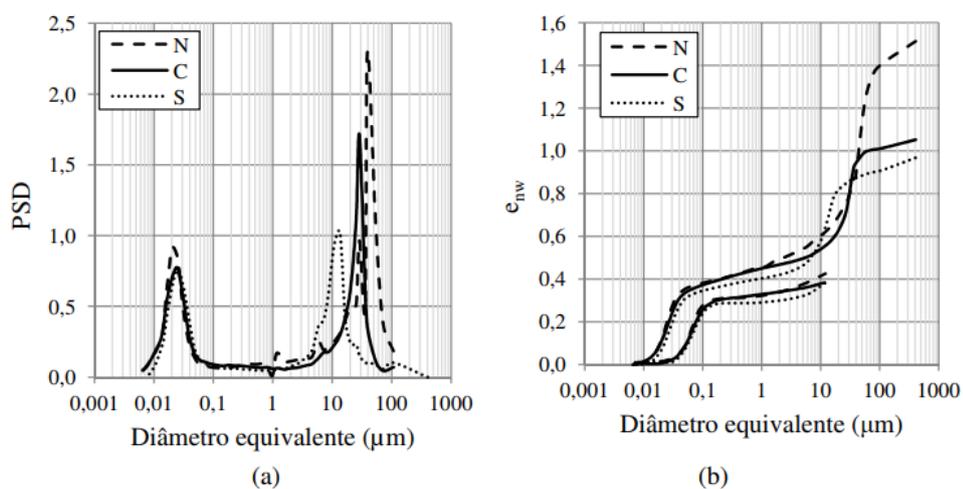


Figura 6.9- Argila porosa de Brasília em estado natural, compactado e lama: a) distribuição do tamanho dos poros; b) Densidade do tamanho dos poros.
Fonte: BORGES, 2014.

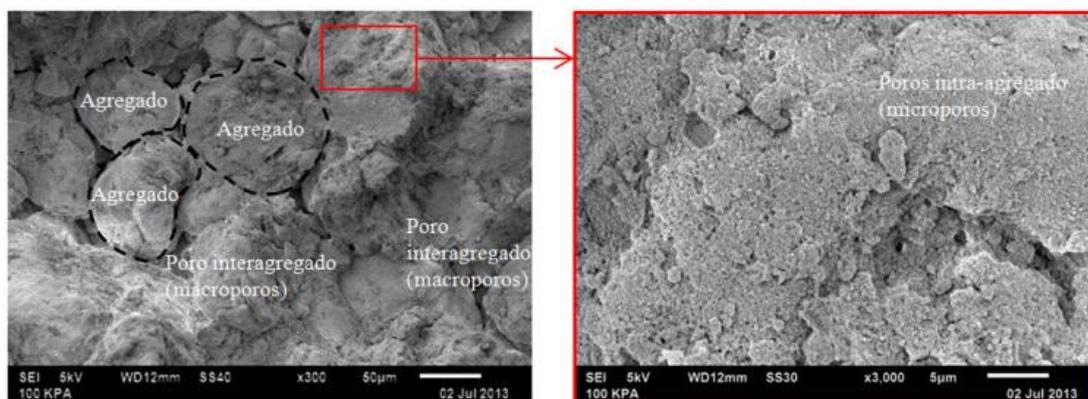


Figura 6.10- Imagens micrográficas da estrutura do solo de Brasília-DF.
Fonte: BORGES, 2014.

Conforme exposto no subitem 3.3 desta Tese, materiais muito fraturados ou grosseiros, como solos compostos por areias grossas e pedregulhos, entre o cemitério e o aquífero não são indicados pois possuem alta permeabilidade e baixa capacidade de retenção de contaminantes, de modo que o necrochorume percolaria sem sofrer nenhuma modificação até o aquífero (MIGLIORINI, 2002), e esse não é o caso do solo encontrado no Cemitério Jardim Metropolitano de Valparaíso.

Por outro lado, nos solos finos, como nos solos argilosos prevalecem condições anaeróbicas, uma vez que a sua permeabilidade é muito baixa, o que dificulta a decomposição gradual dos cadáveres. Este também não é o caso do solo do cemitério.

Muito embora os solos analisados tenham alta concentração de argila, pelas análises realizadas neste subitem, observou-se que o solo se comporta como uma areia fina, quanto a permeabilidade e a porosidade. Mesmo quando compactada, ou quando se faz presente grande quantidade de água (que seria comparável a lama) ela ainda apresenta esse comportamento, de alta permeabilidade e porosidade. Por exemplo, o solo coletado no ponto Tumulação 0-30 cm, quando no estado de compactação ótima, possui uma porosidade de aproximadamente 45%, conforme calculado a seguir. Isso representa uma redução de apenas 10% da porosidade em relação seu estado natural.

$$e = \frac{Gs}{\gamma_d} - 1 = \frac{2,719}{1,5} - 1 = 0,81$$

$$n = \left(\frac{e}{1+e} \right) \times 100 = \left(\frac{0,81}{1+0,81} \right) \times 100 = 44,75$$

Essas análises do solo confirmam os resultados da água, uma vez que o solo se mostra competente para depurar o necrochorume antes que ele atinja o aquífero. Porquanto o solo analisado se adequa aos solos citados por Dias (1962) e Pacheco (2000), que seriam ideais para receber cemitérios. É um solo misto composto por argila, silte e areia, cuja permeabilidade e porosidade permitem a entrada de oxigênio, o que facilita a decomposição dos corpos, ao passo que o pH, predominantemente ácido também facilita a decomposição. A argila permite fixar grande número de produtos de decomposição e assegurar boa purificação da água, até que o necrochorume atinja o aquífero.

O segundo tipo de solo identificado pelas análises geotécnicas foi o solo silto-arenoso. Esse solo foi coletado no poço de monitoramento 3, o poço mais afastado do cemitério, aproximadamente 1 km, cuja superfície do terreno encontra-se a um desnível de mais de 60 m em relação à altitude dos poços de monitoramento 1 e dois.

A profundidade de intemperismo do solo do DF e entorno é de aproximadamente 10 m. Ou seja, nos primeiros 10 m encontra-se um solo tropical laterítico, intemperizado, a partir dessa profundidade é predominante o solo saprolítico (CARVALHO *et al.*, 1979, apud CARVALHO *et al.*, 2012 P. 132).

Cardoso (2002) estudou cinco solos saprolítico finos de locais diferentes e encontrou o pH em água variando entre 4,05 e 4,45 e em KCL entre 4,7 e 4,8. Jacintho (2010), encontrou o valor de pH de 4,3 em água e 5,0 em KCL. O pH do solo coletado no poço de monitoramento 3 foi de 4,78 e 4,57, às profundidades de 1 e 2 m, respectivamente.

Guimarães (2002) estudou o perfil de intemperismo do solo do DF e identificou que o solo saprolítico não possui as agregações do solo laterítico, que são substituídas por aglomerações ou pacotes de argilominerais, cujo

comportamento é diferente dos agregados dos solos lateríticos. Jacintho (2010) observou que mesmo após compactar o solo saprolítico essas aglomerações permanecem intactas. Observa-se pelas curvas de compactação do poço de monitoramento 3 que a capacidade de compactação desse solo é baixa, isso indica que há poucas mudanças na estrutura desse solo, quando submetido à compactação.

O valor do peso específico relativo das amostras foi de 2,78 g/cm³ e de 2,80g/cm³ à profundidade de 1 e 2 m, respectivamente. Esse valor mais alto, para as duas profundidades analisadas, confirma a classificação dada a esse solo como saprolítico, uma vez que esse solo mantém preservada boa parte dos minerais da rocha de origem. A Tabela 6.2 apresenta o peso específico relativo de alguns solos saprolítico de barragens brasileiras (CARVALHO et al., 2012).

Tabela 6.2. Peso específico relativo dos grãos de alguns solos de barragens brasileiras.

Local	Rocha de origem	G_s (g/cm ³)	Referência
Nova Avanhadava	Basalto	2,93	Cruz (1996)
Tucuruí	Basalto	2,9	Cruz (1996)
Tucuruí	Diabásio	3,06	Cruz (1996)
Tucuruí	Metabásio	2,88	Cruz (1996)
Tucuruí	Filito	2,81	Cruz (1996)
AHE Capivara	Basalto	2,86	Cruz et al. (1975)
UHE Salto Santiago	Basalto	2,93	Sardinha et al. (1981)
UHE Euclides da Cunha	Gnaisse	2,75	Boudeaux (1983)
AHE Corumbá I	Micaxisto	2,85	Caproni Júnior et al. (1994)
APM Manso	Metassiltito/Metarenito	5,71	Jacintho (2010)

Fonte. (Carvalho, et al., 2012).

Ante o exposto, confirma-se que o solo coletado no poço de monitoramento 3 é um saprólito. Os saprólitos são compostos por uma fração de areia, de silte e de argila (NOGAMI e VILLIBOR, 1995). O fato de ser um solo misto composto por vários minerais, como feldspatos, micas, quartzo, caulinita, halosita, vermiculita, favorece a sua adequabilidade para receber cemitérios como o Jardim Metropolitano de Valparaíso.

7 CONCLUSÕES

As análises físico-químicas e microbiológicas das amostras de água retiradas dos poços localizados dentro da área do Jardim Metropolitano Cemitério não apresentaram resultados acima do estabelecidos pelo MS na Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017) e pelo CONAMA na Resolução CONAMA 396, de 4 de abril de 2008 (BRASIL, 2008) e na Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005). Portanto, conclui-se que a presença do Cemitério não afeta significativamente a qualidade da água do aquífero, ou seja, a vulnerabilidade específica à poluição originada pela presença dos túmulos é baixa, uma vez que o local em que estão dispostos foi preparado para esse tipo de atividade.

As análises de água coletadas em locais fora da área dos cemitérios, e próximos às residências (Tabela 6.1, página 142), estão em não conformidade com a Portaria de Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017 (BRASIL, 2017), com a Resolução CONAMA 396, de 4 de abril de 2008 (BRASIL, 2008) e com a Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), quando analisadas pela classificação de água doce para consumo com desinfecção.

Ou seja, a poluição alegada pela população de Valparaíso não é originada pelo Jardim Metropolitano Cemitério de Valparaíso, mas provém de maus hábitos de despejo de lixo e de esgoto da população local. Portanto, o aquífero é especificamente vulnerável à poluição originada por práticas inadequadas de despejo de lixo e esgoto sem tratamento adequado. Dessa análise, conclui-se que o aquífero é naturalmente vulnerável à poluição, ou seja, o aquífero corre risco de poluição, em razão de suas condições constitutivas.

Através da Análise de Redundância foi possível classificar as 115 amostras de água em seus respectivos locais de amostragem e ano de coleta, e verificar a confiabilidade dos dados. A RDA demonstrou graficamente todos os parâmetros analisados, distribuídos nos anos e locais de amostragem, de modo a evidenciar quais parâmetros se destacavam em cada ano e em cada poço.

Os resultados obtidos nesse estudo servem para alertar em relação à necessidade de investigações, em caráter especial, em aquíferos freáticos nas regiões onde estão localizados cemitérios que ainda enterram cadáveres no formato tradicional, situados em locais considerados vulneráveis, e com proximidade de atividades comerciais, residências e outras finalidades que façam uso de SAI e SAC, além de adjacências.

Os resultados da caracterização física do solo indicam que predominam solos finos, principalmente argilosos, na área do cemitério. Contudo, apesar da granulometria fina, em campo, tais solos possuem a característica de uma mistura que se assemelha a mistura de silte com areia. Não é recomendada a construção de jardins cemitérios sobre solos finos, principalmente sobre argilas, mas como em campo esse solo se apresenta como sendo uma mistura de areia com silte, tornando-se um meio competente para reter os poluentes do necrochorume. Além disso, a zona não saturada acima do aquífero favorece a detenção do necrochorume pelo solo, evitando que ele chegue ao aquífero.

Entretanto, é necessário que a qualidade da água e do solo sejam constantemente controlados, uma vez que o solo tem um limite de retenção de poluentes, ponto a partir do qual ele sofre desagregação, e perde a capacidade de absorver o necrochorume.

Muito embora o estudo tenha sido realizado em região restrita (considerou-se tão somente Valparaíso-GO), é possível considerar que ele serve como norteador para a elaboração de novos estudos em contextos de saúde pública e ambiental, tendo em vista que não é conferida, pelas autoridades competentes, adequada atenção ao problema que, como se demonstrou, revela a importância de sua identificação para se prevenir a

exposição das comunidades, evitando, desse modo, a promoção de impactos à saúde pública.

Em relação às águas subterrâneas e aos seu uso para o consumo humano, para fins de monitorização quantitativa e qualitativa em áreas que apresentem um risco adicional pela presença de contaminantes específicos, como no caso dos cemitérios, recomenda-se elaborar plano de amostragem intersetorial e específico, fazendo uso, também, de poços de monitoramento, perfurados em locais estratégicos, no entorno e interior do cemitério.

Assim agindo, acredita-se na possibilidade de se retratar a situação de maneira mais ampla, possibilitando, ainda, melhor analisar a situação ambiental, bem como os impactos e o real comprometimento das águas subterrâneas e superficiais, além de conhecer o quadro geral dos riscos à saúde humana abrangidos pelo consumo de água contaminada.

De outro lado, considerando-se que todas as pessoas, em quaisquer condições socioeconômicas e estágios de desenvolvimento, têm o direito de acessar suprimentos adequados e seguros de água potável, recomenda-se que os usuários da água subterrânea na área sob estudo sejam comunicados acerca dos riscos que foram apontados no presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul. **Geomorfologia**, v. 52, p. 1-22, 1977.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (BRASIL). **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Agência Nacional de Águas, Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília. 2013.

AGRA, L. M. C. . A. L. H. M. Tanatologia: uma reflexão sobre a morte e o morrer. **Pesquisa Psicológica**, 2008. Disponível em: <<http://www.pesquisapsicologica.pro.br>>.

ALCÂNTARA, L. A.; SANTOS, S. A. Contaminação de recursos naturais por necrópoles. **Revista Disciplinarium Scientia**, v. 11, p. 17-28, 2010.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. EMBRAPA - Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas. 2010.

ALNSOUR. Managing urban growth in the city of Amman, Jordan, v. 50, p. 93-99, 2016.

ANA - AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. ANA - Agencia Nacional de Águas. Brasília. 2013.

ANA. **Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. Agência Nacional de Aguas. Brasília. 2013.

ANJOS, R. M. DOS. Cemitérios: uma ameaça à saúde humana? **CREA – SC**, outubro 2013. Disponível em: <<http://www.crea-sc.org.br/portal/index.php?-cmd=artigosdetalhe&id=2635#.U2KuDWpdUpo>>.

ANKENY, M. D.; KASPAR, T. C.; HORTON, R. Characterization of tillage and traffic effects on unconfined infiltration measurements. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 2008. 837-840.

ARAKI, M. S. **Aspectos relativos às propriedades dos solos porosos colapsíveis do Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Programa de Pós-graduação em Geotecnia. Universidade de Brasília: Universidade de Brasília. 1997.

ARAÚJO, J. C.; GUNTNER, A.; BRONSTET, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, 2006. 157-170.

AUGE, M. Vulnerabilidad de acuíferos, conceptos y métodos, Buenos Aires, 2004.

BARROS, Y. J. E. A. Teores de metais pesados e caracterização mineralógica de solos do Cemitério Municipal de Santa Cândida. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Curitiba, v. 32, n. 4, p. 1763-1773, 2008. ISSN ISSN 1806-9657.

BARTOLOMUCCI, R. **Preservação óssea: um estudo tafonômico dos remanescentes ósseos humanos dos sambaquis fluviais do vele do Ribeira de Iguape**. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008.

BOHN, N. Groundwater governance in the States of São Paulo, Paraná, Santa Catarina and Rio Grande Do Sul an analysis from the instruments of the National Water Resources Policy. **Ninth International Conference on Complex**, p. 430-435, 2015.

BOHN, N.; GOETTEN, W. J. **Groundwater governance in the States of São Paulo, Paraná, Santa Catarina and Rio Grande Do Sul an analysis from the instruments of the National Water Resources Policy**. 2015 Ninth International Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS). [S.I.]: IEEE. 2015. p. 430-435.

BORGES, C. R. **Estudo microestrutural do comportamento hidromecânico do solo de Brasília-DF**. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília. Brasília: Universidade de Brasília. 2014.

BOTELHO, A. P. D. **Implementação de Metodologias de Ensaio para Determinação de Relações Constitutivas de Processos de Fluxo em**

Solos com a Utilização da Bomba de Fluxo. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: UFOP. 2001.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F. . S. D. D. **Infiltração da água no solo.** 3. ed. Viçosa: UFV, 2006.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F. . S. D. D. **Infiltração da água no solo.** Viçosa: UFV, 2006.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional de meio ambiente, 2005. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 10 outubro 2018.

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 396, de 4 de abril de 2008 Conselho Nacional de meio ambiente, 2008. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso em: 10 setembro 2018.

BRASIL. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017, Brasília, 28 set. 2017. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html>. Acesso em: 1 junho 2019.

CALLE, I. F. O. **Comportamento hidromecânico de um solo tropical compactado.** Tese (Doutorado em Geotecnia)—Universidade de Brasília. Brasília: Universidade de Brasília. 2013.

CAMPOS, 2. Poluição após a morte., 2011. Disponível em: <http://www.unesp.br/aci_ses/revista_unesp-ciencia/acervo/25/quem-diria>. Acesso em: 11 junho 2018.

CAMPOS, A. **Avaliação do potencial de poluição dos solos e nas águas subterrâneas decorrente da atividade cemiterial.** Dissertação (Mestrado em Saúde Pública). São Paulo: Universidade de São Paulo. 2007.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 7. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2015.

CARDOSO, E. J. B. N.; TSAI, SIU MUI; NEVES, MARIA CRISTINA PRATA. Microbiologia do solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,** Campinas, 2016.

CARDOSO, F. B. F. **Propriedades e Comportamento Mecânico de Solos do Planalto Central Brasileiro**. Tese de Doutorado, Publicação G.TD-009A/02. Brasília: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - UnB. 2002.

CARVALHO, A. P. D. et al. Levantamento de reconhecimento dos solos do centro-sul do Estado do Paraná (área 9). **EMBRAPASNLCS. Boletim técnico**, 11, Curitiba, 1979.

CARVALHO, J. C.; GITIRANA JR, G. F. N.; CARVALHO. Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais. **Faculdade de Tecnologia**, Brasília, 2012.

CASTRO, D. L. Caracterização geofísica e hidrogeológica do cemitério Bom Jardim, Fortaleza – CE. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 3, p. 251-271, 2008.

CASTRO, O. M. **Cultivo mínimo e propriedades físicas do solo**. 1º Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas. Curitiba: IPEF. 1995.

CHRISTANTE, L. Poluição após a morte. **Revista Unesp Ciência**, São Paulo, 2011.

COMBINATO, D. S.; SOUZA, Q. M. D. Morte: uma visão psicossocial. **Estudos de Psicologia**, Natal, 2006.

CONAMA 357:2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA**. 58-63.

CONAMA 396:2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras Providências. **Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA**. 308-318.

CUNHA, F. S. J. E. A. **Avaliação da qualidade da água do aquífero livre na região do cemitério bom Jesus dos aflitos, russas**. congresso brasileiro de águas subterrâneas. Natal: [s.n.]. 2008. p. 15.

DA SILVA, S. Recursos escassos, necessidades ilimitadas? **Revista Brasileira de Administração Política**, v. 7, p. 127, 2016.

DENT, B. B. . F. S. L. . S. B. H. Review of human decomposition processes in soil. **Environmental Geology**, v. 45, p. 576-585, 2004.

DEXTER, A. R. Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, 2004. 201-214.

DIAS, C. L. **A Importância do Monitoramento das Águas Subterrâneas na Gestão dos Recursos Hídricos**. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Natal: [s.n.]. 2008.

ELTZ. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo, Campinas, 1989. 249-267.

EMBRAPA, MANUAL DE MICROBIOLOGIA DE ALIMENTOS,. **Manual de microbiologia de alimentos**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1995.

ESPÍNDULA, C. J. **Caracterização bacteriológica e físico-química das águas do aquífero freático do cemitério da Várzea**. Dissertação (Mestrado em Geociências). Recife: Universidade Federal de Pernambuco. 2004.

FARIA, J. C. E. A. Effects of weed control on physical and micropedological properties os a brazilian ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 731-741, 1998.

FAZZIO, A. L. . D. S. F. V. . F. C. C. . & F. I. V. L. **Qualidade bacteriológica das águas subterrâneas da cidade de Maceió—resultados preliminares**. X Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Maceió. Maceio: [s.n.]. 2010.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de Massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: _____ **Geomorfologia e meio Ambiente**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2009. Cap. 3, p. 123-194.

FERREIRA, A. N. P. **Águas Subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido**. Secretária de Recursos Hídricos e Ambiente. [S.I.]. 2007.

FIGUEIREDO FILHO, Y. A.; PACHECO, A.; MANFREDINI, S. Contaminação do solo e das águas subterrâneas por sepultamentos de cadáveres e partes de animais no solo. **Águas Subterrâneas**, 2010.

FIJANI, E. Optimization of DRASTIC method by supervised committee machine artificial intelligence to assess groundwater vulnerability for

Maragheh–Bonab plain aquifer. **Journal of Hydrology**, Maragheh–Bonab, 2013. 89-100.

FIORIN, T. T. Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções, Santa Maria, 2008.

FIORIN, T. T. Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções. **Manancial**, Santa Maria, 2008.

FOFONKA, L.; KUNT, P. D. C. **Cemitérios**: potenciais fontes geradoras de impactos ambientais. Educação Ambiental em Ação. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2011.

FORBES, G. L. Human Body Composition: growth, aging, nutrition and activity. **Springer-Verlag**, New York, 1987. 523.

FORMIGA, K. T. M. et al. A infiltração e o escoamento superficial. Tópicos sobre Infiltração: Teoria e Prática Aplicadas a Solos Tropicais. In: FORMIGA **A infiltração e o escoamento superficial. Tópicos sobre Infiltração**: Teoria e Prática Aplicadas a Solos Tropicais. Brasília : Editora da Faculdade de Tecnologia, v. 1, 2012. p. 101-116.

FOSTER, S. S.; HIRATA, R. C. A. . A. B. The aquifer pollution vulnerability concept: aid or impediment in promoting groundwater protection? **Hydrogeology Journal**, 2013. 1389-1392.

FOSTER, S. S.; HIRATA, R. C. A. **Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas; una metodología basada en datos existentes**. [S.I.]: CEPIS, 1988.

FOTH, H. **Fundamentos da ciencia del suelo**. 3. ed. México: Compañía Editorial de México, (1987).

FREITAS-SILVA, F.H. & CAMPOS, J.E.G. **Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal**. SEMATEC: IEMA: MMA-SRH. Brasília. 1998.

GAUCH, H. G. J. **Multivariate analysis in community ecology**. Cambridge: University Press, 1982.

GOETTEN, W. J. Groundwater governance in the States of São Paulo, Paraná, Santa Catarina and Rio Grande Do Sul: an analysis from the instruments of the National Water Resources Policy. **Ninth International**

Conference on Complex, Intelligent, and Software Intensive Systems (CISIS), p. 430-435, 2015.

GONÇALVES, R. A.; MOTEIRO, V. E. D. **Mecânica dos solos experimental**. Campina Grande: EDUEFCG, 2018.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2016.

GUIMARÃES, R. C. **Análise das Propriedades e Comportamento de um Perfil de Solo Laterítico Aplicada ao Estudo do Desempenho de Estacas Escavadas**. Dissertação de Mestrado. Brasília: Universidade de Brasília. 2002.

HILLEL, D. Fundamentals of soil physics. **Academic press**, (2013).

HORTON, R. E. The Rôle of infiltration in the hydrologic cycle. **American Geophysical Union**, v. 14, p. 446-460, 1933.

IAL. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008.

IBGE. IBGE - Projeção da População. **IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>>. Acesso em: 11 Dezembro 2018.

JACINTHO, E. C. **Estudo de propriedades e comportamento de misturas solo-emulsão aplicado a barragens**. Tese (Doutorado em Geotecnia). Brasília: Universidade de Brasília. 2010.

JÁCOME, J. F. P. Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação de águas subterrâneas: estudo de caso em região de Juiz de Fora – MG. **Trabalho Final de Curso (Engenheiro Ambiental e Sanitarista) – Universidade Federal de Juiz de Fora.**, Juiz de Fora-MG, 2016. 56.

JÁCOME, J. F. P. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação de águas subterrâneas: estudo de caso em região de Juiz de Fora – MG**. Juiz de Fora: [s.n.]. 2016. p. 56.

JUNIOR, O. A Visão da Morte ao longo do Tempo, São Paulo, v. 38, p. 13-19, 2005.

KEMERICH, P. D. C.; AL, E. Caracterização química da água subterrânea em área ocupada por cemitério: uso da técnica de espectrometria

de fluorescência de raios-X por energia dispersiva (EDXRF). **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 13, n. 3, p. 166-182, 2012.

KEMERICH, P. D. C.; BORBA, W. F. Cemitérios e os problemas ambientais: a dura realidade brasileira. **Revista Conselho em Revista - CREA RS**, Rio Grande do Sul, v. 30, n. 1, p. 36-37, 2013.

LAHR, J.; KOOISTRA, L. Environmental risk mapping of pollutants: State of the art and communication aspects. **Science of the Total Environment**, 2010. 3899-3907.

LAUWERS. The birth of the cemetery: sacred places and land of the dead in the medieval West, Campinas, v. 1, n. 1, 2015.

LEE, J. Limits to Continuity of Unsaturated, Compacted Soils. **University of Colorado**, Colorado, 2011. 158.

LEPS, J.; P., S. **Multivariate analysis of ecological data using Canoco**. Cambridge : Cambridge University Press, 2003.

LEPSCH, I. F. As necessidades de efetuarmos levantamentos pedológicos detalhados no Brasil e de estabelecermos as séries de solos. **Revista Tamoios**, v. 9, p. 3/2013.5665-15, 2013.

LOUSADA. Estudos hidrogeológicos e isotópicos do Distrito Federal: modelos e conceito de fluxo. **Universidade de Brasília - Tese de Doutorado**, Brasília, 2005.

MANLY, B. F. J. **Métodos estatísticos multivariados – uma introdução**. São Paulo: Artmed, 2008.

MARCOMINI. Avaliação de impacto ambiental do cemitério Jardim dos Lírios do município de Bauru-SP, Bauru-SP, 2012.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.

MARTENS, H.; NAES, T. **Multivariate calibration**. New York: John Wiley, 1989.

MARTINS, E. S. & B. G. M. M. **Inventário hidrogeológico e dos recursos hídricos superficiais do Distrito Federal**. SEMATEC: IEMA: MMA-SRH. Brasília. 1998.

MARTINS, M. T.; AL, E. Qualidade bacteriológica de águas subterrâneas em cemitérios. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 47-52, 1991.

MASTROMAURO, G. C. . & S. I. O Hospital de Isolamento e o Cemitério do Araçá na cidade de São Paulo: a formação do complexo sanitário no contexto das novas descobertas científicas, São Paulo, 2007.

MATOS, B. A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microorganismo no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha**. Tese de Doutorado. São Paulo: Universidade de São Paulo. 2001.

MCBRIDE, M. B. . P. Z. H. L. Z. L. B. Z. Multiple exposure and effects assessment of heavy metals in the population near mining area in South China. **PLoS One**, 2014.

MENEZES, L. P.; O.F., W. L.; SILVA, C. H. C. Determinação da Curva de Retenção de Água em Solos Utilizando a Bomba de Fluxo. **Revista Escola de Minas** , v. 68, n. 2, p. 207-213, 2015.

MIGLIORINI, R. B. Cemitérios contaminam o meio ambiente: um estudo de caso. **Universitária**, Cuiabá, p. 50, 2002.

MIGLIORINI, R. B. **Cemitérios como fonte de poluição em aquíferos. Estudo do Cemitério Vila Formosa na bacia sedimentar de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Universidade de São Paulo. 2004.

MILLER, J. C.; MILLER, J. N. **Statistic for analytical chemistry**. 3. ed. Bodmin: PTRPH, 1993.

MOLINARI, D. C.; VIEIRA, A. F. G. **Considerações preliminares sobre a capacidade de infiltração de água no solo no Distrito Industrial II Manaus (AM)**. V Simpósio Nacional de Geomorfologia; I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. Santa Maria: [s.n.]. 2004.

MURTEIRA, B. **Análise exploratória de dados. Estatística descritiva**. Lisboa: McGraw-Hill, 1993.

NBR 6457:2016. Preparação para ensaio de compactação e ensaios de caracterização. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**, Rio de Janeiro.

NBR 6458:2016. Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8 mm – Determinação da Massa Específica. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**, Rio de Janeiro.

NBR 6459:2017. Determinação do limite de liquidez. São Paulo. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT**, São Paulo.

NBR 6502:1995. Rochas e solos. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**, São Paulo.

NBR 6508:2017. Determinação da massa específica. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**, São Paulo.

NBR 7180:2016. Determinação do limite de plasticidade. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**, São Paulo.

NBR 7181:2017. Análise granulométrica. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**, São Paulo.

NBR 7182:2016. Solo - Ensaio de compactação. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**, Rio de Janeiro.

NBR 9815: 1987. Conexões de junta elástica para tubos de PVC rígido para adutoras e redes de água. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT**.

NBR. 13.969:1997. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT**, Rio de Janeiro.

NECKEL. **Meio Ambiente e Cemitérios**. 2. ed. [S.l.]: [s.n.], v. 1, 2014.

NECKEL. Environmental damage and public health threat caused by cemeteries: a proposal of ideal cemeteries for the growing urban sprawl. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 9, p. 216-230, jan 2017.

NOGAMI, J. S.; VILLIBOR. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. São Paulo: Villibor, 1995.

NOVAES PINTO, M. Caracterização Geomorfológica do Distrito Federal - Caracterização, Ocupação e Perspectivas Brasília. **Cerrado**, Brasília, p. 285-320, 1994.

OKA, T. Rainfall infiltration and macropores in a hillside slope. In FOK, Y. (ed). Infiltration principles and practices. **Water Resources Research Center**, Honolulu, 1988. 168-177.

OS domínios morfoclimáticos na América do Sul. Geomorfologia. **Universidade de São Paulo**, n.52, 1977. 1-22.

PACHECO, A. Os cemitérios como risco potencial para as águas de abastecimento.. **Revista do Sistema de Planejamento e Administração Metropolitana**, São Paulo, p. 25-31, 1986.

PACHECO, A. Cemitério e Meio Ambiente. **Tema de Livre Docência, Instituto de Geociências**, São Paulo, 2000.

PACHECO, A.; MATOS, B. A. Cemitérios e meio ambiente:critérios para a implantação e norma técnica, v. 7, n. 33, p. 13-15, 2000.

PENNA, L. R. **Estudos da construção de aterros em depósitos estratificados de rejeitos de mineração**. Dissertação de Mestrado. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2008.

PINTO, C. S. Curso básico de mecânica dos solos. **Oficina de Textos**, São Paulo, 2002.

PORTARIA DE CONSOLIDAÇÃO Nº 5. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial da União**, 28 setembro 2017.

REBOUÇAS, A. C. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. **Águas subterrâneas**, São Paulo, n. 3, 2006.

REICHERT, E. A. Selamento superficial e infiltração de água em solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Rio Grande do Sul, v. 16, p. 289-298, 1992.

REINERT, E. A. Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**, Santa Maria, 2001.

RUSSEL, M. B. Pore-size distribution as a measure of soil struture. **Soil Science Society of America Proceeding**, Madison, 1941.

SANTOS, H. G.; ET AL. Sistema brasileiro de classificação de solos. **EMBRAPA**, Brasília, n. 5, p. 353, 2018.

SARAIVA, F. A. **Avaliação de Métodos Geofísicos no Comportamento Esácoacial de Plumas de Necrochorume**. Tese Doutorado. São Paulo: USP. 2010.

SEMARH. Mapa Ambiental do Distrito Federal. **SEMARH DISTRITO FEDERAL**, Brasília, 2005. Disponível em: <www.semarh.df.gov.br>. Acesso em: 25 JAN 2011.

SILVA, C. L.; KATO, E. Efeito do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira Brasília**, Brasília, 1997. 213-220.

SILVA, R. W. C.; FILHO, W. M. Cemitérios como áreas potencialmente contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, set. 2008.

SILVA, R. W. D. C.; MALAGUTTI FILHO, W. Cemitérios: fontes potenciais de contaminação. **Revista Ciência Hoje**, v. 244, p. 24-29, 2009.

SILVA, V. T. D.; AL., E. **Um olhar sobre as necrópoles e seus impactos ambientais**. III Encontro da ANPPAS. Brasília: [s.n.]. 2006.

SILVEIRA, A. D.; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. F. Infiltração e armazenamento no solo. **TUCCI, CEM Hidrologia: ciência e aplicação**, n. 4, p. 335-372, 2013.

SINGH, E. A. Residue and tillage management effects on soil properties of a Typic Cryoboroll under continuous baley. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, 1994. 117-133.

SMILAUER, P.; J.F., T. B. C. **FORTRAN Program for Canonical Community Ordination by (Partial) (Canonical) Correspondence Analysis, Principal Components and Redundancy Analysis**. Cambridge: Plant Research International, 2018.

SMWW. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21. ed. Washington-DC,: APHA; AWWA; WPCF, 2005.

SOARES, V. R. C. Caracterização do fluxo subterrâneo das águas na porção sudoeste da bacia representativa de Juatuba, Belo Horizonte, 2010. 166.

SOUZA, R. C. E. A. Metagenomic analysis reveals microbial functional redundancies and specificities in a soil 40 under different tillage and crop-management regimes, v. 86, p. 106-112, 2015.

TEDESCO, A. M. **Avaliação Da Vulnerabilidade Das Águas Subterrâneas Por Meio Dos Métodos AHP E TOPSIS**. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná. [S.l.]. 2018.

TEIXEIRA, W. **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.

TRINDADE. **Meio Ambiente e Cemitérios**. 2. ed. [S.l.]: [s.n.], v. 1, 2014.

UEDA, S. M.; AL, E. Comparação entre a microbiota da terra nos cemitérios: locais virgens e locais onde são enterrados corpos. **Arq Med Hosp Fac Cienc Med Santa Casa São Paulo**, São Paulo, v. 56, n. 2, p. 74-79, 2011.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 213-223, 2011.

VIANA, E. A. Hypoglycemic and anti-lipemic effects of the aqueous extract from *Cissus sicyoides*. **BMC**, junho 2004.

VIEIRA, C. P.; PALMIER, L. R. Medida e Modelagem da Interceptação da Chuva em uma Área Florestada na Região Metropolitana de Belo Horizonte. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Minas Gerais, v. 11, n. 3, p. 101-112, 2006.

VIEIRA, C. P.; PALMIER, L. R. Medida e Modelagem da Interceptação da Chuva em uma Área Florestada na Região Metropolitana de Belo Horizonte. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Belo Horizonte, v. 11, n. 3, p. 101-112, 2006.

VIZZOTTO ET AL. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Revista Ciência Rural**, v. 30, n. 6, p. 965-969, 2000.

WASTOWSKI, A. D.; AL., E. Caracterização dos níveis de elementos químicos em solo, submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, utilizando espectrometria de fluorescência de raios-x por energia dispersiva (EDXRF). **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 7, p. 1449-1452, mar/abr 2010.

WEBER, D. P. **Análise da normatização acerca da implantação de cemitérios**. Dissertação (Especialização em Gestão Ambiental). Santa Maria: [s.n.]. 2010.

ZHANG. Osteoarcheological studies of human systemic stress of early urbanization in late Shang at Anyang. **PLOS ONE**, Shang at Anyang, v. 11, n. 4, p. e0151854, 2016.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Tabelas dos resultados estatísticos

Tabela A.1 - Medidas-resumo de pH por ano (2007-2018).

INFORMAÇÃO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mediana	6.55	6.31	5.63	4.93	5.12	5.81	6.12	6.18	6.58	5.73	5.36	5.20
1º Quartil	6.43	5.89	5.40	4.74	4.29	5.62	5.97	6.14	6.29	5.67	5.29	5.06
Máxima	6.59	6.57	6.79	5.72	6.14	6.59	6.39	6.34	7.27	7.76	5.97	5.83
Mínima	6.08	5.43	4.93	4.01	4.10	5.33	5.56	5.95	6.02	5.56	5.10	5.00
3º Quartil	6.56	6.47	5.96	5.05	5.88	6.06	6.31	6.27	6.66	6.25	5.69	5.68
Desv. Pad.	0.24	1.19	0.87	0.67	0.97	0.88	0.89	1.02	0.93	1.42	0.92	0.95
Média	6.44	5.75	5.51	4.72	4.92	5.65	5.85	5.87	6.29	5.69	5.17	5.01

Tabela A.2 - Medidas-resumo de alcalinidade por ano (2007-2018).

INFORMAÇÃO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mediana	18.97	7.59	11.38	11.38	17.08	11.38	11.38	11.38	11.38	11.38	11.38	7.59
1º Quartil	17.07	7.59	7.59	7.59	7.59	10.43	11.38	11.38	7.59	11.38	7.59	4.74
Máxima	22.70	15.18	18.97	18.97	22.76	15.18	26.56	15.18	26.56	15.18	26.56	7.90
Mínima	11.38	7.59	3.79	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	3.79	7.59	7.59	3.79
3º Quartil	19.90	7.59	15.18	15.18	18.97	15.18	15.18	15.18	15.18	11.38	13.28	7.59
Desv. pad.	4.75	3.33	5.00	4.35	6.71	3.93	5.81	4.17	6.42	3.85	7.15	2.23
Média	18.01	7.97	10.79	11.03	14.24	11.32	12.78	11.30	11.33	10.18	11.28	5.89

Tabela A.3 - Medidas-resumo de concentração de O₂ por ano (2007-2018).

INFORMAÇÃO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mediana	1.62	4.68	4.41	4.43	5.95	3.61	4.35	4.88	6.12	5.37	5.89	6.05
1º Quartil	1.31	4.48	3.86	4.06	5.58	3.08	3.16	4.55	4.27	4.52	5.76	5.93
Máxima	1.83	5.29	7.12	6.23	6.92	6.10	6.92	6.92	9.98	8.35	6.80	7.12
Mínima	1.00	3.45	2.84	2.60	4.08	2.63	2.10	0.93	0.12	3.40	5.70	5.49
3º Quartil	1.83	4.88	4.68	5.02	6.36	4.33	5.69	5.90	7.63	5.87	6.46	6.56
desv pad	0.40	0.78	1.07	1.16	1.08	1.12	1.64	1.79	2.53	1.80	1.19	1.33
Média	1.52	4.39	4.34	4.43	5.64	3.85	4.25	4.75	5.80	5.11	5.73	5.76

Tabela A.4. - Medidas-resumo de condutividade por ano (2007-2018).

INFORMAÇÃO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mediana	6.98	28.40	21.90	21.30	21.60	18.42	21.36	19.21	26.30	24.25	21.30	32.00
1º Quartil	4.50	22.46	16.90	16.97	16.66	13.73	14.06	17.88	22.04	20.89	15.57	22.80
Máxima	21.10	53.90	45.50	47.61	35.20	28.01	55.30	30.35	43.40	42.50	49.30	70.50
Mínima	4.50	11.65	12.50	8.72	14.55	7.99	10.33	16.98	6.69	16.16	10.22	18.04
3º Quartil	12.36	37.50	31.80	26.61	26.28	24.63	32.75	30.10	32.00	30.83	31.00	49.00
desv.Pad	7.83	16.09	11.01	11.00	8.75	7.74	14.35	8.34	10.78	12.52	15.45	22.91
Média	9.89	27.11	22.37	21.22	21.21	17.33	23.36	20.60	24.58	23.28	22.12	32.85

Tabela A.5 - Medidas-resumo de dureza por ano (2007-2018).

INFORMAÇÃO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mediana	6.12	8.16	8.16	8.16	14.29	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16
1º Quartil	4.08	6.12	8.16	8.16	8.16	7.14	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16
Máxima	16.33	12.24	24.49	16.33	28.57	12.24	20.41	40.82	12.24	12.24	24.49	8.16
Mínima	4.08	4.08	4.06	4.08	8.16	4.08	8.16	8.16	4.08	8.16	4.08	3.79
3º Quartil	10.20	8.16	12.24	12.24	20.41	8.16	13.26	8.16	12.24	11.22	8.16	8.16
Desv.Pad	5.77	3.07	5.81	3.54	8.22	2.93	5.27	14.13	14.13	3.13	6.59	2.34
Média	8.16	7.01	10.41	9.02	14.36	7.45	10.59	14.18	8.57	8.59	9.05	6.80

Tabela A.6 - Medidas-resumo de turbidez por ano (2007-2018).

INFORMAÇÃO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mediana	19.45	0.52	0.32	0.44	0.27	0.23	0.87	0.39	0.50	0.26	5.56	7.45
1º Quartil	0.29	0.43	0.25	0.20	0.10	0.08	0.51	0.02	0.16	0.18	4.92	5.40
Máxima	54.10	1.07	0.79	15.00	41.20	50.80	39.60	29.00	45.00	7.80	53.30	22.80
Mínima	0.29	0.10	0.11	0.12	0.02	0.02	0.18	0.02	0.03	0.11	3.44	2.36
3º Quartil	42.48	0.63	0.55	0.75	1.06	1.65	2.37	3.60	1.49	0.79	29.65	18.01
Desv Pad	27.34	0.91	0.73	4.44	11.25	13.96	11.43	8.91	8.93	2.84	19.07	8.53
Média	23.32	0.85	0.57	2.38	3.89	5.29	5.67	4.32	5.52	1.79	16.80	9.90

Tabela A.7 - Medidas-resumo de concentração de ferro por ano (2007-2018).

INFORMAÇÃO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mínimo	0,95	0,29	0,30	0,24	0,20	0,12	0,23	0,90	0,12	0,18	0,12	0,10
1º Quartil	3,37	0,70	0,47	0,44	0,24	0,15	0,30	0,11	0,19	0,22	0,16	0,13
Mediana	4,30	0,91	0,74	0,48	0,29	0,25	0,41	0,24	0,24	0,25	0,18	0,19
Média	3,55	1,05	0,93	0,58	0,35	0,35	0,43	0,40	0,56	0,35	0,27	0,25
3º Quartil	4,48	1,55	1,41	0,81	0,42	0,46	0,51	0,81	0,44	0,28	0,23	0,30
Máximo	4,67	1,69	1,78	0,94	0,56	0,87	0,80	0,93	4,27	0,89	0,79	0,62
Desvio Padrão	1,75	0,49	0,54	0,28	0,19	0,26	0,16	0,35	1,03	0,27	0,23	0,19

Tabela A.8 - Medidas-resumo de sólidos dissolvidos totais por ano (2007-2018).

INFORMAÇÃO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mediana	10.85	21.50	17.43	15.73	20.74	16.36	19.83	17.78	23.60	19.98	19.00	21.60
1º Quartil	7.23	17.52	14.10	14.17	14.64	12.18	13.12	16.85	20.13	16.22	14.17	15.28
Máxima	32.50	27.80	39.00	24.00	29.60	24.07	51.30	28.00	39.60	38.40	34.80	48.20
Mínima	7.23	9.50	10.54	7.38	12.82	7.31	8.62	14.85	6.10	14.56	9.12	12.48
3º Quartil	18.98	27.40	22.71	21.25	26.00	21.95	30.50	26.00	29.00	28.20	25.35	32.95
Desv Pad	11.93	9.09	8.91	6.06	7.88	6.74	13.30	7.49	8.13	11.47	10.76	15.38
Média	15.36	18.95	18.32	15.90	19.30	15.50	21.52	18.76	22.69	20.26	18.12	22.40

Tabela A.9 - Medidas-resumo de DQO por ano (2007-2018).

INFORMAÇÃO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mediana	1.62	4.68	4.41	4.43	5.95	3.61	4.35	4.88	6.12	5.37	5.89	6.05
1º Quartil	1.31	4.48	3.86	4.06	5.58	3.08	3.16	4.55	4.27	4.52	5.76	5.93
Máxima	1.83	5.29	7.12	6.23	6.92	6.10	6.92	6.92	9.98	8.35	6.80	7.12
Mínima	1.00	3.45	2.84	2.60	4.08	2.63	2.10	0.93	0.12	3.40	5.70	5.49
3º Quartil	1.83	4.88	4.68	5.02	6.36	4.33	5.69	5.90	7.63	5.87	6.46	6.56
Desv Pad	0.24	1.19	0.87	0.67	0.97	0.88	0.89	1.02	0.93	1.42	0.92	0.95
Média	0.90	3.74	4.40	2.85	8.23	6.62	5.81	5.15	5.18	4.76	5.09	5.53

Tabela A.10 – Medidas-resumo de DBO por ano (2007-2018).

INFORMAÇÃO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mediana	0.00	0.00	4.62	4.49	3.71	4.95	2.90	3.11	2.90	2.85	2.95	3.14
1º Quartil	0.00	0.00	4.08	3.81	3.08	3.64	2.70	2.97	2.10	2.48	2.92	3.01
Máxima	0.00	5.49	6.90	6.87	13.95	7.41	4.60	3.96	4.13	4.10	3.60	4.56
Mínima	0.00	0.00	3.12	2.75	2.16	2.12	2.30	2.16	1.00	2.30	2.58	3.00
3º Quartil	0.00	3.99	4.87	5.29	5.69	5.86	4.28	3.32	3.20	3.30	3.07	3.29
Desv Pad	0.00	2.30	1.01	1.38	3.56	1.57	0.84	0.52	0.85	0.62	0.28	0.57
Média	0.00	2.06	4.46	4.56	5.05	4.60	3.32	3.14	2.79	2.99	3.01	3.30

Tabela A.11 – Medidas-resumo de Mesófilo por ano (2007-2018).

INFORMAÇÃO	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Mediana	68.00	8.00	7.00	27.00	39.00	13.50	22.00	35.00	69.00	63.50	300.00	63.00
1º Quartil	55.00	0.00	5.00	14.25	22.50	9.75	16.50	17.00	55.00	54.75	280.00	42.50
Máxima	77.00	25.00	70.00	61.00	213.0	87.00	102.00	115.0	194.0	422.00	420.00	254.00
Mínima	43.00	0.00	1.00	3.00	19.00	0.00	12.00	11.00	16.00	11.00	110.00	20.00
3º Quartil	77.00	17.00	50.00	37.25	46.25	24.75	51.50	53.00	79.00	95.50	356.00	95.50
Desv. Pad.	16.37	9.97	24.77	17.58	53.98	22.79	28.68	40.31	42.94	144.89	147.19	84.43
Média	64.00	8.75	21.29	25.31	49.54	20.31	33.08	42.90	68.25	103.00	254.43	77.86

APÊNDICE B. Relatórios das análises granulométricas

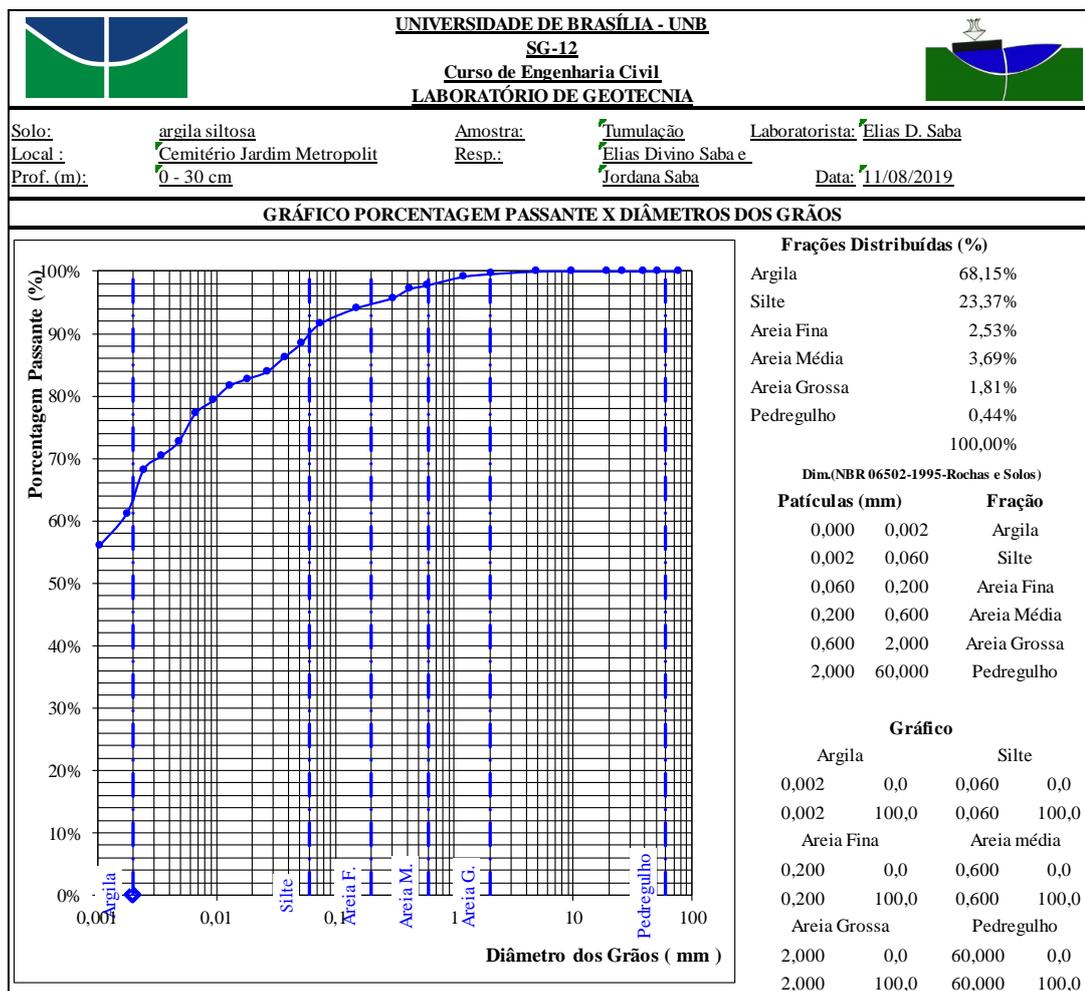


Figura B.1 – Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 0 a 30 cm. Parte 1.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB		SG 12		Curso de Engenharia Civil		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA						
NBR 07181 - 2018 - Solo - Análise Granulométrica (com sedimentação)												
Solo:	Argila siltosa	Amostra:	Tumulação	Laboratorista:	Elias D. Saba							
Local :	Cemitério Jardim Metropolitano - Valparaíso	Resp.:	Elias Divino Saba e Jordana Saba		Jordana Saba							
Prof. (m):	0 - 30 cm		Jordana Saba	Data:	11/08/2019							
Teor de Umidade da Amostra				Determinação da Amostra Total Seca								
Cápsula Nº	31	49	28	Peso da Amostra Úmida (g) : 1000								
Peso da Cápsula (g)	44,9	41,29	41,58	Peso da Amostra Retida na # 10 (g) : 4,35								
Cápsula + Solo Úmido (g)	78,76	72,18	74,77	Peso da Amostra Passante na # 10, Úmida (g) : 995,65								
Cápsula + Solo Seco (g)	78,32	71,81	74,36	Peso da Amostra Passante na # 10, Seca (g) : 983,26								
Peso de Água (g)	0,44	0,37	0,41	Peso de Água (g) : 12,39								
Solo Seco (g)	33,42	30,52	32,78	Peso da Amostra Total Seca (g) : 987,61								
Teor de Umidade	1,32%	1,21%	1,25%	Mh (Sedimentação) (g) : 70								
Teor de umidade Médio	1,26%											
Dados de Ensaio												
					PORCENTAGEM							
PENEIRAMENTO	FRAÇÃO GROSSA	Peneira		Peso da Peneira (g)	Peneira + Material (g)	Material Retido (g)	RETIDA			PASSANTE		
		Nº	mm				Fração Fina	Fração Grossa	Acumulada	Fração Fina	Fração Grossa	
			3"	76,2			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			2"	50,8			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1,5	38,1			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1"	25,4			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			3/4"	19,1			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			3/8"	9,5	0	0	0,00		0,00%	0,00%		100,00%
		4	4,8	0	0,23	0,23		0,02%	0,02%		99,98%	
		10	2	0	4,12	4,12		0,42%	0,44%		99,56%	
		FRAÇÃO FINA	16	1,19	772,48	772,78	0,30	0,43%	0,000304	0,43%	99,57%	99,13%
			30	0,59	720,61	721,57	0,96	1,39%	0,000972	1,82%	98,18%	97,74%
			40	0,42	705,62	706,04	0,42	0,61%	0,000425	2,43%	97,57%	97,14%
			50	0,3	717,52	718,54	1,02	1,48%	0,001033	3,91%	96,09%	95,67%
	100		0,15	628,76	629,88	1,12	1,62%	0,001134	5,53%	94,47%	94,06%	
	200		0,074	628,09	629,85	1,76	2,55%	0,001782	8,07%	91,93%	91,52%	
Sedimentação												
Massa Específica dos Grãos de Solo (g/cm ³) : 2,719				Densímetro Nº		1						
Massa Específica do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g/cm ³) : 1,003												
Massa Específica do Solo na Temperatura do Ensaio (g/cm ³) :				Peso da Amostra Úmida (Mh) (g)		70						
Volume da Suspensão (cm ³) : 1000				Peso da Amostra Seca (Ms) (g)		69,13						
n(Coeficiente de Viscosidade do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g.s/cm ²) : 8,72E-06												
Dados de Ensaio												
Data / Hora	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Densidade	Altura de Queda + Me-nisco	Correção do Menis-co	Altura de Queda	Densidade + Correção	μ	Diâmetro dos Grãos (mm)	% Amostra com Diâmetro < D		
		T	Rr	HR + Rm	Rm	HR	Rc	Rr - Rc	D	P		
	30	23	1,0420	8,86	0,00	8,86	1,0034	0,038626	0,0520	88,41%		
	60	23	1,0410	9,03	0,00	9,03	1,0034	0,037626	0,0371	86,12%		
	120	23	1,0400	9,20	0,00	9,20	1,0034	0,036626	0,0265	83,83%		
	240	23	1,0395	8,48	0,00	8,48	1,0034	0,036126	0,0180	82,69%		
	480	23	1,0390	8,57	0,00	8,57	1,0034	0,035626	0,0128	81,54%		
	900	23	1,0380	8,73	0,00	8,73	1,0034	0,034626	0,0094	79,26%		
	1800	23,5	1,0370	8,90	0,00	8,90	1,0033	0,033726	0,0067	77,19%		
	3600	23,5	1,0350	9,24	0,00	9,24	1,0033	0,031726	0,0048	72,61%		
	7200	23,5	1,0340	9,41	0,00	9,41	1,0033	0,030726	0,0035	70,33%		
	14400	23,75	1,0330	9,58	0,00	9,58	1,0032	0,029777	0,0025	68,15%		
	28800	23,5	1,0300	10,09	0,00	10,09	1,0033	0,0267	0,0018	61,17%		
	86400	22,1	1,0280	10,43	0,00	10,43	1,0036	0,0244	0,0011	55,96%		

Figura B.2 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 0 a 30 cm. Parte 2.

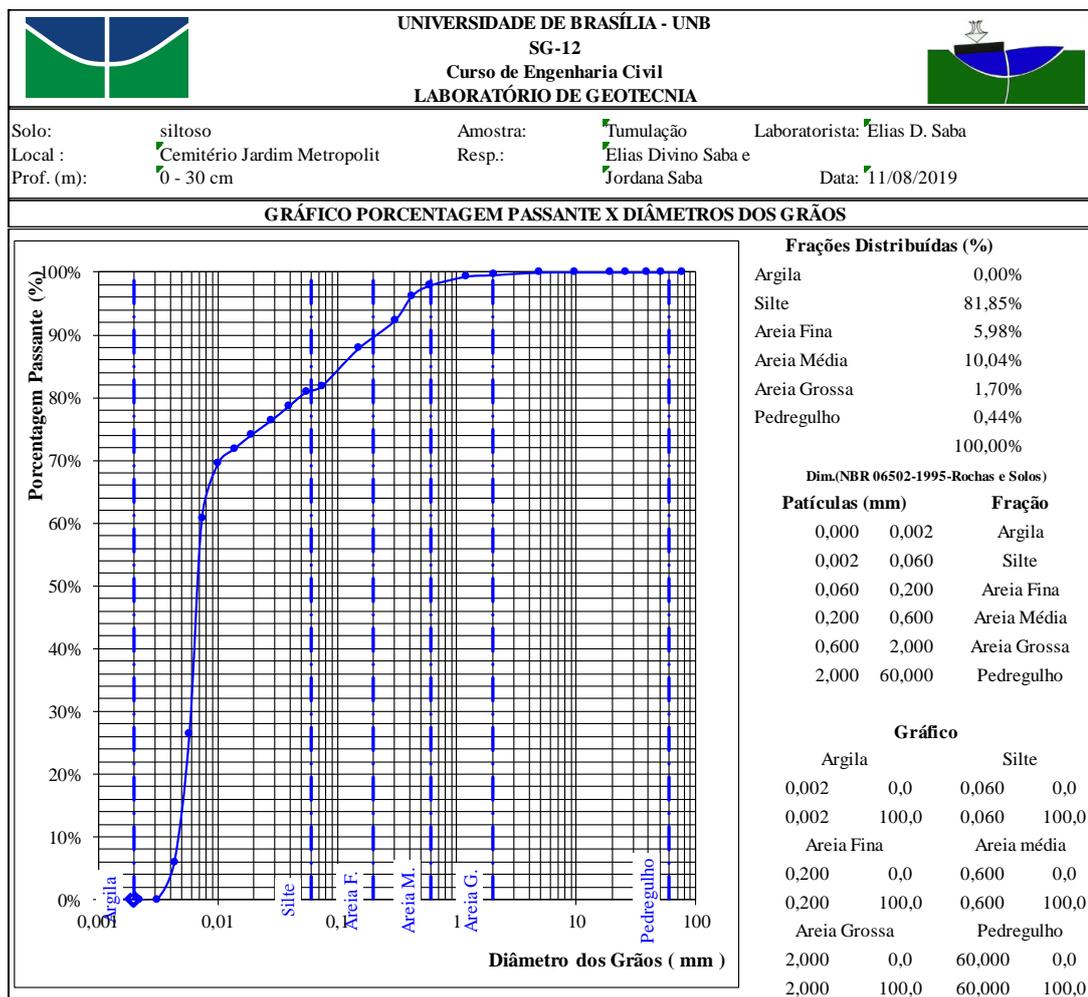


Figura B.3 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 0 a 30 cm. Parte 1.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB		SG 12		Curso de Engenharia Civil		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA						
NBR 07181 - 2018 - Solo - Análise Granulométrica (com sedimentação)												
Solo:	siltoso	Amostra:	Tumulação	Laboratorista:	Elias D. Saba							
Local :	Camitério Jardim Metropolitano - Valparaíso	Resp.:	Elias Divino Saba e Jordana Saba		Jordana Saba							
Prof. (m):	0 - 30 cm				Data:	#####						
Teor de Umidade da Amostra				Determinação da Amostra Total Seca								
Cápsula Nº	31	49	28	Peso da Amostra Úmida (g) : 1000								
Peso da Cápsula (g)	44,9	41,29	41,58	Peso da Amostra Retida na # 10 (g) : 4,35								
Cápsula + Solo Úmido (g)	78,76	72,18	74,77	Peso da Amostra Passante na # 10, Úmida (g) : 995,65								
Cápsula + Solo Seco (g)	78,32	71,81	74,36	Peso da Amostra Passante na # 10, Seca (g) : 983,26								
Peso de Água (g)	0,44	0,37	0,41	Peso de Água (g) : 12,39								
Solo Seco (g)	33,42	30,52	32,78	Peso da Amostra Total Seca (g) : 987,61								
Teor de Umidade	1,32%	1,21%	1,25%	Mh (Sedimentação) (g) : 70								
Teor de umidade Médio	1,26%											
Dados de Ensaio												
					PORCENTAGEM							
PENEIRAMENTO	FRACÃO GROSSA	Peneira		Peso da Peneira (g)	Peneira + Material (g)	Material Retido (g)	RETIDA			PASSANTE		
		Nº	mm				Fração Fina	Fração Grossa	Acumulada	Fração Fina	Fração Grossa	
			3"	76,2			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			2"	50,8			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1,5"	38,1			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1"	25,4			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			3/4"	19,1			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			3/8"	9,5	0	0	0,00		0,00%	0,00%		100,00%
		4	4,8	0	0,23	0,02		0,02%	0,02%		99,98%	
		10	2	0	4,12	4,12		0,42%	0,44%		99,56%	
		FRACÃO FINA	16	1,19	749,8	749,97	0,17	0,25%	0,000172	0,25%	99,75%	99,31%
			30	0,59	603,68	604,69	1,01	1,46%	0,001023	1,71%	98,29%	97,86%
			40	0,42	705,61	706,76	1,15	1,66%	0,001164	3,37%	96,63%	96,20%
			50	0,3	717,73	720,48	2,75	3,98%	0,002784	7,35%	92,65%	92,24%
	100		0,15	628,72	631,79	3,07	4,44%	0,003109	11,79%	88,21%	87,82%	
	200		0,074	628,05	632,2	4,15	6,00%	0,004202	17,79%	82,21%	81,85%	
Sedimentação												
Massa Específica dos Grãos de Solo (g/cm³) : 2,719				Densímetro Nº				1				
Massa Específica do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g/cm³) : 0,997												
Massa Específica do Solo na Temperatura do Ensaio (g/cm³) :								Peso da Amostra Úmida (Mh) (g) : 70				
Volume da Suspensão (cm³) : 1000								Peso da Amostra Seca (Ms) (g) : 69,13				
n(Coeficiente de Viscosidade do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g.s/cm²) : 8,72E-06												
Dados de Ensaio												
Data / Hora	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Densidade	Altura de Queda + Me-nisco	Correção do Menis-co	Altura de Queda	Densidade + Correção	μ	Diâmetro dos Grãos (mm)	% Amostra com Diâmetro < D		
				HR + Rm	Rm	HR	Rc				Rr - Rc	D
	30	23	1,0360	9,87	0,00	9,87	1,0004	0,035612	0,0548	80,90%		
	60	23	1,0350	10,04	0,00	10,04	1,0004	0,034612	0,0391	78,63%		
	120	23	1,0340	10,21	0,00	10,21	1,0004	0,033612	0,0279	76,36%		
	240	23	1,0330	9,58	0,00	9,58	1,0004	0,032612	0,0191	74,09%		
	480	23	1,0320	9,75	0,00	9,75	1,0004	0,031612	0,0136	71,81%		
	900	23	1,0310	9,92	0,00	9,92	1,0004	0,030612	0,0100	69,54%		
	1800	23,5	1,0270	10,60	0,00	10,60	1,0003	0,026712	0,0073	60,68%		
	3600	23	1,0120	13,14	0,00	13,14	1,0004	0,011612	0,0058	26,38%		
	7200	23	1,0030	14,67	0,00	14,67	1,0004	0,002612	0,0043	5,93%		
	14400	23	1,0000	15,18	0,00	15,18	1,0004	-0,00039	0,0031	0,00%		
	28800	23,25	0,9990	15,35	0,00	15,35	1,0003	-0,0013	0,0022	0,00%		
	86400	21,5	0,9980	15,52	0,00	15,52	1,0007	-0,0027	0,0013	0,00%		

Figura B.4 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 0 a 30 cm. Parte 2.

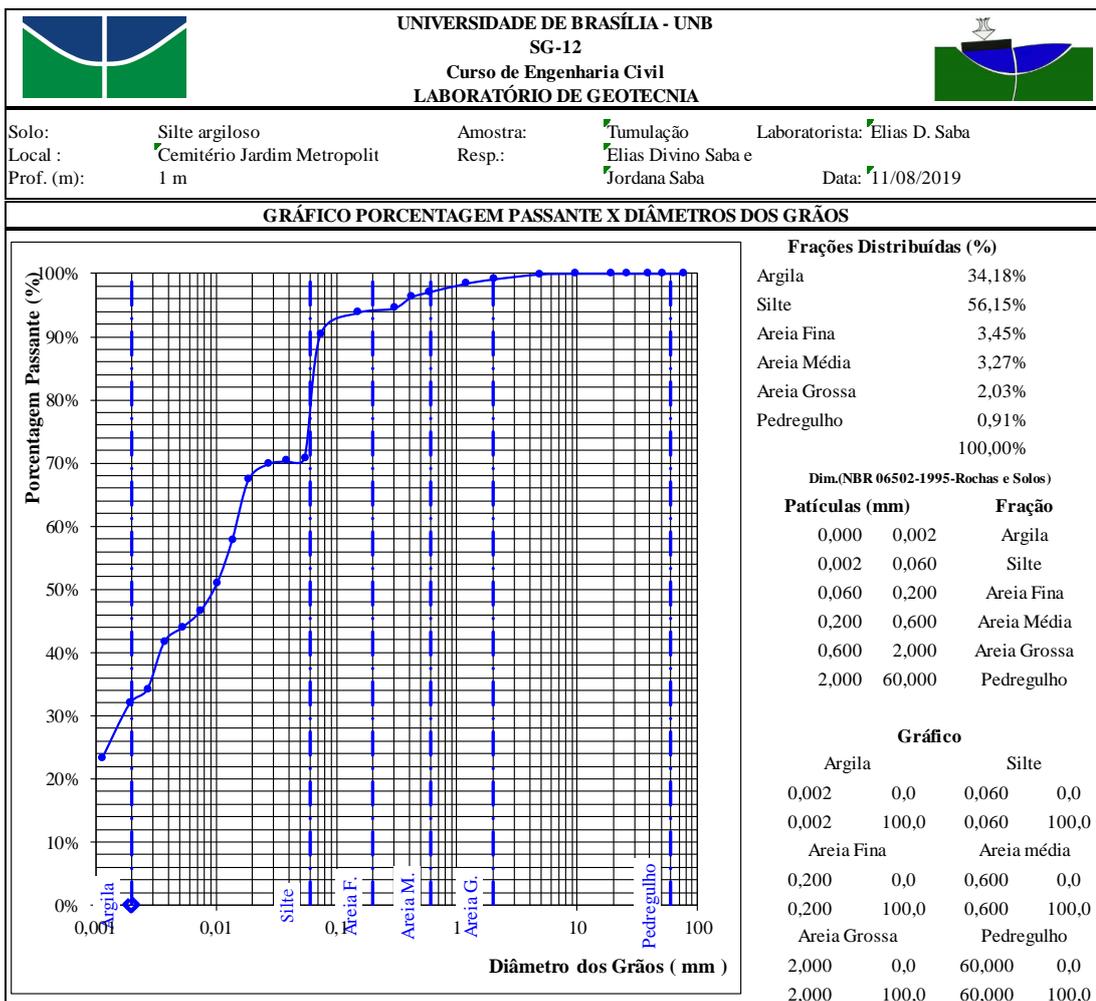


Figura B.5 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 1 m. Parte 1.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB		SG 12		Curso de Engenharia Civil		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA						
NBR 07181 - 2018 - Solo - Análise Granulométrica (com sedimentação)												
Solo:	Silte argiloso	Amostra:	Tumulação	Laboratorista:	Elias D. Saba							
Local :	Camitério Jardim Metropolitano - Valparaíso	Resp.:	Elias Divino Saba e Jordana Saba		Jordana Saba							
Prof. (m):	1 m		Jordana Saba	Data:	#####							
Teor de Umidade da Amostra				Determinação da Amostra Total Seca								
Cápsula N°	67	83	86	Peso da Amostra Úmida (g) : 1000								
Peso da Cápsula (g)	36,952	34,65	33,67	Peso da Amostra Retida na # 10 (g) : 8,95								
Cápsula + Solo Úmido (g)	64,48	60,00	62,82	Peso da Amostra Passante na # 10, Úmida (g) : 991,05								
Cápsula + Solo Seco (g)	63,967	59,52	62,30	Peso da Amostra Passante na # 10, Seca (g) : 972,82								
Peso de Água (g)	0,51	0,48	0,52	Peso de Água (g) : 18,23								
Solo Seco (g)	27,02	24,87	28,63	Peso da Amostra Total Seca (g) : 981,77								
Teor de Umidade	1,90%	1,91%	1,81%	Mh (Sedimentação) (g) : 70								
Teor de umidade Médio	1,87%											
Dados de Ensaio												
					PORCENTAGEM							
PENEIRAMENTO	FRACÇÃO GROSSA	Peneira		Peso da Peneira (g)	Peneira + Material (g)	Material Retido (g)	RETIDA			PASSANTE		
		N°	mm				Fração Fina	Fração Grossa	Acumulada	Fração Fina	Fração Grossa	
			3"	76,2			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			2"	50,8			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1,5"	38,1			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1"	25,4			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			3/4"	19,1			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			3/8"	9,5	0	0	0,00		0,00%	0,00%		100,00%
		4	4,8	0	1,17	1,17		0,12%	0,12%		99,88%	
		10	2	0	7,78	7,78		0,79%	0,91%		99,09%	
		FRACÇÃO FINA	16	1,19	709,25	709,72	0,47	0,68%	0,000479	0,68%	99,32%	98,41%
			30	0,59	540,45	541,39	0,94	1,37%	0,000957	2,05%	97,95%	97,06%
			40	0,42	592,28	592,84	0,56	0,81%	0,00057	2,87%	97,13%	96,25%
			50	0,3	630,15	631,36	1,21	1,76%	0,001232	4,63%	95,37%	94,50%
	100		0,15	618,16	618,66	0,50	0,73%	0,000509	5,36%	94,64%	93,78%	
	200		0,074	578,39	580,78	2,39	3,48%	0,002434	8,83%	91,17%	90,33%	
Sedimentação												
Massa Específica dos Grãos de Solo (g/cm³) : 2,761				Densímetro N° 1								
Massa Específica do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g/cm³) : 1,003				Peso da Amostra Úmida (Mh) (g) 70								
Massa Específica do Solo na Temperatura do Ensaio (g/cm³) :				Peso da Amostra Seca (Ms) (g) 68,71								
Volume da Suspensão (cm³) : 1000												
n(Coeficiente de Viscosidade do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g.s/cm²) : 8,72E-06												
Dados de Ensaio												
Data / Hora	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Densidade	Altura de Queda + Me-nisco	Correção do Menis-co	Altura de Queda	Densidade + Correção	μ	Diâmetro dos Grãos (mm)	% Amostra com Diâmetro < D		
		T	Rr	HR + Rm	Rm	HR	Rc	Rr - Rc	D	P		
	30	26	1,0355	9,96	0,00	9,96	1,0044	0,031136	0,0545	70,77%		
	60	26	1,0353	9,99	0,00	9,99	1,0044	0,030936	0,0386	70,32%		
	120	26	1,0351	10,03	0,00	10,03	1,0044	0,030736	0,0273	69,86%		
	240	26	1,0340	9,41	0,00	9,41	1,0044	0,029636	0,0187	67,36%		
	480	25	1,0300	10,09	0,00	10,09	1,0046	0,025435	0,0137	57,82%		
	900	25	1,0270	10,60	0,00	10,60	1,0046	0,022435	0,0103	51,00%		
	1800	25	1,0250	10,94	0,00	10,94	1,0046	0,020435	0,0074	46,46%		
	3600	24,5	1,0240	11,11	0,00	11,11	1,0047	0,019335	0,0053	43,96%		
	7200	24,5	1,0230	11,28	0,00	11,28	1,0047	0,018335	0,0037	41,68%		
	14400	23	1,0200	11,79	0,00	11,79	1,0050	0,015033	0,0027	34,18%		
	28800	23	1,0190	11,96	0,00	11,96	1,0050	0,0140	0,0019	31,91%		
	86400	24	1,0150	12,64	0,00	12,64	1,0048	0,0102	0,0011	23,27%		

Figura B.6 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 1 m. Parte 2.

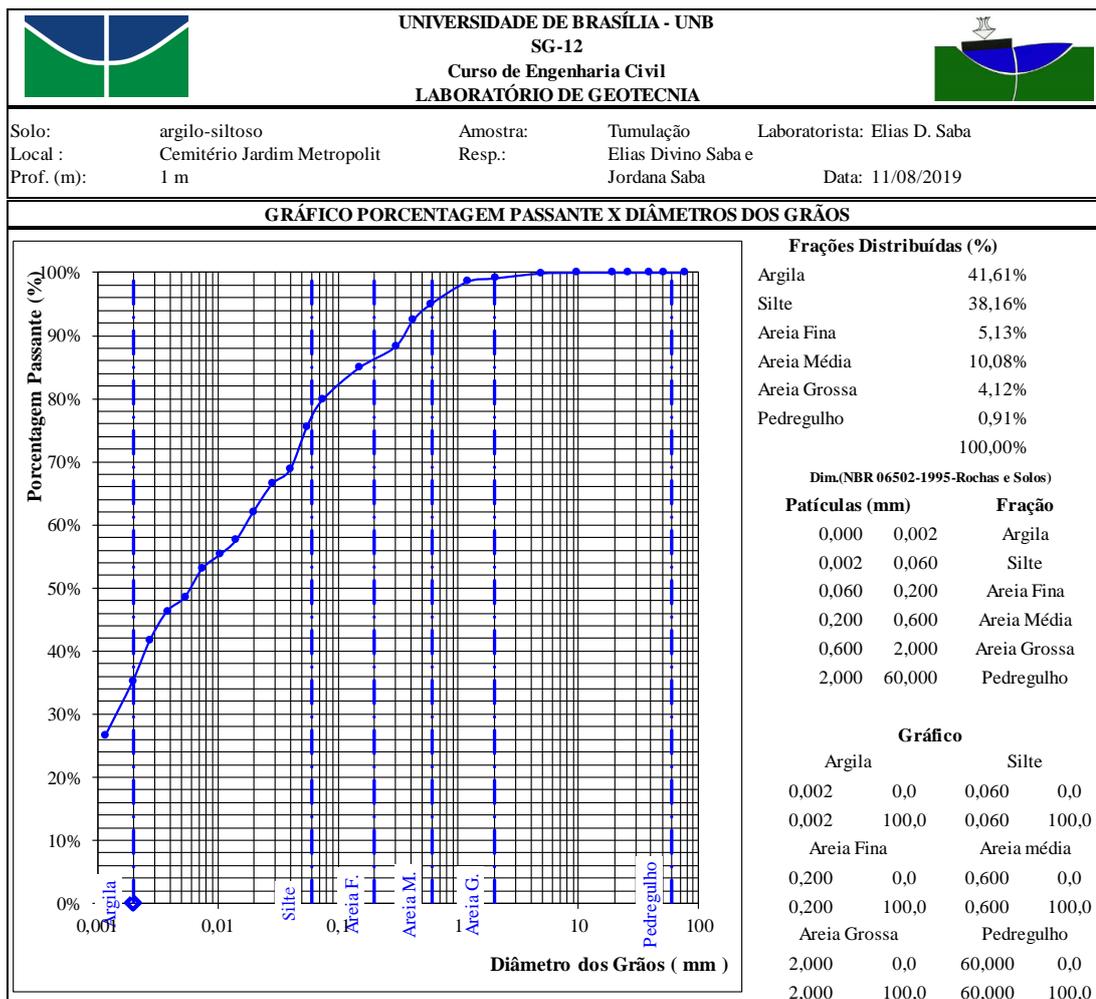


Figura B.7 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 1 m. Parte 1.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB		SG 12		Curso de Engenharia Civil		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA					
NBR 07181 - 2018 - Solo - Análise Granulométrica (com sedimentação)											
Solo:	Silte arenoso	Amostra:	Tumulação	Laboratorista:	Elias D. Saba						
Local :	Camitério Jardim Metropolitano - Valparaíso	Resp.:	Elias Divino Saba e Jordana Saba		Jordana Saba						
Prof. (m):	1 m			Data:	#####						
Teor de Umidade da Amostra				Determinação da Amostra Total Seca							
Cápsula Nº	67	83	86	Peso da Amostra Úmida (g) : 1000							
Peso da Cápsula (g)	36,952	34,65	33,67	Peso da Amostra Retida na # 10 (g) : 8,95							
Cápsula + Solo Úmido (g)	64,48	60,00	62,82	Peso da Amostra Passante na # 10, Úmida (g) : 991,05							
Cápsula + Solo Seco (g)	63,967	59,52	62,30	Peso da Amostra Passante na # 10, Seca (g) : 972,82							
Peso de Água (g)	0,51	0,48	0,52	Peso de Água (g) : 18,23							
Solo Seco (g)	27,02	24,87	28,63	Peso da Amostra Total Seca (g) : 981,77							
Teor de Umidade	1,90%	1,91%	1,81%	Mh (Sedimentação) (g) : 70							
Teor de umidade Médio	1,87%										
Dados de Ensaio											
PENEIRAMENTO	FRACÃO GROSSA	Peneira		Peso da Peneira (g)	Peneira + Material (g)	Material Retido (g)	PORCENTAGEM				
		Nº	mm				Fração Fina	Fração Grossa	Acumulada	Fração Fina	Fração Grossa
		3"	76,2			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
		2"	50,8			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
		1,5"	38,1			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
		1"	25,4			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
		3/4"	19,1			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
	3/8"	9,5	0	0	0,00		0,00%	0,00%		100,00%	
	4	4,8	0	1,17	1,17		0,12%	0,12%		99,88%	
	10	2	0	7,78	7,78		0,79%	0,91%		99,09%	
FRACÃO FINA	16	1,19	709,25	711,57	2,32	3,38%	0,002363	3,38%	96,62%	95,74%	
	30	0,59	540,45	549,31	8,86	12,89%	0,009025	16,27%	83,73%	82,97%	
	40	0,42	592,28	595,53	3,25	4,73%	0,00331	21,00%	79,00%	78,28%	
	50	0,3	630,15	638,69	8,54	12,43%	0,008699	33,43%	66,57%	65,96%	
	100	0,15	618,16	623,18	5,02	7,31%	0,005113	40,73%	59,27%	58,72%	
	200	0,074	578,39	586,31	7,92	11,53%	0,008067	52,26%	47,74%	47,30%	
Sedimentação											
Massa Específica dos Grãos de Solo (g/cm³) : 2,761				Densímetro Nº 1							
Massa Específica do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g/cm³) : 0,997				Peso da Amostra Úmida (Mh) (g) 70							
Massa Específica do Solo na Temperatura do Ensaio (g/cm³) :				Peso da Amostra Seca (Ms) (g) 68,71							
Volume da Suspensão (cm³) : 1000											
n(Coeficiente de Viscosidade do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g.s/cm²) : 8,72E-06											
Dados de Ensaio											
Data / Hora	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Densidade	Altura de Queda + Me-nisco	Correção do Menis-co	Altura de Queda (cm)	Densidade + Correção	μ	Diâmetro dos Grãos (mm)	% Amostra com Diâmetro < D	
		T	Rr	HR + Rm	Rm	HR	Rc	Rr - Rc	D	P	
	30	27	1,0150	13,44	0,00	13,44	0,9985	0,016521	0,0632	37,21%	
	60	27	1,0080	14,62	0,00	14,62	0,9985	0,009521	0,0466	21,44%	
	120	27	1,0070	14,79	0,00	14,79	0,9985	0,008521	0,0331	19,19%	
	240	27	1,0060	14,16	0,00	14,16	0,9985	0,007521	0,0229	16,94%	
	480	27	1,0050	14,33	0,00	14,33	0,9985	0,006521	0,0163	14,69%	
	900	27	1,0050	14,33	0,00	14,33	0,9985	0,006521	0,0119	14,69%	
	1800	26	1,0040	14,50	0,00	14,50	0,9988	0,005221	0,0085	11,76%	
	3600	25,5	1,0040	14,50	0,00	14,50	0,9989	0,005071	0,0060	11,42%	
	7200	25,5	1,0040	14,50	0,00	14,50	0,9989	0,005071	0,0042	11,42%	
	14400	25	1,0000	15,18	0,00	15,18	0,9991	0,000921	0,0031	2,08%	
	28800	27	0,9990	15,35	0,00	15,35	0,9985	0,0005	0,0022	1,17%	
	86400	27	0,9990	15,35	0,00	15,35	0,9985	0,0005	0,0013	1,17%	

Figura B.8 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 1 m. Parte 2.

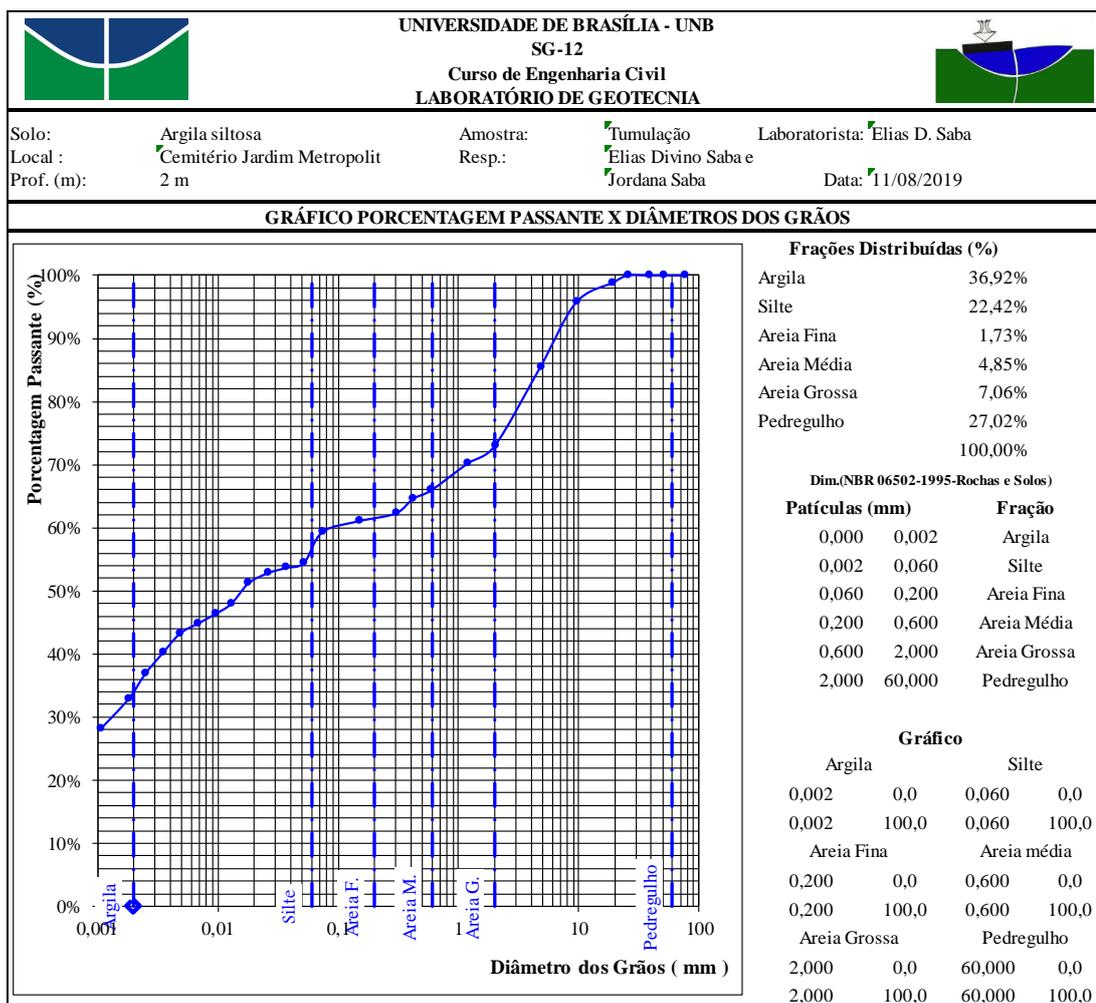


Figura B.9 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 2 m. Parte 1.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB		SG 12		Curso de Engenharia Civil		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA						
NBR 07181 - 2018 - Solo - Análise Granulométrica (com sedimentação)												
Solo:	Argila silty	Amostra:	Tumulação	Laboratorista:	Elias D. Saba							
Local :	Camitério Jardim Metropolitano - Valparaíso	Resp.:	Elias Divino Saba e Jordana Saba		Jordana Saba							
Prof. (m):	2 m		Jordana Saba	Data:	#####							
Teor de Umidade da Amostra				Determinação da Amostra Total Seca								
Cápsula N°	9		65	Peso da Amostra Úmida (g) : 1500								
Peso da Cápsula (g)	42,5		42,31	Peso da Amostra Retida na # 10 (g) : 401,54								
Cápsula + Solo Úmido (g)	77,81		87,49	Peso da Amostra Passante na # 10, Úmida (g) : 1098,46								
Cápsula + Solo Seco (g)	77,48		86,78	Peso da Amostra Passante na # 10, Seca (g) : 1.084,68								
Peso de Água (g)	0,33		0,71	Peso de Água (g) : 13,78								
Solo Seco (g)	34,98		44,47	Peso da Amostra Total Seca (g) : 1.486,22								
Teor de Umidade	0,94%		1,60%	Mh (Sedimentação) (g) : 70								
Teor de umidade Médio	1,27%											
Dados de Ensaio												
					PORCENTAGEM							
PENEIRAMENTO	FRACÃO GROSSA	Peneira		Peso da Peneira (g)	Peneira + Material (g)	Material Retido (g)	RETIDA			PASSANTE		
		N°	mm				Fração Fina	Fração Grossa	Acumulada	Fração Fina	Fração Grossa	
		3"	76,2			0,00		0,00%	0,00%			100,00%
		2"	50,8			0,00		0,00%	0,00%			100,00%
		1,5"	38,1			0,00		0,00%	0,00%			100,00%
		1"	25,4			0,00		0,00%	0,00%			100,00%
		3/4"	19,1		17,06	17,06		1,15%	1,15%			98,85%
		3/8"	9,5	0	46,75	46,75		3,15%	4,29%			95,71%
	4"	4,8	0	151,66	151,66		10,20%	14,50%			85,50%	
	10"	2	0	186,07	186,07		12,52%	27,02%			72,98%	
	FRACÃO FINA	16"	1,19	772,48	775,12	2,64	3,82%	0,001776	3,82%	96,18%		70,20%
		30"	0,59	720,61	724,66	4,05	5,86%	0,002725	9,68%	90,32%		65,92%
		40"	0,42	705,62	706,85	1,23	1,78%	0,000828	11,46%	88,54%		64,62%
		50"	0,3	717,5	719,72	2,22	3,21%	0,001494	14,67%	85,33%		62,28%
		100"	0,15	628,76	629,9	1,14	1,65%	0,000767	16,32%	83,68%		61,07%
200"		0,074	628,09	629,73	1,64	2,37%	0,001103	18,69%	81,31%		59,34%	
Sedimentação												
Massa Específica dos Grãos de Solo (g/cm³) : 2,882				Densímetro N° 1								
Massa Específica do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g/cm³) : 1,003				Peso da Amostra Úmida (Mh) (g) 70								
Massa Específica do Solo na Temperatura do Ensaio (g/cm³) :				Peso da Amostra Seca (Ms) (g) 69,12								
Volume da Suspensão (cm³) : 1000				n(Coeficiente de Viscosidade do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g.s/cm²) : 8,72E-06								
Dados de Ensaio												
Data / Hora	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Densidade	Altura de Queda +	Correção do Menis-co	Altura de Queda	Densidade +	μ	Diâmetro dos Grãos (mm)	% Amostra com Diâmetro < D		
				Me-nisco	(cm)	(cm)	Correção					
		T	Rr	HR + Rm	Rm	HR	Rc	Rr - Rc	D	P		
	30	22,5	1,0370	9,70	0,00	9,70	1,0035	0,033526	0,0520	54,46%		
	60	22,5	1,0365	9,79	0,00	9,79	1,0035	0,033026	0,0369	53,65%		
	120	22,5	1,0360	9,87	0,00	9,87	1,0035	0,032526	0,0262	52,84%		
	240	22,5	1,0350	9,24	0,00	9,24	1,0035	0,031526	0,0179	51,22%		
	480	22,5	1,0330	9,58	0,00	9,58	1,0035	0,029526	0,0129	47,97%		
	900	22,5	1,0320	9,75	0,00	9,75	1,0035	0,028526	0,0095	46,34%		
	1800	22,8	1,0310	9,92	0,00	9,92	1,0034	0,027586	0,0068	44,81%		
	3600	23	1,0300	10,09	0,00	10,09	1,0034	0,026626	0,0048	43,25%		
	7200	23,5	1,0280	10,43	0,00	10,43	1,0033	0,024726	0,0035	40,17%		
	14400	23,5	1,0260	10,77	0,00	10,77	1,0033	0,022726	0,0025	36,92%		
	28800	23,5	1,0235	11,19	0,00	11,19	1,0033	0,0202	0,0018	32,86%		
	86400	21,5	1,0210	11,62	0,00	11,62	1,0037	0,0173	0,0011	28,15%		

Figura B.10- Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 2 m. Parte 2.

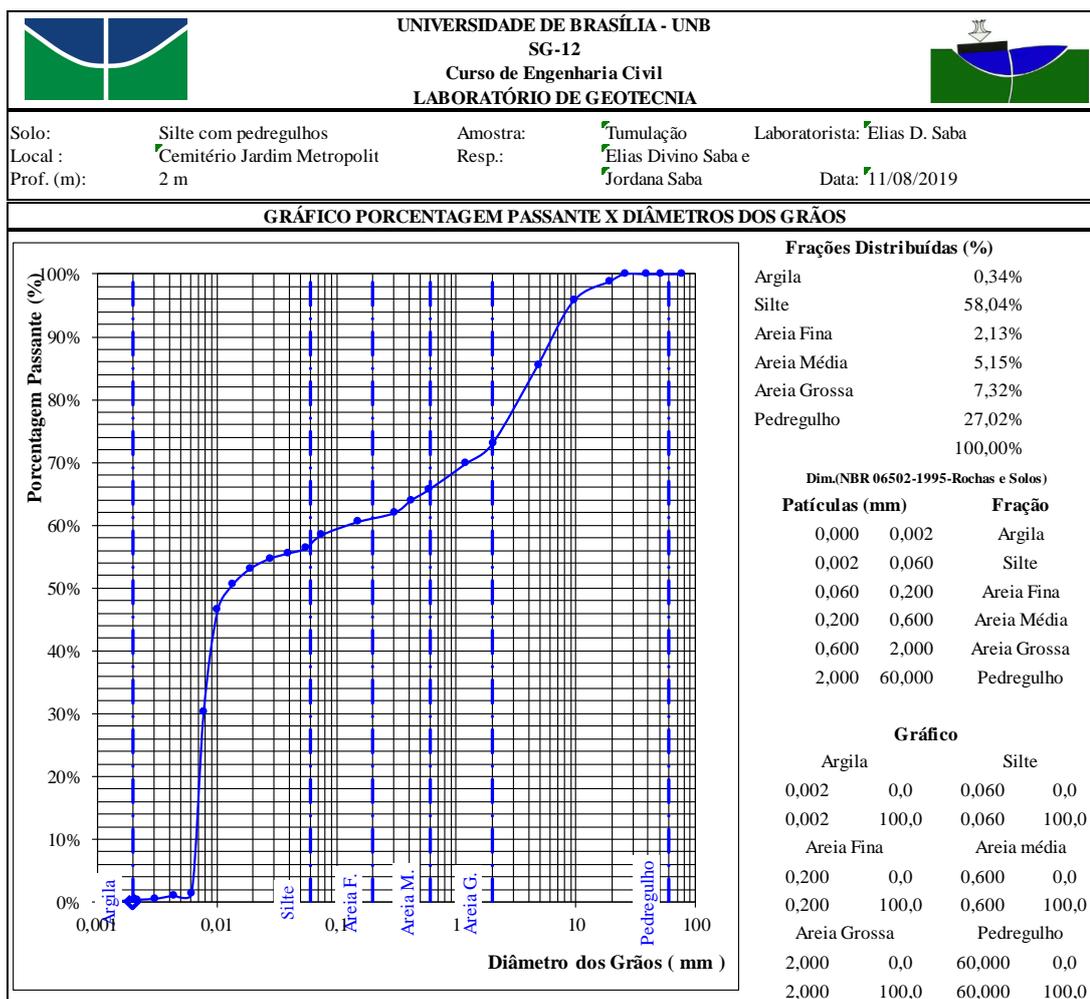


Figura B.11 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 2 m. Parte 1.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB		SG 12		Curso de Engenharia Civil		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA						
NBR 07181 - 2018 - Solo - Análise Granulométrica (com sedimentação)												
Solo:	Silte com pedregulhos	Amostra:	Tumulação	Laboratorista:	Elias D. Saba							
Local :	Camitério Jardim Metropolitano - Valparaíso	Resp.:	Elias Divino Saba e Jordana Saba		Jordana Saba							
Prof. (m):	2 m		Jordana Saba	Data:	#####							
Teor de Umidade da Amostra				Determinação da Amostra Total Seca								
Cápsula Nº	9		65	Peso da Amostra Úmida (g) : 1500								
Peso da Cápsula (g)	42,5		42,31	Peso da Amostra Retida na # 10 (g) : 401,54								
Cápsula + Solo Úmido (g)	77,81		87,49	Peso da Amostra Passante na # 10, Úmida (g) : 1098,46								
Cápsula + Solo Seco (g)	77,48		86,78	Peso da Amostra Passante na # 10, Seca (g) : 1.084,68								
Peso de Água (g)	0,33		0,71	Peso de Água (g) : 13,78								
Solo Seco (g)	34,98		44,47	Peso da Amostra Total Seca (g) : 1.486,22								
Teor de Umidade	0,94%		1,60%	Mh (Sedimentação) (g) : 70								
Teor de umidade Médio	1,27%											
Dados de Ensaio												
					PORCENTAGEM							
PENEIRAMENTO	FRAÇÃO GROSSA	Peneira		Peso da Peneira (g)	Peneira + Material (g)	Material Retido (g)	RETIDA			PASSANTE		
		Nº	mm				Fração Fina	Fração Grossa	Acumulada	Fração Fina	Fração Grossa	
			3"	76,2			0,00	0,00%	0,00%		100,00%	
			2"	50,8			0,00	0,00%	0,00%		100,00%	
			1,5"	38,1			0,00	0,00%	0,00%		100,00%	
			1"	25,4			0,00	0,00%	0,00%		100,00%	
			3/4"	19,1		17,06	17,06	1,15%	1,15%		98,85%	
			3/8"	9,5	0	46,75	46,75	3,15%	4,29%		95,71%	
		4	4,8	0	151,66	151,66	10,20%	14,50%		85,50%		
		10	2	0	186,07	186,07	12,52%	27,02%		72,98%		
		FRAÇÃO FINA	16	1,19	749,8	752,85	3,05	4,41%	0,002052	4,41%	95,59%	69,76%
			30	0,59	603,68	607,56	3,88	5,61%	0,002611	10,03%	89,97%	65,67%
			40	0,42	705,61	707,21	1,60	2,31%	0,001077	12,34%	87,66%	63,98%
	50		0,3	717,73	719,68	1,95	2,82%	0,001312	15,16%	84,84%	61,92%	
	100		0,15	628,72	630,05	1,33	1,92%	0,000895	17,09%	82,91%	60,51%	
	200	0,074	628,05	630,07	2,02	2,92%	0,001359	20,01%	79,99%	58,38%		
Sedimentação												
Massa Específica dos Grãos de Solo (g/cm³) : 2,882				Densímetro Nº				1				
Massa Específica do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g/cm³) : 0,997												
Massa Específica do Solo na Temperatura do Ensaio (g/cm³) :				Peso da Amostra Úmida (Mh) (g)				70				
Volume da Suspensão (cm³) : 1000				Peso da Amostra Seca (Ms) (g)				69,12				
n(Coeficiente de Viscosidade do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g.s/cm²) : 9,34E-06												
Dados de Ensaio												
Data / Hora	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Densidade	Altura de Queda + Me-nisco	Correção do Menis-co	Altura de Queda	Densidade + Correção	μ	Diâmetro dos Grãos (mm)	% Amostra com Diâmetro < D		
				HR + Rm	Rm	HR	Rc					
		T	Rr				Rr - Rc		D	P		
	30	24,5	1,0350	10,04	0,00	10,04	1,0001	0,034912	0,0547	56,29%		
	60	24,5	1,0345	10,13	0,00	10,13	1,0001	0,034412	0,0388	55,48%		
	120	24,5	1,0340	10,21	0,00	10,21	1,0001	0,033912	0,0276	54,68%		
	240	24,5	1,0330	9,58	0,00	9,58	1,0001	0,032912	0,0189	53,06%		
	480	24,2	1,0315	9,84	0,00	9,84	1,0001	0,031352	0,0135	50,55%		
	900	24	1,0290	10,26	0,00	10,26	1,0002	0,028812	0,0101	46,46%		
	1800	23,5	1,0190	11,96	0,00	11,96	1,0003	0,018712	0,0077	30,17%		
	3600	23,5	1,0011	14,99	0,00	14,99	1,0003	0,000812	0,0061	1,31%		
	7200	23	1,0010	15,01	0,00	15,01	1,0004	0,000612	0,0043	0,99%		
	14400	23	1,0007	15,06	0,00	15,06	1,0004	0,000312	0,0031	0,50%		
	28800	23	1,0006	15,08	0,00	15,08	1,0004	0,0002	0,0022	0,34%		
	86400	22	1,0006	15,08	0,00	15,08	1,0006	0,0000	0,0012	0,02%		

Figura B.12 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Tumulação, profundidade de 2 m. Parte 2.

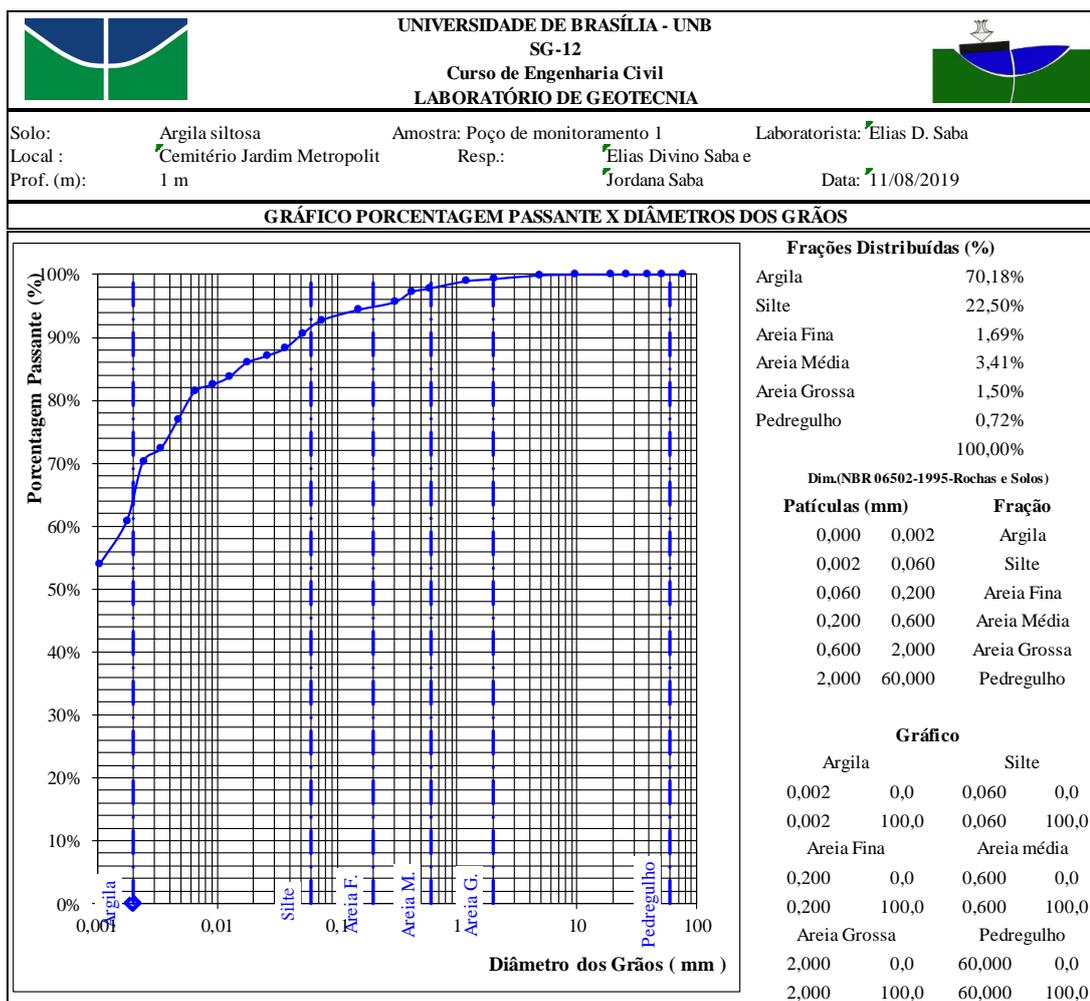


Figura B.13 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 1 m. Parte 1.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB		SG 12		Curso de Engenharia Civil		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA						
NBR 07181 - 2018 - Solo - Análise Granulométrica (com sedimentação)												
Solo:	Argila silty	Amostra:	Poço de monitoramento 1	Laboratorista:	Elias D. Saba							
Local:	Cemitério Jardim Metropolitano - Valparaíso	Resp.:	Elias Divino Saba e Jordana Saba		Jordana Saba							
Prof. (m):	1 m			Data:	11/08/2019							
Teor de Umidade da Amostra				Determinação da Amostra Total Seca								
Cápsula N°	57	33	59	Peso da Amostra Úmida (g): 1500								
Peso da Cápsula (g)	41,77	42,77	42,63	Peso da Amostra Retida na # 10 (g): 10,60								
Cápsula + Solo Úmido (g)	82,67	79,21	82,92	Peso da Amostra Passante na # 10, Úmida (g): 1489,4								
Cápsula + Solo Seco (g)	82,04	78,66	82,29	Peso da Amostra Passante na # 10, Seca (g): 1.466,50								
Peso de Água (g)	0,63	0,55	0,63	Peso de Água (g): 22,90								
Solo Seco (g)	40,27	35,89	39,66	Peso da Amostra Total Seca (g): 1.477,10								
Teor de Umidade	1,56%	1,53%	1,59%	Mh (Sedimentação) (g): 70								
Teor de umidade Médio	1,56%											
Dados de Ensaio												
					PORCENTAGEM							
PENEIRAMENTO	FRAÇÃO GROSSA	Peneira		Peso da Peneira (g)	Peneira + Material (g)	Material Retido (g)	RETIDA			PASSANTE		
		N°	mm				Fração Fina	Fração Grossa	Acumulada	Fração Fina	Fração Grossa	
			3"	76,2			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			2"	50,8			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1,5"	38,1			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1"	25,4			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			3/4"	19,1		0	0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			3/8"	9,5	0	0	0,00		0,00%	0,00%		100,00%
		4"	4,8	0	1,85	1,85		0,13%	0,13%		99,87%	
		10"	2	0	8,75	8,75		0,59%	0,72%		99,28%	
		FRAÇÃO FINA	16	1,19	772,48	772,71	0,23	0,33%	0,000156	0,33%	99,67%	98,95%
			30	0,59	720,61	721,42	0,81	1,18%	0,000548	1,51%	98,49%	97,78%
			40	0,42	705,62	706,01	0,39	0,57%	0,000264	2,07%	97,93%	97,22%
	50		0,3	717,5	718,64	1,14	1,65%	0,000772	3,73%	96,27%	95,58%	
	100		0,15	628,76	629,6	0,84	1,22%	0,000569	4,95%	95,05%	94,37%	
	200	0,074	628,09	629,26	1,17	1,70%	0,000792	6,65%	93,35%	92,69%		
Sedimentação												
Massa Específica dos Grãos de Solo (g/cm³): 2,744				Densímetro N° 1								
Massa Específica do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g/cm³): 1,003				Peso da Amostra Úmida (Mh) (g) 70								
Massa Específica do Solo na Temperatura do Ensaio (g/cm³): 1000				Peso da Amostra Seca (Ms) (g) 68,92								
Volume da Suspensão (cm³): 1000				n(Coeficiente de Viscosidade do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g.s/cm²): 8,72E-06								
Dados de Ensaio												
Data / Hora	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Densidade	Altura de Queda + Me-nisco	Correção do Menis-co	Altura de Queda	Densidade + Correção	μ	Diâmetro dos Grãos (mm)	% Amostra com Diâ-metro < D		
		T	Rr	HR + Rm	Rm	HR	Rc	Rr - Rc	D	P		
	30	23,5	1,0430	8,69	0,00	8,69	1,0033	0,039726	0,0511	90,45%		
	60	23,5	1,0420	8,86	0,00	8,86	1,0033	0,038726	0,0365	88,17%		
	120	23,5	1,0415	8,94	0,00	8,94	1,0033	0,038226	0,0259	87,04%		
	240	23,5	1,0410	8,23	0,00	8,23	1,0033	0,037726	0,0176	85,90%		
	480	23,5	1,0400	8,40	0,00	8,40	1,0033	0,036726	0,0126	83,62%		
	900	23,5	1,0395	8,48	0,00	8,48	1,0033	0,036226	0,0092	82,48%		
	1800	23,5	1,0390	8,57	0,00	8,57	1,0033	0,035726	0,0065	81,34%		
	3600	23,5	1,0370	8,90	0,00	8,90	1,0033	0,033726	0,0047	76,79%		
	7200	23,5	1,0350	9,24	0,00	9,24	1,0033	0,031726	0,0034	72,24%		
	14400	24	1,0340	9,41	0,00	9,41	1,0032	0,030827	0,0024	70,18%		
	28800	23,25	1,0300	10,09	0,00	10,09	1,0033	0,0267	0,0018	60,74%		
	86400	23,1	1,0270	10,60	0,00	10,60	1,0034	0,0236	0,0011	53,84%		

Figura B.14 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 1 m. Parte 2.

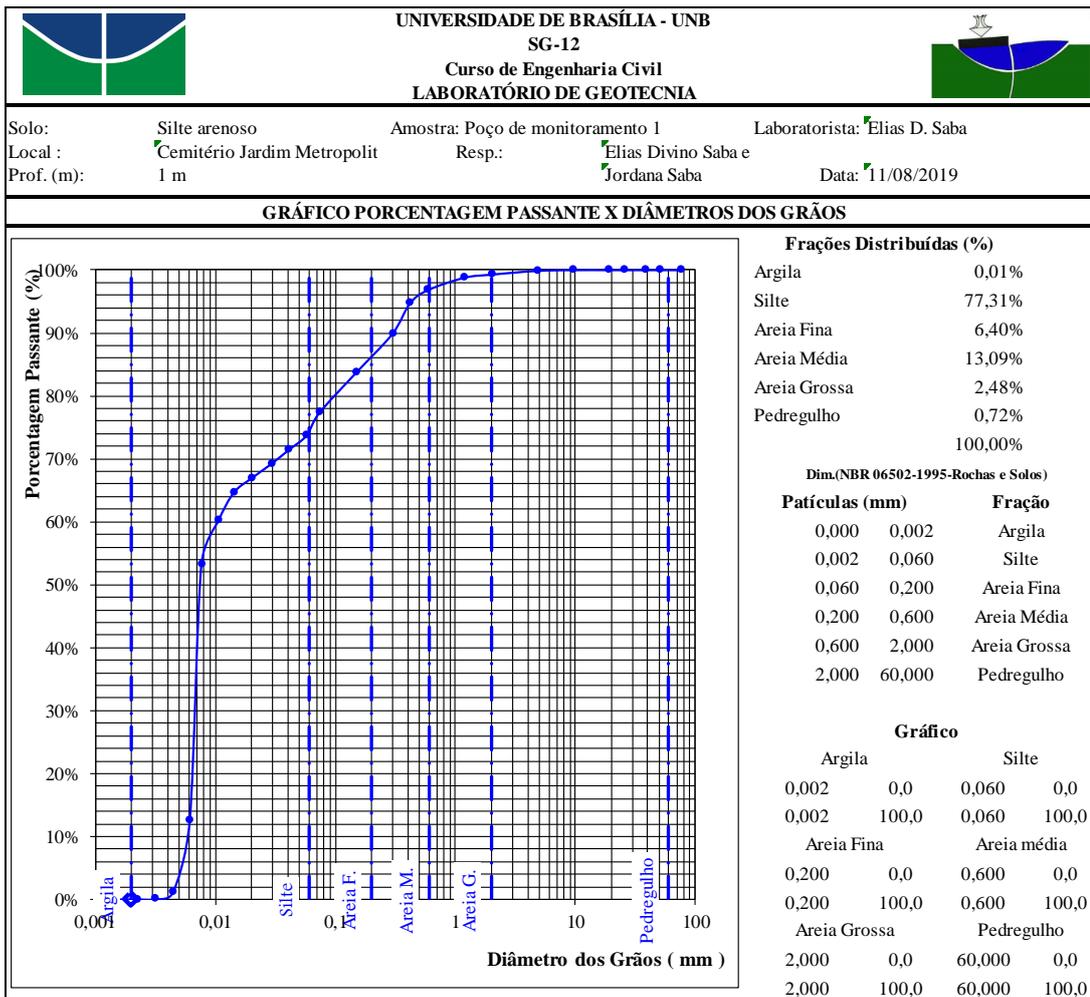


Figura B.15 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 1 m. Parte 1.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB		SG 12		Curso de Engenharia Civil		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA						
NBR 07181 - 2018 - Solo - Análise Granulométrica (com sedimentação)												
Solo:	Silte arenoso	Amostra:	Poço de monitoramento 1	Laboratorista:	Elias D. Saba							
Local :	Cemitério Jardim Metropolitano - Valparaíso	Resp.:	Elias Divino Saba e Jordana Saba		Jordana Saba							
Prof. (m):	1m			Data:	11/08/2019							
Teor de Umidade da Amostra				Determinação da Amostra Total Seca								
Cápsula N°	57	33	59	Peso da Amostra Úmida (g) : 1500								
Peso da Cápsula (g)	41,77	42,77	42,63	Peso da Amostra Retida na # 10 (g) : 10,60								
Cápsula + Solo Úmido (g)	82,67	79,21	82,92	Peso da Amostra Passante na # 10, Úmida (g) : 1489,4								
Cápsula + Solo Seco (g)	82,04	78,66	82,29	Peso da Amostra Passante na # 10, Seca (g) : 1.466,50								
Peso de Água (g)	0,63	0,55	0,63	Peso de Água (g) : 22,90								
Solo Seco (g)	40,27	35,89	39,66	Peso da Amostra Total Seca (g) : 1.477,10								
Teor de Umidade	1,56%	1,53%	1,59%	Mh (Sedimentação) (g) : 70								
Teor de umidade Médio	1,56%											
Dados de Ensaio												
					PORCENTAGEM							
PENEIRAMENTO	FRACÃO GROSSA	Peneira		Peso da Peneira (g)	Peneira + Material (g)	Material Retido (g)	RETIDA			PASSANTE		
		N°	mm				Fração Fina	Fração Grossa	Acumulada	Fração Fina	Fração Grossa	
			3"	76,2			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			2"	50,8			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1,5	38,1			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1"	25,4			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			3/4"	19,1		0	0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			3/8"	9,5	0	0	0,00		0,00%	0,00%		100,00%
		4	4,8	0	1,85	1,85		0,13%	0,13%		99,87%	
		10	2	0	8,75	8,75		0,59%	0,72%		99,28%	
		FRACÃO FINA	16	1,19	749,8	750,15	0,35	0,51%	0,000237	0,51%	99,49%	98,78%
			30	0,59	603,68	605,05	1,37	1,99%	0,000927	2,50%	97,50%	96,80%
			40	0,42	705,61	707,08	1,47	2,13%	0,000995	4,63%	95,37%	94,69%
			50	0,3	717,73	721,08	3,35	4,86%	0,002268	9,49%	90,51%	89,86%
	100		0,15	628,72	632,99	4,27	6,20%	0,002891	15,68%	84,32%	83,71%	
	200		0,074	628,05	632,49	4,44	6,44%	0,003006	22,13%	77,87%	77,32%	
Sedimentação												
Massa Específica dos Grãos de Solo (g/cm³) : 2,744				Densímetro N° 1								
Massa Específica do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g/cm³) : 0,997				Peso da Amostra Úmida (Mh) (g) 70								
Massa Específica do Solo na Temperatura do Ensaio (g/cm³) :				Peso da Amostra Seca (Ms) (g) 68,92								
Volume da Suspensão (cm³) : 1000												
n(Coeficiente de Viscosidade do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g.s/cm²) : 9,34E-06												
Dados de Ensaio												
Data / Hora	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Densidade	Altura de Queda +	Correção do Menis-co	Altura de Queda	Densidade +	μ	Diâmetro dos Grãos (mm)	% Amostra com Diâmetro <D		
				Me-nisco	(cm)	(cm)	Correção					
		T	Rr	HR + Rm	Rm	HR	Rc	Rr - Rc	D	P		
	30	23	1,0330	10,38	0,00	10,38	1,0004	0,032612	0,0578	73,70%		
	60	23	1,0320	10,55	0,00	10,55	1,0004	0,031612	0,0412	71,44%		
	120	23	1,0310	10,72	0,00	10,72	1,0004	0,030612	0,0293	69,18%		
	240	23	1,0300	10,09	0,00	10,09	1,0004	0,029612	0,0201	66,92%		
	480	23	1,0290	10,26	0,00	10,26	1,0004	0,028612	0,0144	64,66%		
	900	23	1,0270	10,60	0,00	10,60	1,0004	0,026612	0,0107	60,14%		
	1800	22,8	1,0240	11,11	0,00	11,11	1,0004	0,023572	0,0077	53,27%		
	3600	22,5	1,0060	14,16	0,00	14,16	1,0005	0,005512	0,0062	12,46%		
	7200	22,5	1,0010	15,01	0,00	15,01	1,0005	0,000512	0,0045	1,16%		
	14400	23	1,0004	15,11	0,00	15,11	1,0004	1,24E-05	0,0032	0,03%		
	28800	23	1,0004	15,11	0,00	15,11	1,0004	0,0000	0,0022	0,01%		
	86400	23	1,0004	15,11	0,00	15,11	1,0004	0,0000	0,0013	0,01%		

Figura B.16 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 1 m. Parte 2.

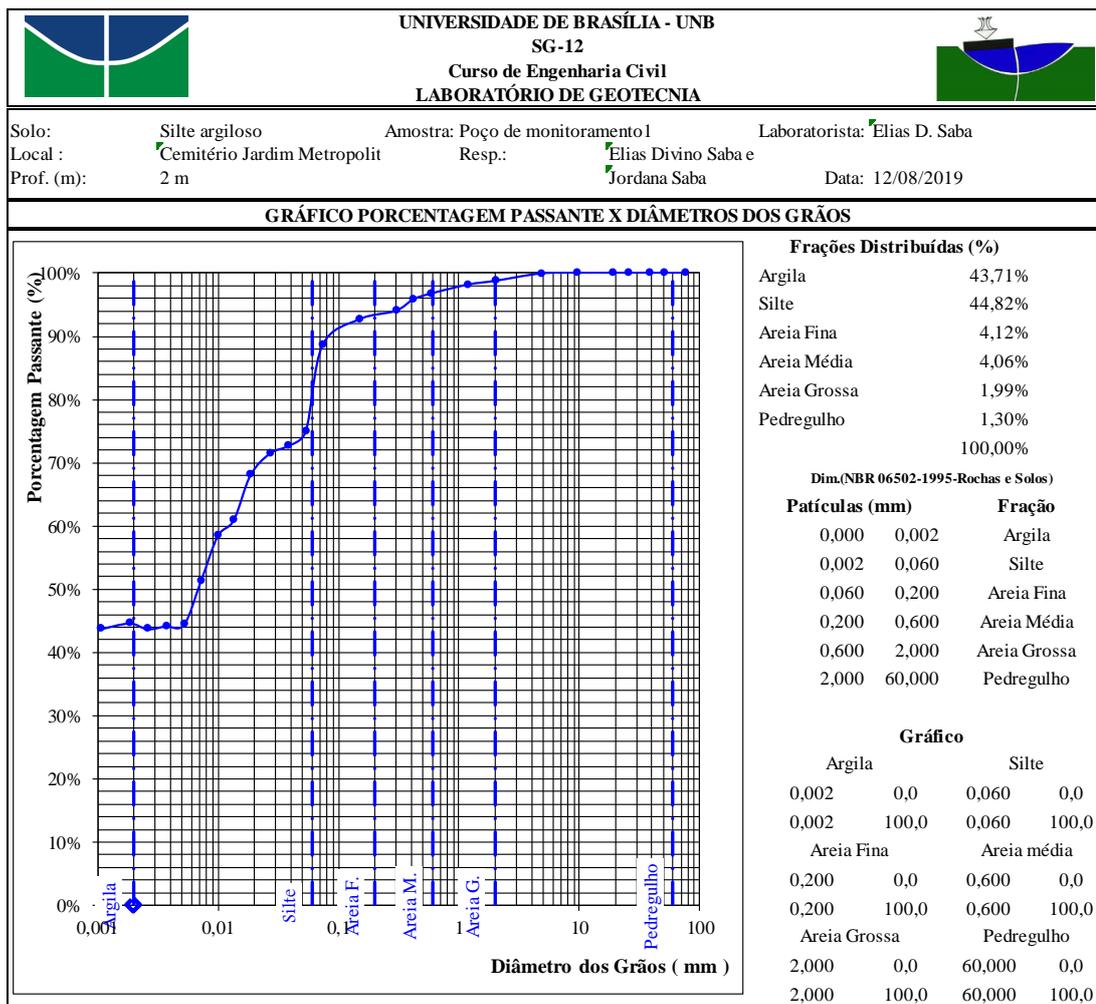


Figura B.17 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 2 m. Parte 1.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB		SG 12		Curso de Engenharia Civil		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA						
NBR 07181 - 2018 - Solo - Análise Granulométrica (com sedimentação)												
Solo: Silte argiloso		Amostra: Poço de monitoramento 1		Laboratorista: Elias D. Saba								
Local: Cemitério Jardim Metropolitano - Valparaíso		Resp.: Elias Divino Saba e Jordana Saba		Jordana Saba								
Prof. (m): 2 m				Data: 12/08/2019								
Teor de Umidade da Amostra				Determinação da Amostra Total Seca								
Cápsula Nº	1	54	14	Peso da Amostra Úmida (g): 1500								
Peso da Cápsula (g)	41,972	41,61	44,75	Peso da Amostra Retida na # 10 (g): 18,84								
Cápsula + Solo Úmido (g)	77,816	67,11	73,20	Peso da Amostra Passante na # 10, Úmida (g): 1481,16								
Cápsula + Solo Seco (g)	76,208	66,66	72,70	Peso da Amostra Passante na # 10, Seca (g): 1.434,67								
Peso de Água (g)	1,61	0,45	0,50	Peso de Água (g): 46,49								
Solo Seco (g)	34,24	25,05	27,95	Peso da Amostra Total Seca (g): 1.453,51								
Teor de Umidade	4,70%	1,78%	1,77%	Mh (Sedimentação) (g): 70								
Teor de umidade Médio	3,24%											
Dados de Ensaio												
					PORCENTAGEM							
PENEIRAMENTO	FRACÃO GROSSA	Peneira		Peso da Peneira (g)	Peneira + Material (g)	Material Retido (g)	RETIDA			PASSANTE		
		Nº	mm				Fração Fina	Fração Grossa	Acumulada	Fração Fina	Fração Grossa	
			3"	76,2			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			2"	50,8			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1,5"	38,1			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1"	25,4			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			3/4"	19,1		0	0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			3/8"	9,5	0	0	0,00		0,00%	0,00%		100,00%
		4	4,8	0	1,81	1,81		0,12%	0,12%		99,88%	
		10	2	0	17,03	17,03		1,17%	1,30%		98,70%	
		FRACÃO FINA	16	1,19	709,25	709,65	0,40	0,59%	0,000275	0,59%	99,41%	98,12%
			30	0,59	540,45	541,42	0,97	1,43%	0,000667	2,02%	97,98%	96,71%
			40	0,42	592,28	592,91	0,63	0,93%	0,000433	2,95%	97,05%	95,79%
			50	0,3	630,15	631,4	1,25	1,84%	0,00086	4,79%	95,21%	93,97%
			100	0,15	618,16	619,07	0,91	1,34%	0,000626	6,14%	93,86%	92,65%
	200	0,074	578,39	581,22	2,83	4,17%	0,001947	10,31%	89,69%	88,53%		
Sedimentação												
Massa Específica dos Grãos de Solo (g/cm ³): 2,760				Densímetro Nº 1								
Massa Específica do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g/cm ³): 1,003				Peso da Amostra Úmida (Mh) (g) 70								
Massa Específica do Solo na Temperatura do Ensaio (g/cm ³): 1000				Peso da Amostra Seca (Ms) (g) 67,80								
Volume da Suspensão (cm ³): 1000												
n(Coeficiente de Viscosidade do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g.s/cm ²): 8,72E-06												
Dados de Ensaio												
Data / Hora	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Densidade	Altura de Queda + Me-nisco	Correção do Menis-co	Altura de Queda	Densidade + Correção	μ	Diâmetro dos Grãos (mm)	% Amostra com Diâmetro < D		
				HR + Rm	Rm	HR	Rc				Rr - Rc	D
	30	26	1,0370	9,70	0,00	9,70	1,0044	0,032636	0,0538	74,92%		
	60	26	1,0360	9,87	0,00	9,87	1,0044	0,031636	0,0384	72,63%		
	120	26	1,0355	9,96	0,00	9,96	1,0044	0,031136	0,0272	71,48%		
	240	26	1,0340	9,41	0,00	9,41	1,0044	0,029636	0,0187	68,03%		
	480	25,5	1,0310	9,92	0,00	9,92	1,0045	0,026536	0,0136	60,92%		
	900	25	1,0300	10,09	0,00	10,09	1,0046	0,025435	0,0100	58,40%		
	1800	24,5	1,0270	10,60	0,00	10,60	1,0047	0,022335	0,0073	51,28%		
	3600	24,5	1,0240	11,11	0,00	11,11	1,0047	0,019335	0,0053	44,39%		
	7200	24	1,0240	11,11	0,00	11,11	1,0048	0,019234	0,0037	44,17%		
	14400	23	1,0240	11,11	0,00	11,11	1,0050	0,019033	0,0026	43,71%		
	28800	25	1,0240	11,11	0,00	11,11	1,0046	0,0194	0,0019	44,62%		
	86400	23	1,0240	11,11	0,00	11,11	1,0050	0,0190	0,0011	43,71%		

Figura B.18 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 2 m. Parte 2.

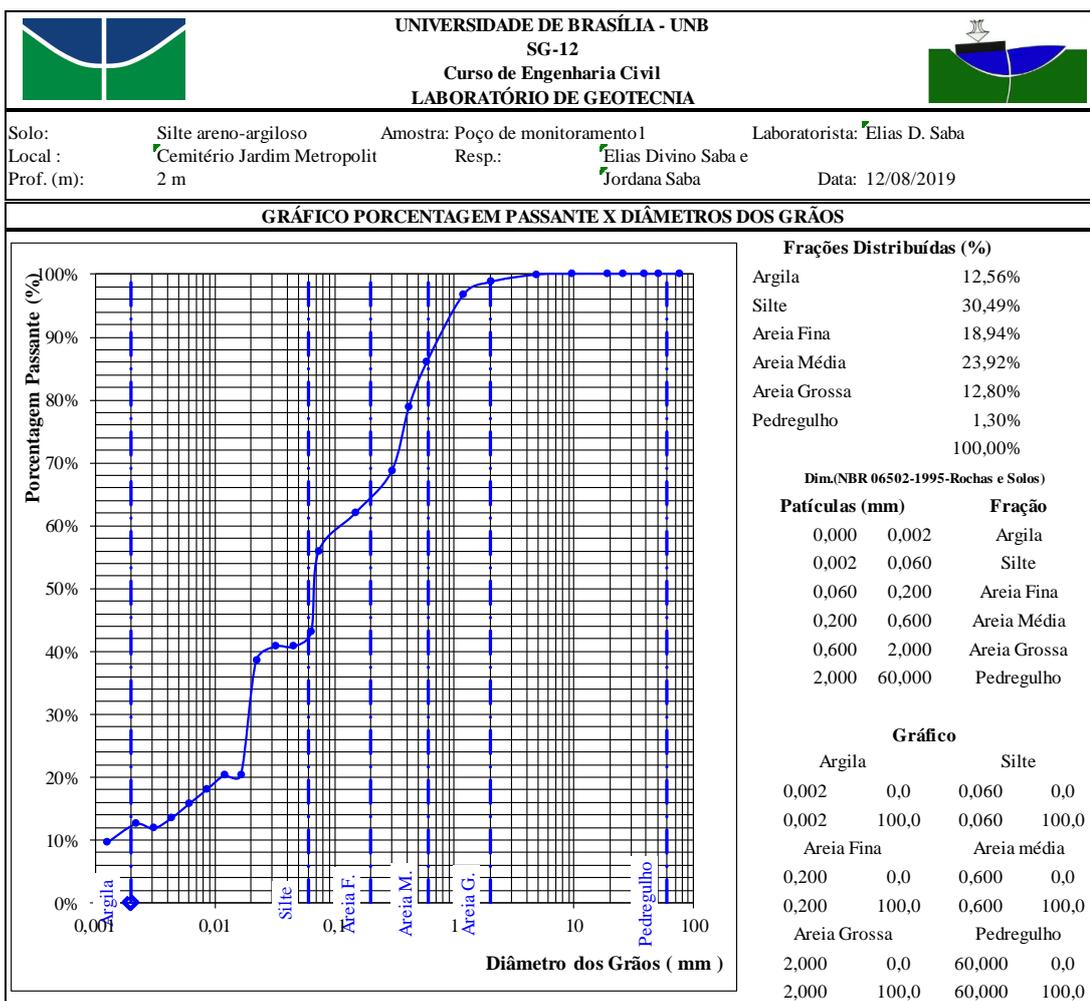


Figura B.19 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 2 m. Parte 1.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB		SG 12		Curso de Engenharia Civil		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA					
NBR 07181 - 2018 - Solo - Análise Granulométrica (com sedimentação)											
Solo:	Silte areno-argiloso	Amostra:	Poço de monitoramento 1	Laboratorista:	Elias D. Saba						
Local:	Cemitério Jardim Metropolitano - Valparaíso	Resp.:	Elias Divino Saba e Jordana Saba		Jordana Saba						
Prof. (m):	2 m			Data:	12/08/2019						
Teor de Umidade da Amostra				Determinação da Amostra Total Seca							
Cápsula N°	1	54	14	Peso da Amostra Úmida (g) : 1500							
Peso da Cápsula (g)	41,972	41,61	44,75	Peso da Amostra Retida na # 10 (g) : 18,84							
Cápsula + Solo Úmido (g)	77,816	67,11	73,20	Peso da Amostra Passante na # 10, Úmida (g) : 1481,16							
Cápsula + Solo Seco (g)	76,208	66,66	72,70	Peso da Amostra Passante na # 10, Seca (g) : 1.434,67							
Peso de Água (g)	1,61	0,45	0,50	Peso de Água (g) : 46,49							
Solo Seco (g)	34,24	25,05	27,95	Peso da Amostra Total Seca (g) : 1.453,51							
Teor de Umidade	4,70%	1,78%	1,77%	Mh (Sedimentação) (g) : 70							
Teor de umidade Médio	3,24%										
Dados de Ensaio											
PENEIRAMENTO	FRACÃO GROSSA	Peneira		Peso da Peneira (g)	Peneira + Material (g)	Material Retido (g)	PORCENTAGEM				
		N°	mm				Fração Fina	Fração Grossa	Acumulada	Fração Fina	Fração Grossa
		3"	76,2			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
		2"	50,8			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
		1,5"	38,1			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
		1"	25,4			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
		3/4"	19,1		0	0,00		0,00%	0,00%		100,00%
		3/8"	9,5	0	0	0,00		0,00%	0,00%		100,00%
	4"	4,8	0	1,81	1,81		0,12%	0,12%		99,88%	
	10"	2	0	17,03	17,03		1,17%	1,30%		98,70%	
	FRACÃO FINA	16	1,19	709,25	710,67	1,42	2,09%	0,000977	2,09%	97,91%	96,64%
		30	0,59	540,45	547,82	7,37	10,87%	0,00507	12,96%	87,04%	85,91%
	40	0,42	592,28	597,15	4,87	7,18%	0,003351	20,15%	79,85%	78,82%	
	50	0,3	630,15	637,2	7,05	10,40%	0,00485	30,54%	69,46%	68,56%	
	100	0,15	618,16	622,67	4,51	6,65%	0,003103	37,20%	62,80%	61,99%	
	200	0,074	578,39	582,6	4,21	6,21%	0,002896	43,41%	56,59%	55,86%	
Sedimentação											
Massa Específica dos Grãos de Solo (g/cm³) : 2,760				Densímetro N° 1							
Massa Específica do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g/cm³) : 0,997											
Massa Específica do Solo na Temperatura do Ensaio (g/cm³) :				Peso da Amostra Úmida (Mh) (g) : 70							
Volume da Suspensão (cm³) : 1000				Peso da Amostra Seca (Ms) (g) : 67,80							
n(Coeficiente de Viscosidade do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g.s/cm²) : 9,34E-06											
Dados de Ensaio											
Data / Hora	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Densidade	Altura de Queda + Me-nisco	Correção do Menis-co	Altura de Queda	Densidade + Correção	μ	Diâmetro dos Grãos (mm)	% Amostra com Diâmetro < D	
		T	Rr	HR + Rm	Rm	HR	Rc	Rr - Rc	D	P	
	30	25	1,0180	12,93	0,00	12,93	0,9991	0,018921	0,0641	43,05%	
	60	25	1,0170	13,10	0,00	13,10	0,9991	0,017921	0,0457	40,77%	
	120	25	1,0170	13,10	0,00	13,10	0,9991	0,017921	0,0323	40,77%	
	240	25	1,0160	12,47	0,00	12,47	0,9991	0,016921	0,0223	38,50%	
	480	25	1,0080	13,82	0,00	13,82	0,9991	0,008921	0,0166	20,30%	
	900	25	1,0080	13,82	0,00	13,82	0,9991	0,008921	0,0121	20,30%	
	1800	25	1,0070	13,99	0,00	13,99	0,9991	0,007921	0,0086	18,02%	
	3600	25	1,0060	14,16	0,00	14,16	0,9991	0,006921	0,0061	15,75%	
	7200	25	1,0050	14,33	0,00	14,33	0,9991	0,005921	0,0044	13,47%	
	14400	26	1,0040	14,50	0,00	14,50	0,9988	0,005221	0,0031	11,88%	
	28800	27	1,0040	14,50	0,00	14,50	0,9985	0,0055	0,0022	12,56%	
	86400	26	1,0030	14,67	0,00	14,67	0,9988	0,0042	0,0013	9,60%	

Figura B.20 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 2 m. Parte 2.

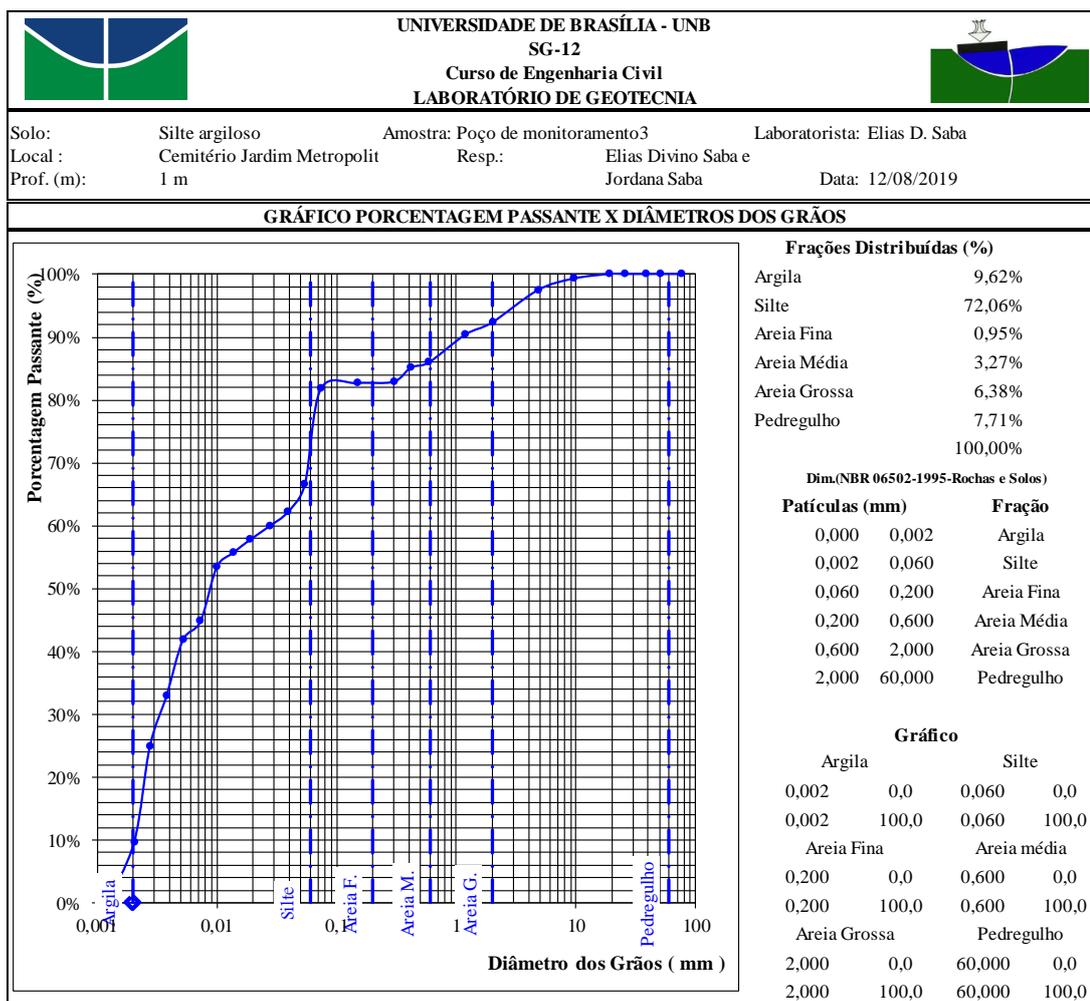


Figura B.21 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 1 m. Parte 1.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB		SG 12		Curso de Engenharia Civil		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA						
NBR 07181 - 2018 - Solo - Análise Granulométrica (com sedimentação)												
Solo: Silte argiloso		Amostra: Poço de monitoramento 3		Laboratorista: Elias D. Saba								
Local: Cemitério Jardim Metropolitano - Valparaíso		Resp.: Elias Divino Saba e Jordana Saba		Jordana Saba								
Prof. (m): 1 m				Data: 12/08/2019								
Teor de Umidade da Amostra				Determinação da Amostra Total Seca								
Cápsula Nº	67	49	33	Peso da Amostra Úmida (g): 1500								
Peso da Cápsula (g)	33,439	33,33	35,24	Peso da Amostra Retida na # 10 (g): 110,72								
Cápsula + Solo Úmido (g)	60,981	61,57	61,68	Peso da Amostra Passante na # 10, Úmida (g): 1389,28								
Cápsula + Solo Seco (g)	59,09	60,63	60,79	Peso da Amostra Passante na # 10, Seca (g): 1.325,96								
Peso de Água (g)	1,89	0,94	0,89	Peso de Água (g): 63,32								
Solo Seco (g)	25,65	27,30	25,55	Peso da Amostra Total Seca (g): 1.436,68								
Teor de Umidade	7,37%	3,45%	3,50%	Mh (Sedimentação) (g): 70								
Teor de umidade Médio	4,78%											
Dados de Ensaio												
					PORCENTAGEM							
PENEIRAMENTO	FRAÇÃO GROSSA	Peneira		Peso da Peneira (g)	Peneira + Material (g)	Material Retido (g)	RETIDA			PASSANTE		
		Nº	mm				Fração Fina	Fração Grossa	Acumulada	Fração Fina	Fração Grossa	
		3"	76,2			0,00		0,00%	0,00%			100,00%
		2"	50,8			0,00		0,00%	0,00%			100,00%
		1,5"	38,1			0,00		0,00%	0,00%			100,00%
		1"	25,4			0,00		0,00%	0,00%			100,00%
		3/4"	19,1		0	0,00		0,00%	0,00%			100,00%
	3/8"	9,5	0	10,7	10,70		0,74%	0,74%			99,26%	
	4"	4,8	0	26,33	26,33		1,83%	2,58%			97,42%	
	10"	2	0	73,69	73,69		5,13%	7,71%			92,29%	
	FRAÇÃO FINA	16"	1,19	709,25	710,66	1,41	2,11%	0,000981	2,11%	97,89%		90,35%
		30"	0,59	540,45	543,66	3,21	4,80%	0,002234	6,92%	93,08%		85,91%
		40"	0,42	592,28	592,84	0,56	0,84%	0,00039	7,75%	92,25%		85,14%
		50"	0,3	630,15	631,8	1,65	2,47%	0,001148	10,22%	89,78%		82,86%
100"		0,15	618,16	618,32	0,16	0,24%	0,000111	10,46%	89,54%		82,64%	
200"		0,074	578,39	579,08	0,69	1,03%	0,00048	11,50%	88,50%		81,68%	
Sedimentação												
Massa Específica dos Grãos de Solo (g/cm ³): 2,781				Densímetro Nº 1								
Massa Específica do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g/cm ³): 1,003				Peso da Amostra Úmida (Mh) (g) 70								
Massa Específica do Solo na Temperatura do Ensaio (g/cm ³): 1000				Peso da Amostra Seca (Ms) (g) 66,81								
Volume da Suspensão (cm ³): 1000												
n(Coeficiente de Viscosidade do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g.s/cm ²): 8,72E-06												
Dados de Ensaio												
Data / Hora	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Densidade	Altura de Queda + Me-nisco	Correção do Menis-co	Altura de Queda	Densidade + Correção	μ	Diâmetro dos Grãos (mm)	% Amostra com Diâmetro < D		
				HR + Rm	Rm	HR	Rc					
		T	Rr					Rr - Rc	D	P		
	30	26	1,0350	10,04	0,00	10,04	1,0044	0,030636	0,0544	66,44%		
	60	26	1,0330	10,38	0,00	10,38	1,0044	0,028636	0,0391	62,10%		
	120	26	1,0320	10,55	0,00	10,55	1,0044	0,027636	0,0279	59,93%		
	240	26	1,0310	9,92	0,00	9,92	1,0044	0,026636	0,0191	57,76%		
	480	26	1,0300	10,09	0,00	10,09	1,0044	0,025636	0,0136	55,59%		
	900	26	1,0290	10,26	0,00	10,26	1,0044	0,024636	0,0100	53,43%		
	1800	26	1,0250	10,94	0,00	10,94	1,0044	0,020636	0,0073	44,75%		
	3600	24	1,0240	11,11	0,00	11,11	1,0048	0,019234	0,0052	41,72%		
	7200	23,5	1,0200	11,79	0,00	11,79	1,0049	0,015134	0,0038	32,83%		
	14400	25	1,0160	12,47	0,00	12,47	1,0046	0,011435	0,0028	24,80%		
	28800	25	1,0090	13,65	0,00	13,65	1,0046	0,0044	0,0020	9,62%		
	86400	25	1,0046	14,40	0,00	14,40	1,0046	0,0000	0,0012	0,08%		

Figura B.22 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 1 m. Parte 2.

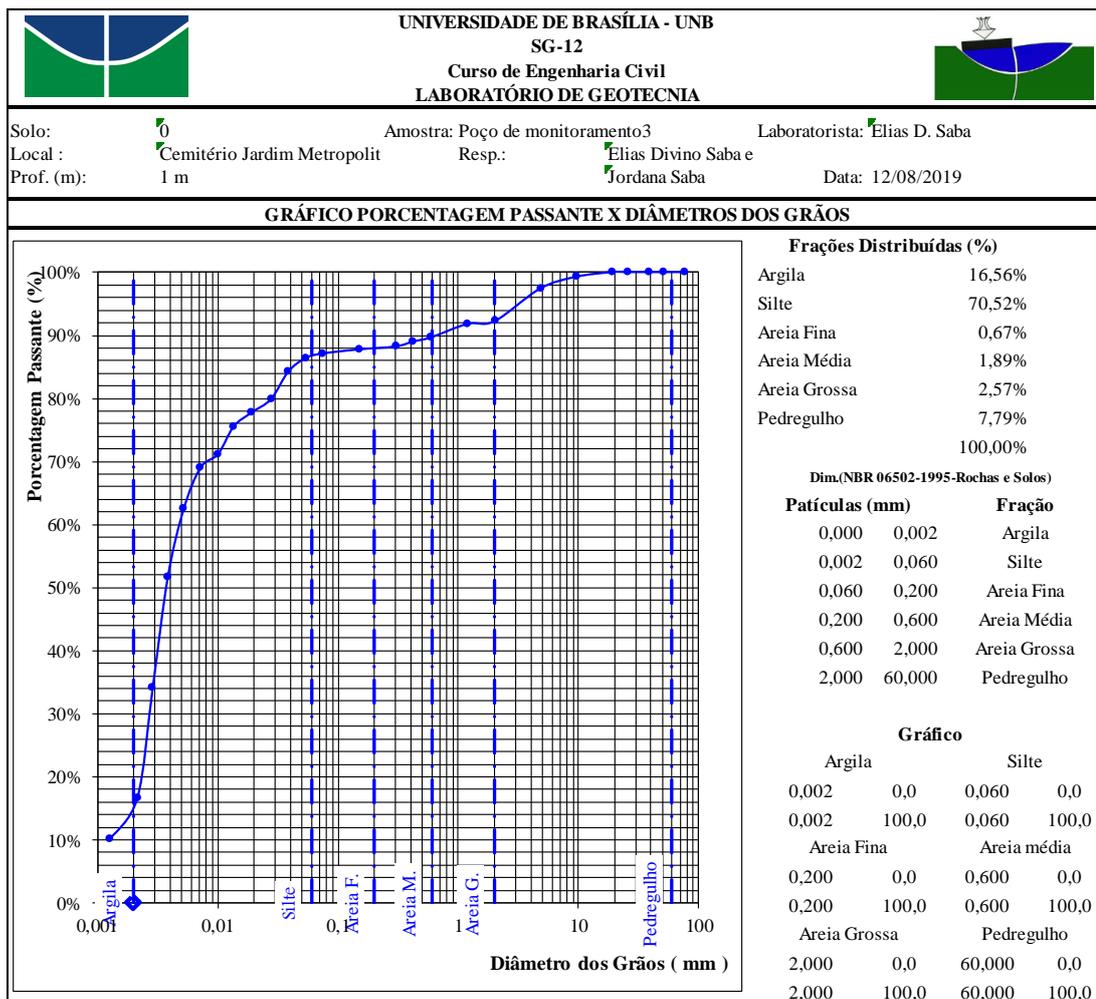


Figura B.23 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 1m. Parte 1.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB		SG 12		Curso de Engenharia Civil		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA						
NBR 07181 - 2018 - Solo - Análise Granulométrica (com sedimentação)												
Solo:	Silte arenoso	Amostra:	Poço de monitoramento 3	Laboradorista:	Elias D. Saba							
Local :	Cemitério Jardim Metropolitano - Valparaíso	Resp.:	Elias Divino Saba e Jordana Saba		Jordana Saba							
Prof. (m):	1 m			Data:	12/08/2019							
Teor de Umidade da Amostra				Determinação da Amostra Total Seca								
Cápsula Nº	67	49	33	Peso da Amostra Úmida (g) : 1500								
Peso da Cápsula (g)	33,439	33,33	35,24	Peso da Amostra Retida na # 10 (g) : 110,72								
Cápsula + Solo Úmido (g)	60,981	61,57	61,68	Peso da Amostra Passante na # 10, Úmida (g) : 1389,28								
Cápsula + Solo Seco (g)	59,09	60,63	60,79	Peso da Amostra Passante na # 10, Seca (g) : 1.325,96								
Peso de Água (g)	1,89	0,94	0,89	Peso de Água (g) : 63,32								
Solo Seco (g)	25,65	27,30	25,55	Peso da Amostra Total Seca (g) : 1.436,68								
Teor de Umidade	7,37%	3,45%	3,50%	Mh (Sedimentação) (g) : 70								
Teor de umidade Médio	4,78%											
Dados de Ensaio												
					PORCENTAGEM							
PENEIRAMENTO	FRACÃO GROSSA	Peneira		Peso da Peneira (g)	Peneira + Material (g)	Material Retido (g)	RETIDA			PASSANTE		
		Nº	mm				Fração Fina	Fração Grossa	Acumulada	Fração Fina	Fração Grossa	
			3"	76,2			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			2"	50,8			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1,5	38,1			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1"	25,4			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			3/4"	19,1		0	0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			3/8"	9,5	0	10,7	10,70		0,74%	0,74%		99,26%
		4	4,8	0	26,33	26,33		1,83%	2,58%		97,42%	
		10	2	0	73,69	73,69		5,13%	7,71%		92,29%	
		FRACÃO FINA	16	1,19	709,25	710,34	1,09	1,63%	0,000759	1,63%	98,37%	90,79%
			30	0,59	540,45	543,42	2,97	4,45%	0,002067	6,08%	93,92%	86,68%
			40	0,42	592,28	592,68	0,40	0,60%	0,000278	6,68%	93,32%	86,13%
			50	0,3	630,15	631,8	1,65	2,47%	0,001148	9,15%	90,85%	83,85%
	100		0,15	618,16	618,58	0,42	0,63%	0,000292	9,77%	90,23%	83,27%	
	200		0,074	578,39	579,6	1,21	1,81%	0,000842	11,59%	88,41%	81,60%	
Sedimentação												
Massa Específica dos Grãos de Solo (g/cm³) : 2,781				Densímetro Nº 1								
Massa Específica do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g/cm³) : 0,997				Peso da Amostra Úmida (Mh) (g) 70								
Massa Específica do Solo na Temperatura do Ensaio (g/cm³) :				Peso da Amostra Seca (Ms) (g) 66,81								
Volume da Suspensão (cm³) : 1000				n(Coeficiente de Viscosidade do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g.s/cm²) : 9,34E-06								
Dados de Ensaio												
Data / Hora	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Densidade	Altura de Queda + Me-nisco	Correção do Menis-co	Altura de Queda	Densidade + Correção	μ	Diâmetro dos Grãos (mm)	% Amostra com Diâmetro < D		
				HR + Rm	Rm	HR	Rc	Rr - Rc	D	P		
	30	27	1,0250	11,74	0,00	11,74	0,9985	0,026521	0,0608	56,99%		
	60	27	1,0230	12,08	0,00	12,08	0,9985	0,024521	0,0436	52,69%		
	120	27	1,0220	12,25	0,00	12,25	0,9985	0,023521	0,0310	50,54%		
	240	27	1,0200	11,79	0,00	11,79	0,9985	0,021521	0,0215	46,25%		
	480	27	1,0170	12,30	0,00	12,30	0,9985	0,018521	0,0155	39,80%		
	900	27	1,0100	13,48	0,00	13,48	0,9985	0,011521	0,0119	24,76%		
	1800	26,5	1,0090	13,65	0,00	13,65	0,9986	0,010371	0,0085	22,29%		
	3600	26	1,0080	13,82	0,00	13,82	0,9988	0,009221	0,0060	19,82%		
	7200	26	1,0070	13,99	0,00	13,99	0,9988	0,008221	0,0043	17,67%		
	14400	25	1,0060	14,16	0,00	14,16	0,9991	0,006921	0,0030	14,88%		
	28800	26,5	1,0020	14,84	0,00	14,84	0,9986	0,0034	0,0022	7,24%		
	86400	26	1,0010	15,01	0,00	15,01	0,9988	0,0022	0,0013	4,77%		

Figura B.24 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 1m. Parte 2.

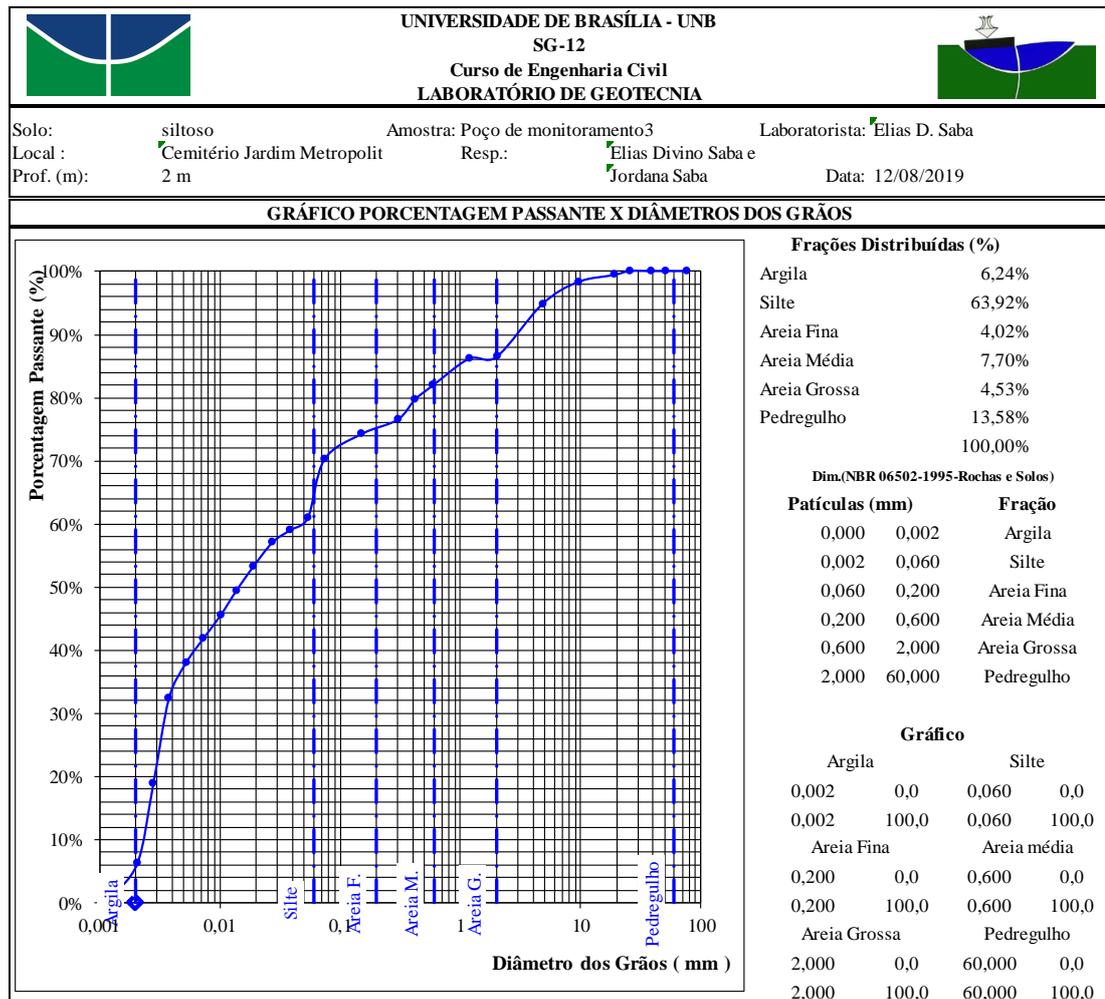


Figura B.25 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 2m. Parte 1.

		UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB										
		SG 12										
		Curso de Engenharia Civil										
		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA										
NBR 07181 - 2018 - Solo - Análise Granulométrica (com sedimentação)												
Solo:	Silte argiloso com pedregulhos	Amostra:	Poço de monitoramento 3	Laboradorista:	Elias D. Saba							
Local :	Cemitério Jardim Metropolitano - Valparaíso	Resp.:	Elias Divino Saba e Jordana Saba		Jordana Saba							
Prof. (m):	2 m		Jordana Saba	Data:	12/08/2019							
Teor de Umidade da Amostra				Determinação da Amostra Total Seca								
Cápsula Nº	9	31	65	Peso da Amostra Úmida (g): 1500								
Peso da Cápsula (g)	32,642	30,33	32,31	Peso da Amostra Retida na # 10 (g): 203,21								
Cápsula + Solo Úmido (g)	61,797	58,13	56,78	Peso da Amostra Passante na # 10, Úmida (g): 1296,79								
Cápsula + Solo Seco (g)	60,711	58,04	56,69	Peso da Amostra Passante na # 10, Seca (g): 1.277,24								
Peso de Água (g)	1,09	0,10	0,09	Peso de Água (g): 19,55								
Solo Seco (g)	28,07	27,71	24,38	Peso da Amostra Total Seca (g): 1.480,45								
Teor de Umidade	3,87%	0,36%	0,37%	Mh (Sedimentação) (g): 70								
Teor de umidade Médio	1,53%											
Dados de Ensaio												
					PORCENTAGEM							
PENEIRAMENTO	FRACÃO GROSSA	Peneira		Peso da Peneira (g)	Peneira + Material (g)	Material Retido (g)	RETIDA			PASSANTE		
		Nº	mm				Fração Fina	Fração Grossa	Acumulada	Fração Fina	Fração Grossa	
		3"	76,2			0,00		0,00%	0,00%			100,00%
		2"	50,8			0,00		0,00%	0,00%			100,00%
		1,5	38,1			0,00		0,00%	0,00%			100,00%
		1"	25,4			0,00		0,00%	0,00%			100,00%
		3/4"	19,1	0	9,12	9,12		0,62%	0,62%			99,38%
		3/8"	9,5	0	16,78	16,78		1,13%	1,75%			98,25%
	4	4,8	0	52,51	52,51		3,55%	5,30%			94,70%	
	10	2	0	124,8	124,80		8,43%	13,73%			86,27%	
	FRACÃO FINA	16	1,19	709,25	710,95	1,70	2,47%	0,001148	2,47%	97,53%	84,15%	
		30	0,59	540,45	545,07	4,62	6,70%	0,003121	9,17%	90,83%	78,37%	
		40	0,42	592,28	593,04	0,76	1,10%	0,000513	10,27%	89,73%	77,41%	
		50	0,3	630,15	633,38	3,23	4,68%	0,002182	14,95%	85,05%	73,37%	
	100	0,15	618,16	618,9	0,74	1,07%	0,00005	16,03%	83,97%	72,45%		
	200	0,074	578,39	580,58	2,19	3,18%	0,001479	19,20%	80,80%	69,71%		

Figura B.26 - Relatório de granulometria com defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 2m. Parte 2.

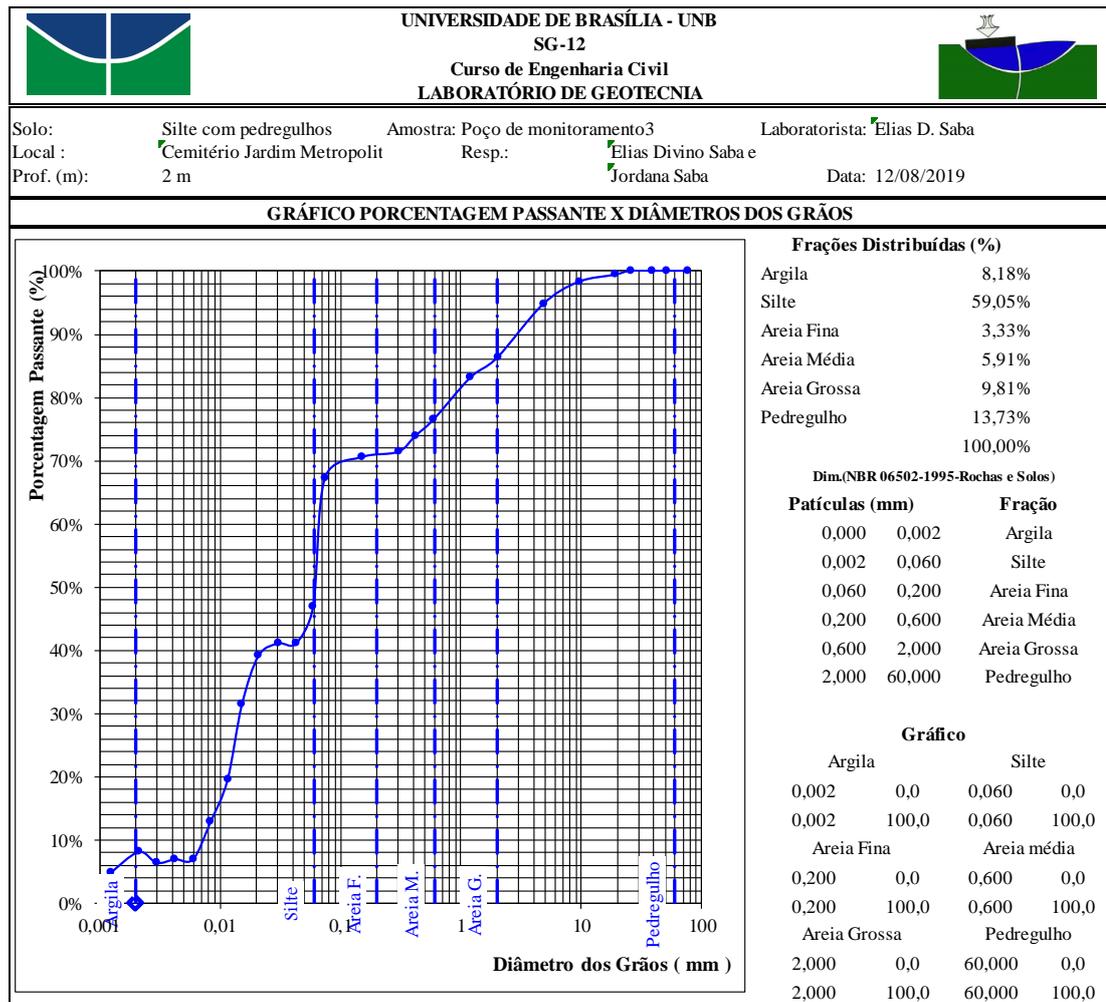


Figura B.27 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 2m. Parte 1.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB		SG 12		Curso de Engenharia Civil		LABORATÓRIO DE GEOTECNIA						
NBR 07181 - 2018 - Solo - Análise Granulométrica (com sedimentação)												
Solo:	Silte com pedregulhos	Amostra:	Poço de monitoramento 3	Laboratorista:	Elias D. Saba							
Local :	Cemitério Jardim Metropolitano - Valparaíso	Resp.:	Elias Divino Saba e Jordana Saba		Jordana Saba							
Prof. (m):	2 m		Jordana Saba	Data:	12/08/2019							
Teor de Umidade da Amostra				Determinação da Amostra Total Seca								
Cápsula Nº	9	31	65	Peso da Amostra Úmida (g) : 1500								
Peso da Cápsula (g)	32,642	30,33	32,31	Peso da Amostra Retida na # 10 (g) : 203,21								
Cápsula + Solo Úmido (g)	61,797	58,13	56,78	Peso da Amostra Passante na # 10, Úmida (g) : 1296,79								
Cápsula + Solo Seco (g)	60,711	58,04	56,69	Peso da Amostra Passante na # 10, Seca (g) : 1.277,24								
Peso de Água (g)	1,09	0,10	0,09	Peso de Água (g) : 19,55								
Solo Seco (g)	28,07	27,71	24,38	Peso da Amostra Total Seca (g) : 1.480,45								
Teor de Umidade	3,87%	0,36%	0,37%	Mh (Sedimentação) (g) : 70								
Teor de umidade Médio	1,53%											
Dados de Ensaio												
					PORCENTAGEM							
PENEIRAMENTO	FRAÇÃO GROSSA	Peneira		Peso da Peneira (g)	Peneira + Material (g)	Material Retido (g)	RETIDA			PASSANTE		
		Nº	mm				Fração Fina	Fração Grossa	Acumulada	Fração Fina	Fração Grossa	
			3"	76,2			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			2"	50,8			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1,5	38,1			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			1"	25,4			0,00		0,00%	0,00%		100,00%
			3/4"	19,1	0	9,12	9,12		0,62%	0,62%		99,38%
			3/8"	9,5	0	16,78	16,78		1,13%	1,75%		98,25%
		4	4,8	0	52,51	52,51		3,55%	5,30%		94,70%	
		10	2	0	124,8	124,80		8,43%	13,73%		86,27%	
		FRAÇÃO FINA	16	1,19	709,25	711,8	2,55	3,70%	0,001722	3,70%	96,30%	83,08%
			30	0,59	540,45	545,74	5,29	7,67%	0,003573	11,37%	88,63%	76,46%
			40	0,42	592,28	594,28	2,00	2,90%	0,001351	14,27%	85,73%	73,96%
			50	0,3	630,15	632,2	2,05	2,97%	0,001385	17,25%	82,75%	71,40%
	100		0,15	618,16	618,83	0,67	0,97%	0,000453	18,22%	81,78%	70,56%	
	200		0,074	578,39	581,05	2,66	3,86%	0,001797	22,08%	77,92%	67,23%	
Sedimentação												
Massa Específica dos Grãos de Solo (g/cm ³) : 2,806				Densímetro Nº 1								
Massa Específica do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g/cm ³) : 0,997												
Massa Específica do Solo na Temperatura do Ensaio (g/cm ³) :				Peso da Amostra Úmida (Mh) (g) : 70								
Volume da Suspensão (cm ³) : 1000				Peso da Amostra Seca (Ms) (g) : 68,94								
n(Coeficiente de Viscosidade do Meio Dispersor na Temperatura de Ensaio (g.s/cm ²) : 8,72E-06												
Dados de Ensaio												
Data / Hora	Tempo (s)	Temperatura (°C)	Densidade	Altura de Queda + Menisco (HR + Rm)	Correção do Menisco (Rm)	Altura de Queda (cm) (HR)	Densidade + Correção (Rc)	μ (Rr - Rc)	Diâmetro dos Grãos (mm) (D)	% Amostra com Diâmetro < D (P)		
	30	26	1,0230	12,08	0,00	12,08	0,9988	0,024221	0,0591	46,92%		
	60	26	1,0200	12,59	0,00	12,59	0,9988	0,021221	0,0427	41,11%		
	120	26	1,0200	12,59	0,00	12,59	0,9988	0,021221	0,0302	41,11%		
	240	26	1,0190	11,96	0,00	11,96	0,9988	0,020221	0,0208	39,17%		
	480	26	1,0150	12,64	0,00	12,64	0,9988	0,016221	0,0151	31,42%		
	900	25,5	1,0090	13,65	0,00	13,65	0,9989	0,010071	0,0115	19,51%		
	1800	24	1,0060	14,16	0,00	14,16	0,9994	0,006621	0,0083	12,83%		
	3600	24	1,0030	14,67	0,00	14,67	0,9994	0,003621	0,0060	7,02%		
	7200	24	1,0030	14,67	0,00	14,67	0,9994	0,003621	0,0042	7,02%		
	14400	23	1,0030	14,67	0,00	14,67	0,9997	0,003322	0,0030	6,44%		
	28800	26	1,0030	14,67	0,00	14,67	0,9988	0,0042	0,0021	8,18%		
	86400	27	1,0010	15,01	0,00	15,01	0,9985	0,0025	0,0012	4,88%		

Figura B.28 - Relatório de granulometria sem defloculante. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 2 m. Parte 2.

APÊNDICE C. Relatórios do Pentapicnômetro

Sat Aug 17 13:46:36 2019		
User ID:		
Sample Parameters		
Sample ID: 5		
Weight: 24.7142 g		
Analysis Parameters		
Cell Size - Medium		
V Added - Large: 80.3382 cc		
V Cell: 59.6560 cc		
Analysis Temperature: 23.4 C		
Target Pressure: 17.0 psig		
Type of gas used: HELIUM		
Equilibration Time: Auto		
Flow Purge: 1.0 min.		
Maximum Runs: 5		
Number Of Runs Averaged: 3		
Deviation Requested: 0.0050 %		
Analysis Results		
Deviation Achieved: 0.0065 %		
Average Volume: 9.0896 cc		
Volume Std. Dev.: 0.0007 cc		
Average Density: 2.7190 g/cc		
Density Std. Dev.: 0.0002 g/cc		
Coefficient of Variation: 0.0075 %		

Run Data		

RUN	VOLUME (cc)	DENSITY (g/cc)

1	9.0636	2.7268
2	9.0811	2.7215
3	9.0887	2.7192
4	9.0903	2.7187
5	9.0897	2.7189

Figura C.1 – Resultado de peso específico aparente. Amostra: Tumulação, profundidade de 0-30 cm.

Mon Jul 29 18:22:17 2019
User ID:

Sample Parameters
Sample ID: 3
Weight: 23.4067 g

Analysis Parameters
Cell Size - Medium
V Added - Large: 80.3382 cc
V Cell: 59.7922 cc
Analysis Temperature: 22.4 C
Target Pressure: 17.0 psig
Type of gas used: HELIUM
Equilibration Time: Auto
Vacuum Purge: 1.0 min.
Maximum Runs: 5
Number Of Runs Averaged: 3
Deviation Requested: 0.0050 %

Analysis Results
Deviation Achieved: 0.0848 %
Average Volume: 8.4782 cc
Volume Std. Dev.: 0.0077 cc
Average Density: 2.7608 g/cc
Density Std. Dev.: 0.0025 g/cc
Coefficient of Variation: 0.0910 %

Run Data		
RUN	VOLUME (cc)	DENSITY (g/cc)
1	8.3332	2.8088
2	8.4095	2.7834
3	8.4674	2.7643
4	8.4822	2.7595
5	8.4851	2.7586

Figura C.2 - Resultado de peso específico aparente. Amostra: Tumulação, profundidade de 1 m.

Sat Aug 17 14:18:22 2019
 User ID:

Sample Parameters
 Sample ID: 3
 Weight: 21.9710 g

Analysis Parameters
 Cell Size - Medium
 V Added - Large: 80.3382 cc
 V Cell: 59.7922 cc
 Analysis Temperature: 23.6 C
 Target Pressure: 17.0 psig
 Type of gas used: HELIUM
 Equilibration Time: Auto
 Flow Purge: 1.0 min.
 Maximum Runs: 5
 Number Of Runs Averaged: 3
 Deviation Requested: 0.0050 %

Analysis Results
 Deviation Achieved: 0.1618 %
 Average Volume: 7.6248 cc
 Volume Std. Dev.: 0.0135 cc
 Average Density: 2.8815 g/cc
 Density Std. Dev.: 0.0051 g/cc
 Coefficient of Variation: 0.1771 %

Run Data		
RUN	VOLUME (cc)	DENSITY (g/cc)
1	7.4843	2.9356
2	7.5617	2.9056
3	7.6062	2.8885
4	7.6299	2.8796
5	7.6381	2.8765

Figura C.3 - Resultado de peso específico aparente. Amostra: Tumulação, profundidade de 2 m.

Mon Jul 29 19:18:25 2019
 User ID:

Sample Parameters
 Sample ID: 2
 Weight: 20.6577 g

Analysis Parameters
 Cell Size - Medium
 V Added - Large: 80.3382 cc
 V Cell: 60.1954 cc
 Analysis Temperature: 22.3 C
 Target Pressure: 17.0 psig
 Type of gas used: HELIUM
 Equilibration Time: Auto
 Vacuum Purge: 1.0 min.
 Maximum Runs: 5
 Number Of Runs Averaged: 3
 Deviation Requested: 0.0050 %

Analysis Results
 Deviation Achieved: 0.0588 %
 Average Volume: 7.5272 cc
 Volume Std. Dev.: 0.0052 cc
 Average Density: 2.7444 g/cc
 Density Std. Dev.: 0.0019 g/cc
 Coefficient of Variation: 0.0688 %

Run Data		
RUN	VOLUME (cc)	DENSITY (g/cc)
1	7.4485	2.7734
2	7.4983	2.7550
3	7.5212	2.7466
4	7.5265	2.7447
5	7.5338	2.7420

Figura C.4 - Resultado de peso específico aparente. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 1 m.

Sat Aug 17 14:43:21 2019
User ID:

Sample Parameters
Sample ID: 5
Weight: 23.8393 g

Analysis Parameters
Cell Size - Medium
V Added - Large: 80.3382 cc
V Cell: 59.6560 cc
Analysis Temperature: 23.7 C
Target Pressure: 17.0 psig
Type of gas used: HELIUM
Equilibration Time: Auto
Flow Purge: 1.0 min.
Maximum Runs: 5
Number Of Runs Averaged: 3
Deviation Requested: 0.0050 %

Analysis Results
Deviation Achieved: 0.1991 %
Average Volume: 8.6391 cc
Volume Std. Dev.: 0.0198 cc
Average Density: 2.7595 g/cc
Density Std. Dev.: 0.0063 g/cc
Coefficient of Variation: 0.2294 %

Run Data		
RUN	VOLUME (cc)	DENSITY (g/cc)
1	8.5973	2.7729
2	8.6102	2.7687
3	8.6133	2.7677
4	8.6425	2.7584
5	8.6614	2.7523

Figura C.5 - Resultado de peso específico aparente. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 2 m.

Sat Aug 17 19:20:49 2019

User ID:

Sample Parameters

Sample ID: 3

Weight: 28.3726 g

Analysis Parameters

Cell Size - Medium

V Added - Large: 80.3382 cc

V Cell: 59.7922 cc

Analysis Temperature: 23.4 C

Target Pressure: 17.0 psig

Type of gas used: HELIUM

Equilibration Time: Auto

Flow Purge: 1.0 min.

Maximum Runs: 5

Number Of Runs Averaged: 3

Deviation Requested: 0.0050 %

Analysis Results

Deviation Achieved: 0.1083 %

Average Volume: 10.2036 cc

Volume Std. Dev.: 0.0130 cc

Average Density: 2.7807 g/cc

Density Std. Dev.: 0.0035 g/cc

Coefficient of Variation: 0.1276 %

Run Data

RUN	VOLUME (cc)	DENSITY (g/cc)
1	10.2156	2.7774
2	10.1896	2.7845
3	10.1870	2.7852
4	10.2049	2.7803
5	10.2188	2.7765

Figura C.6 - Resultado de peso específico aparente. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 1 m.

Sat Aug 17 19:33:30 2019
User ID:

Sample Parameters
Sample ID: 5
Weight: 22.2007 g

Analysis Parameters
Cell Size - Medium
V Added - Large: 80.3382 cc
V Cell: 59.6560 cc
Analysis Temperature: 23.5 C
Target Pressure: 17.0 psig
Type of gas used: HELIUM
Equilibration Time: Auto
Flow Purge: 1.0 min.
Maximum Runs: 5
Number Of Runs Averaged: 3
Deviation Requested: 0.0050 %

Analysis Results
Deviation Achieved: 0.0869 %
Average Volume: 7.9112 cc
Volume Std. Dev.: 0.0074 cc
Average Density: 2.8062 g/cc
Density Std. Dev.: 0.0026 g/cc
Coefficient of Variation: 0.0933 %

----- Run Data -----		
RUN	VOLUME (cc)	DENSITY (g/cc)
1	7.9041	2.8088
2	7.9025	2.8093
3	7.9009	2.8099
4	7.9149	2.8049
5	7.9178	2.8039

Figura C.7 - Resultado de peso específico aparente. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 2 m.

APÊNDICE D. Relatórios dos limites de consistência do solo

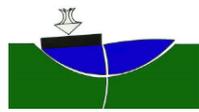
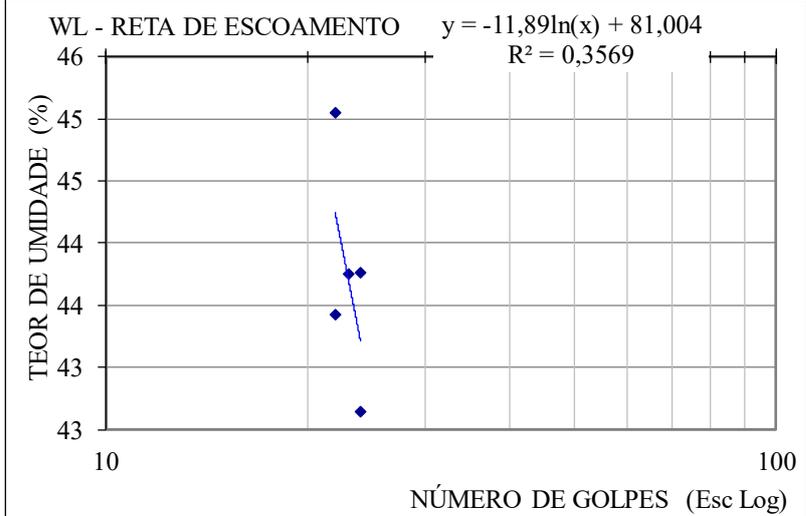
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE BRASÍLIA CAMPUS DARCY RIBEIRO PROPRGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL					
DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA DOS SOLOS					
Amostra:	0-30 cm - tumulação	Laboratorista:	Elias D. Saba e		
Interessado:	Elias Divino Saba	Data:	Jordana Saba		
			04/08/2019		
NBR 06459 - 1984 - Solo- Determinação do Limite de Liquidez					
Cápsula N ^o	218	107	55	3010	30
Cápsula + Solo Úmido (g)	13,38	11,85	11,13	9,95	12,13
Cápsula + Solo Seco (g)	10,42	9,75	9,06	8,23	9,58
Peso da Cápsula (g)	3,48	4,95	4,33	4,27	3,92
Peso da Água (g)	2,96	2,10	2,07	1,72	2,55
Peso Solo Seco (g)	6,94	4,80	4,73	3,96	5,66
N ^o . de Golpes	24	23	24	22	22
Teor de Umidade (%)	42,65	43,75	43,76	43,43	45,05
WL (%)	43				
					
NBR 07180 - 1984 - Solo - Determinação do limite de plasticidade					
Cápsula N ^o	81	52	53	54	55
Cápsula + Solo Úmido (g)	9,471	9,05	8,761	11,085	9,07
Cápsula + Solo Seco (g)	8,934	8,754	8,535	10,643	8,81
Peso da Cápsula (g)	6,965	7,69	7,737	9,094	7,939
Peso da Água (g)	0,54	0,30	0,23	0,44	0,26
Peso Solo Seco (g)	1,97	1,06	0,80	1,55	0,87
Teor de Umidade (%)	27,41	28,30	28,75	28,39	29,89
Situação:	ok	ok	ok	ok	ok
WP (%)	28,55				
IP (%)	14,18				

Figura D.1 - Relatório dos limites de consistência do solo. Amostra: Tumulação, profundidade de 0 – 30 cm.

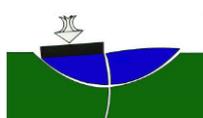
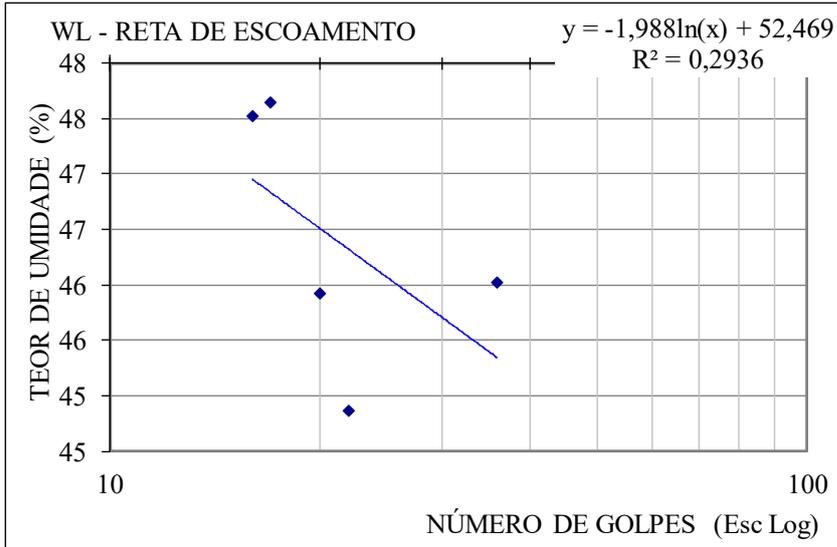
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE BRASÍLIA CAMPUS DARCY RIBEIRO PROPRGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL					
DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA DOS SOLOS					
Amostra:	1 m - tumulação	Laboratorista:	Elias D. Saba e Jordana Saba		
Interessado:	Elias Divino Saba	Data:	04/08/2019		
NBR 06459 - 1984 - Solo- Determinação do Limite de Liquidez					
Cápsula N ^o	4139	202	34	4133	19
Cápsula + Solo Úmido (g)	15,73	17,69	13,61	15,58	14,6
Cápsula + Solo Seco (g)	12,15	13,33	10,55	12,09	11,45
Peso da Cápsula (g)	4,37	4,18	4,11	4,31	4,59
Peso da Água (g)	3,58	4,36	3,06	3,49	3,15
Peso Solo Seco (g)	7,78	9,15	6,44	7,78	6,86
N ^o . de Golpes	36	17	16	22	20
Teor de Umidade (%)	46,02	47,65	47,52	44,86	45,92
WL (%)	46				
					
NBR 07180 - 1984 - Solo - Determinação do limite de plasticidade					
Cápsula N ^o	27	86	4184	17	18
Cápsula + Solo Úmido (g)	5,473	5,31	5,145	5,642	6,34
Cápsula + Solo Seco (g)	5,238	5,144	5,004	5,414	5,963
Peso da Capsula (g)	4,394	4,518	4,481	4,753	4,677
Peso da Água (g)	0,23	0,17	0,14	0,23	0,38
Peso Solo Seco (g)	0,84	0,63	0,52	0,66	1,29
Teor de Umidade (%)	27,38	26,98	26,92	34,85	29,46
Situação:	ok	ok	ok	não ok	ok
WP (%)	27,69				
IP (%)	18,38				

Figura D.2 - Relatório dos limites de consistência do solo. Amostra: Tumulação, profundidade de 1m.

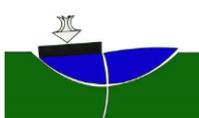
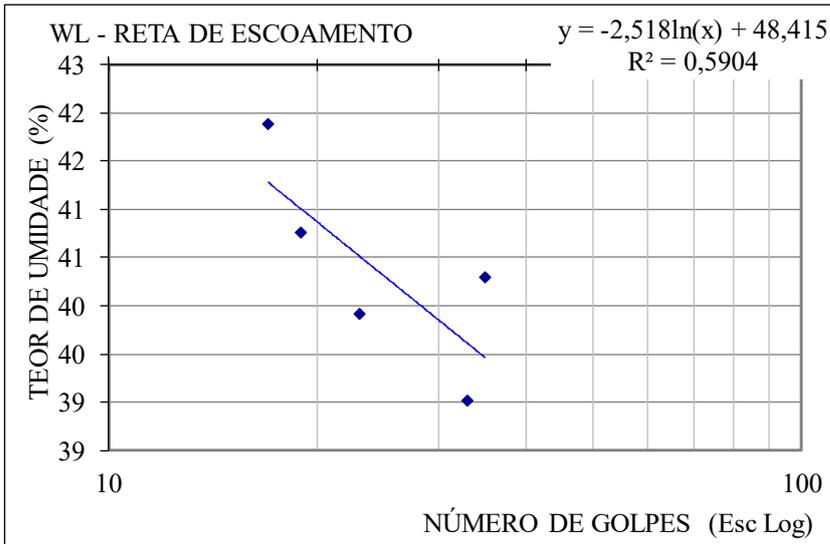
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE BRASÍLIA CAMPUS DARCY RIBEIRO PROPRAGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL					
DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA DOS SOLOS					
Amostra:	2 m - tumulação	Laboratorista:	Elias D. Saba e		
Interessado:	Elias Divino Saba		Jordana Saba		
		Data:	04/08/2019		
NBR 06459 - 1984 - Solo- Determinação do Limite de Liquidez					
Cápsula N ^o	25	19	250	41	225
Cápsula + Solo Úmido (g)	17,71	21,29	15,41	15,07	16,41
Cápsula + Solo Seco (g)	14,54	17,76	13,21	13,09	13,75
Peso da Cápsula (g)	6,97	9,1	7,57	8,13	7,15
Peso da Água (g)	3,17	3,53	2,2	1,98	2,66
Peso Solo Seco (g)	7,57	8,66	5,64	4,96	6,6
N ^o . de Golpes	17	19	33	23	35
Teor de Umidade (%)	41,88	40,76	39,01	39,92	40,30
WL (%)	40				
					
NBR 07180 - 1984 - Solo - Determinação do limite de plasticidade					
Cápsula N ^o	53	J16	66	19	P100
Cápsula + Solo Úmido (g)	5,233	5,543	5,191	5,684	5,458
Cápsula + Solo Seco (g)	5,012	5,352	4,996	5,485	5,28
Peso da Capsula (g)	4,171	4,576	4,185	4,712	4,592
Peso da Água (g)	0,22	0,19	0,19	0,20	0,18
Peso Solo Seco (g)	0,84	0,78	0,81	0,77	0,69
Teor de Umidade (%)	26,19	24,36	23,46	25,97	26,09
Situação:	ok	ok	não ok	ok	ok
WP (%)	25,65				
IP (%)	14,66				

Figura D.3 - Relatório dos limites de consistência do solo. Amostra: Tumulação, profundidade de 2 m.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE BRASÍLIA CAMPUS DARCY RIBEIRO PROPRGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL					
DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA DOS SOLOS					
Amostra:	1 m - Poço de monitoramento 1				
Interessado:	Elias Divino Saba				
Laboratorista:	Elias D. Saba e Jordana Saba				
Data:	04/08/2019				
NBR 06459 - 1984 - Solo- Determinação do Limite de Liquidez					
Cápsula N ^o	A40	O1	A18	256	A4
Cápsula + Solo Úmido (g)	19,04	19,8	15,27	14,43	12,02
Cápsula + Solo Seco (g)	15,46	16,05	13,22	12,67	10,87
Peso da Cápsula (g)	7,72	7,93	8,48	8,44	8,15
Peso da Água (g)	3,58	3,75	2,05	1,76	1,15
Peso Solo Seco (g)	7,74	8,12	4,74	4,23	2,72
N ^o . de Golpes	23	16	24	26	34
Teor de Umidade (%)	46,25	46,18	43,25	41,61	42,28
WL (%)	44				
<p>WL - RETA DE ESCOAMENTO</p> $y = -6,029\ln(x) + 63,052$ $R^2 = 0,5619$					
NBR 07180 - 1984 - Solo - Determinação do limite de plasticidade					
Cápsula N ^o	1	9	206	P 94	4150
Cápsula + Solo Úmido (g)	6,089	4,741	5,24	5,105	4,943
Cápsula + Solo Seco (g)	5,904	4,605	5,049	4,959	4,779
Peso da Capsula (g)	5,23	4,091	4,365	4,434	4,199
Peso da Água (g)	0,19	0,14	0,19	0,15	0,16
Peso Solo Seco (g)	0,67	0,51	0,68	0,52	0,58
Teor de Umidade (%)	28,36	27,45	27,94	28,85	27,59
Situação:	ok	ok	ok	ok	ok
WP (%)	28,04				
IP (%)	15,61				

Figura D.4 - Relatório dos limites de consistência do solo. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 1 m.

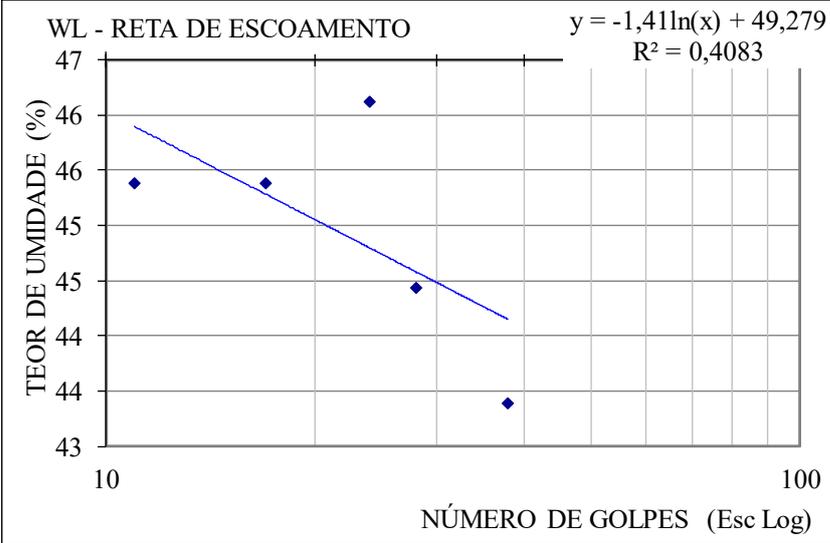
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE BRASÍLIA CAMPUS DARCY RIBEIRO PROPRGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL					
DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA DOS SOLOS					
Amostra:	2 m - Poço de monitoramento 1	Laboratorista:	Elias D. Saba e		
Interessado:	Elias Divino Saba		Jordana Saba		
		Data:	04/08/2019		
NBR 06459 - 1984 - Solo- Determinação do Limite de Liquidez					
Cápsula N ^o	9	32	P81	P36	550
Cápsula + Solo Úmido (g)	7,7	9,93	7,92	8,18	15,1
Cápsula + Solo Seco (g)	6,62	8,09	6,74	6,98	11,95
Peso da Cápsula (g)	4,24	4,1	4,14	4,28	4,69
Peso da Água (g)	1,08	1,84	1,18	1,2	3,15
Peso Solo Seco (g)	2,38	3,99	2,6	2,7	7,26
N ^o . de Golpes	11	24	17	28	38
Teor de Umidade (%)	45,38	46,12	45,38	44,44	43,39
WL (%)	45				
					
NBR 07180 - 1984 - Solo - Determinação do limite de plasticidade					
Cápsula N ^o	58	209	2	4	4154
Cápsula + Solo Úmido (g)	5,332	4,888	4,886	5,477	4,798
Cápsula + Solo Seco (g)	5,113	4,757	4,75	5,245	4,641
Peso da Capsula (g)	4,352	4,305	4,257	4,366	4,042
Peso da Água (g)	0,22	0,13	0,14	0,23	0,16
Peso Solo Seco (g)	0,76	0,45	0,49	0,88	0,60
Teor de Umidade (%)	28,95	28,89	28,57	26,14	26,67
Situação:	ok	ok	ok	ok	ok
WP (%)	27,84				
IP (%)	16,89				

Figura D.5 - Relatório dos limites de consistência do solo. Amostra: Poço de monitoramento 1, profundidade de 2 m.

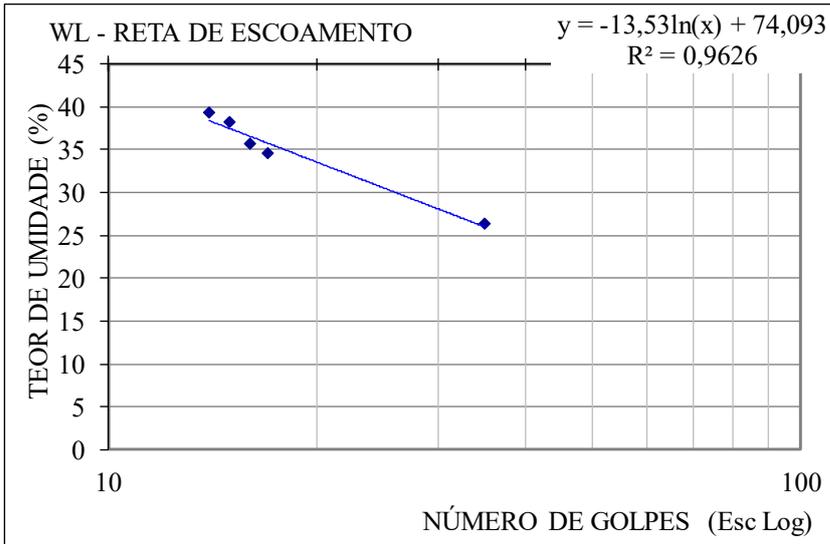
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE BRASÍLIA CAMPUS DARCY RIBEIRO PROPRGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL					
DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA DOS SOLOS					
Amostra:	1 m - Poço de monitoramento 3	Laboratorista:	Elias D. Saba e		
Interessado:	Elias Divino Saba	Data:	Jordana Saba 04/08/2019		
NBR 06459 - 1984 - Solo- Determinação do Limite de Liquidez					
Cápsula N ^o	32	4154	26	33	12
Cápsula + Solo Úmido (g)	15,77	11,4	10,2	16,191	10,96
Cápsula + Solo Seco (g)	13,53	9,46	8,59	13,63	9,19
Peso da Cápsula (g)	7,84	4,02	4,38	3,9	4,07
Peso da Água (g)	2,24	1,94	1,61	2,56	1,77
Peso Solo Seco (g)	5,69	5,44	4,21	9,73	5,12
N ^o . de Golpes	14	16	15	35	17
Teor de Umidade (%)	39,37	35,66	38,24	26,31	34,57
WL (%)	31				
 <p>WL - RETA DE ESCOAMENTO $y = -13,53\ln(x) + 74,093$ $R^2 = 0,9626$</p>					
NBR 07180 - 1984 - Solo - Determinação do limite de plasticidade					
Cápsula N ^o	P18	212	25	5	P48
Cápsula + Solo Úmido (g)	6,209	5,921	6,1999	6,252	6,054
Cápsula + Solo Seco (g)	5,839	5,633	5,844	5,832	5,642
Peso da Capsula (g)	4,394	4,547	4,491	4,305	3,946
Peso da Água (g)	0,37	0,29	0,36	0,42	0,41
Peso Solo Seco (g)	1,45	1,09	1,35	1,53	1,70
Teor de Umidade (%)	25,52	26,61	26,67	27,45	24,12
Situação:	ok	ok	ok	ok	ok
WP (%)	26,07				
IP (%)	4,47				

Figura D.6 - Relatório dos limites de consistência do solo. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 1 m.

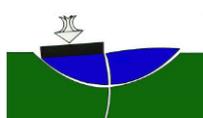
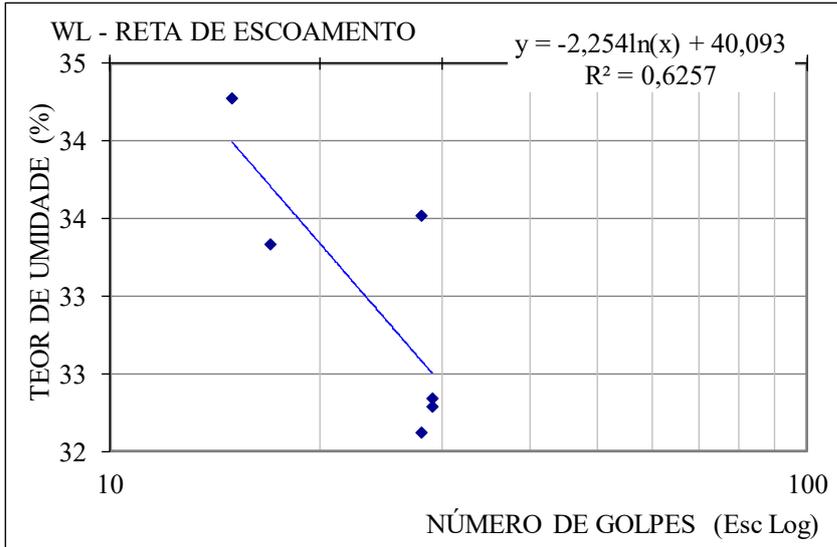
 UNIVERSIDADE FEDERAL DE BRASÍLIA CAMPUS DARCY RIBEIRO PROPRGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOTECNIA LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL						
DETERMINAÇÃO DOS LIMITES DE CONSISTÊNCIA DOS SOLOS						
Amostra:	2 m - Poço de monitoramento 3	Laboratorista:	Elias D. Saba e Jordana Saba			
Interessado:	Elias Divino Saba	Data:	04/08/2019			
NBR 06459 - 1984 - Solo- Determinação do Limite de Liquidez						
Cápsula N ^o	4184	117	11	J12	153	215
Cápsula + Solo Úmido (g)	11,72	9,78	10,46	10,57	11,38	13,29
Cápsula + Solo Seco (g)	9,96	8,44	8,93	9,05	9,55	10,85
Peso da Cápsula (g)	4,48	4,29	4,34	4,35	4,09	3,73
Peso da Água (g)	1,76	1,34	1,53	1,52	1,83	2,44
Peso Solo Seco (g)	5,48	4,15	4,59	4,7	5,46	7,12
N ^o . de Golpes	28	29	17	29	28	15
Teor de Umidade (%)	32,12	32,29	33,33	32,34	33,52	34,27
WL (%)	33					
						
NBR 07180 - 1984 - Solo - Determinação do limite de plasticidade						
Cápsula N ^o	4	20	4132	R1	K81	
Cápsula + Solo Úmido (g)	9,513	8,926	5,227	6,115	6,207	
Cápsula + Solo Seco (g)	9,239	8,614	4,949	5,752	5,835	
Peso da Capsula (g)	8,101	7,287	3,731	4,104	4,392	
Peso da Água (g)	0,27	0,31	0,28	0,36	0,37	
Peso Solo Seco (g)	1,14	1,33	1,22	1,65	1,44	
Teor de Umidade (%)	23,68	23,31	22,95	21,82	25,69	
Situação:	ok	ok	ok	ok	ok	
WP (%)	23,49					
IP (%)	9,35					

Figura D.7 - Relatório dos limites de consistência do solo. Amostra: Poço de monitoramento 3, profundidade de 2 m.