



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FERNANDA ZANOTTO TEIXEIRA

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO COM INTUITO DE
REAPROVEITAMENTO DO MATERIAL DE DESASSOREAMENTO DA LAGOA
DO JACARÉ

CUIABÁ/MT

2024

FERNANDA ZANOTTO TEIXEIRA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO COM INTUITO DE
REAPROVEITAMENTO DO MATERIAL DE DESASSOREAMENTO DA LAGOA
DO JACARÉ**

Trabalho de Graduação apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil como parte do requisito para a aprovação na disciplina Estágio / Trabalho de Graduação, sob a orientação do Prof. Dr. Rafael Pedrollo de Paes e coorientação do Prof. Me. Glauco Fabrício Bianchini.

CUIABÁ/MT

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

T266c Teixeira, Fernanda Zanotto.

Caracterização física do solo com intuito de reaproveitamento do material de desassoreamento da Lagoa do Jacaré [recurso eletrônico] / Fernanda Zanotto Teixeira. -- Dados eletrônicos (1 arquivo : 109 f., il. color., pdf). -- 2024.

Orientador: Rafael Pedrollo de Paes.

Coorientador: Glauco Fabrício Bianchini.

TCC (graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2024.

Modo de acesso: World Wide Web: <https://bdm.ufmt.br>.

Inclui bibliografia.

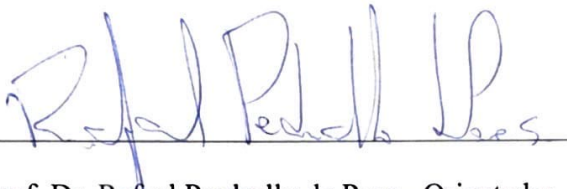
Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

FERNANDA ZANOTTO TEIXEIRA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO SOLO COM INTUITO DE
REAPROVEITAMENTO DO MATERIAL DE DESASSOREAMENTO DA LAGOA
DO JACARÉ**

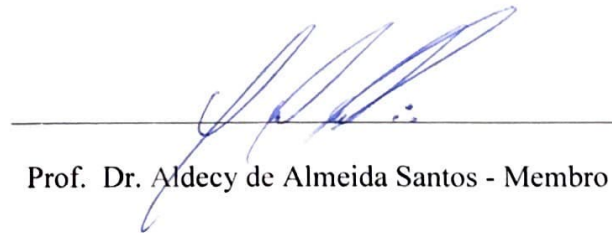
Trabalho de Graduação aprovado pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Rafael Predrollo de Paes - Orientador



Prof. MSc. Glauco Fabrício Bianchini – Coorientador



Prof. Dr. Aldecy de Almeida Santos - Membro

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no documento Ata nº 6770553/ Processo SEI n.º.23108.016726/2024-47.

Cuiabá, 12 de abril de 2024.

AGRADECIMENTOS

Tive a sorte, e o privilégio, de estar rodeada de apoio e afeto durante a elaboração do presente trabalho, gostaria, então, de expressar o meu mais sincero reconhecimento:

Aos meus orientadores e membros da banca, que me acompanharam durante todo o processo de elaboração do meu TG, seus ensinamentos, adequações, sugestões, acompanhamento e palavras de incentivo foram substanciais. Em especial, meu orientador professor Rafael Pedrollo de Paes, que se tornou um bom amigo, e sempre esteve muito atento e solícito às minhas demandas.

À minha família, minha inspiração. Minha irmã, pelos momentos descontraídos, por todos os conselhos e o companheirismo. Aos meus pais, por tudo o que representam, pelo amor, cuidado, esforço, paciência, compreensão, por me formarem para a vida e me acompanharem em todos os passos da formação acadêmica. Às minhas avós, minha base, as mulheres da minha vida, especialmente “Dona” Geni por me ensinar, sem precisar dizer uma palavra, a ser forte.

À minha namorada, Vanessa, por todo incentivo, amor, compreensão e suporte. E a sua família, pelo acolhimento e torcida ao longo de todo o processo.

Aos meus amigos, por dividirem cada momento, por acompanharem meu crescimento e me permitir acompanhar o de cada um, por tanta união, apoio, presença, cuidado, compreensão, minha família além dos laços de sangue.

E a todos que de alguma maneira contribuíram para a realização desse trabalho.

Muito Obrigada!

RESUMO

O assoreamento de corpos d'água é um fenômeno causado pela sedimentação de materiais transportados pelos afluentes, reduzindo sua capacidade de armazenamento. Influenciado pela topografia, tipos de solos e intensidade de precipitações, é agravado por atividades humanas, como urbanização descontrolada e ocupação inadequada do solo. O desassoreamento é uma medida de gestão, mas o descarte dos sedimentos pode ser problemático. O reaproveitamento desses materiais é uma alternativa que vem sendo aplicada, podendo ser utilizados em construção civil. Portanto, a classificação dos solos é essencial para avaliar o potencial de reutilização dos sedimentos. Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o solo da Lagoa do Jacaré, Várzea Grande, Mato Grosso, por meio de suas propriedades físicas e mecânicas. Para a classificação, foram analisados o solo de 9 pontos amostrais e os ensaios realizados corresponderam a teor de umidade, densidade real, limite de liquidez e plasticidade, granulometria e compactação. A partir dos resultados obtidos nos ensaios a classificação foi feita utilizando o sistema AASTHO, constatando que o solo das amostras tem granulação grossa que contém 35% ou menos de material passando na peneira com abertura de 0,075 mm e não apresentam elevado percentual de silte ou argila. Por fim, os solos são materiais inertes, sem a presença de argilominerais e, portanto, adequados para seu reaproveitamento.

Palavras-chave: Desassoreamento. Classificação do solo. Reaproveitamento do solo.

ABSTRACT

The siltation of water bodies is a phenomenon caused by the sedimentation of materials transported by tributaries, reducing their storage capacity. Influenced by topography, soil types, and precipitation intensity, it is exacerbated by human activities such as uncontrolled urbanization and improper land use. Dredging is a management measure, but sediment disposal can be problematic. Repurposing these materials is an alternative being applied, potentially for use in civil construction. Therefore, soil classification is essential to assess the potential for sediment reuse. In this regard, this study aims to evaluate the soil of Lagoa do Jacaré, Várzea Grande, Mato Grosso, through its physical and mechanical properties. For classification, soil from 9 sampling points was analyzed, and tests conducted included moisture content, real density, liquid limit, plasticity, particle size distribution, and compaction. Based on the test results, classification was done using the AASTHO system, revealing that the soil samples have coarse granulometry, containing 35% or less material passing through a 0.075 mm sieve, and do not exhibit a high percentage of silt or clay. Ultimately, the soils are inert materials, without the presence of clay minerals, and thus suitable for reuse.

Keywords: Dredging. Soil classification. Soil reuse.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estados e Limites de Consistência.....	22
Figura 2 - Curvas Granulométricas.	24
Figura 3 - Escalas de classes de textura.	27
Figura 4 - Triângulo de textura.....	28
Figura 5 - Fluxograma da metodologia de pesquisa.....	32
Figura 6 - Localização da microbacia do Jacaré.	33
Figura 7 - Ortofoto com linhas de intercepto e pontos de referência amostrais da Lagoa do Jacaré.	34
Figura 8 - Demarcação de ponto com estaca para traçado da linha de intercepto.	35
Figura 9 - Campanha de coleta de amostras na Lagoa do Jacaré.....	36
Figura 10 - Ortofoto com linhas de intercepto e pontos coletados na Lagoa do Jacaré.	37
Figura 11 - Preparo de amostras de solo para ensaios de caracterização.	38
Figura 12 - Resíduos retirados das amostras.	38
Figura 13 - Ensaio de Densidade Real.	41
Figura 14 - Aparelho de Casagrande com amostra para realização do Limite de Liquidez.....	43
Figura 15 - Conjunto de peneiras e agitador mecânico.	46
Figura 16 - Ensaio de Compactação.....	48
Figura 17 - Curva Granulométrica Amostra A1.	50
Figura 18 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra A1.....	51
Figura 19 - Plasticidade da Amostra A1.....	52
Figura 20 - Curva de compactação Amostra A1.....	54
Figura 21 - Curva Granulométrica Amostra A2.	56
Figura 22 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra A2.....	57
Figura 23 - Plasticidade da Amostra A2.....	58
Figura 24 - Curva de compactação Amostra A2.....	60
Figura 25 - Curva Granulométrica Amostra A3.	62
Figura 26 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra A3.....	63
Figura 27 - Plasticidade da Amostra A3.....	64
Figura 28 - Curva de compactação Amostra A3.....	66
Figura 29 - Curva Granulométrica Amostra B1.	68
Figura 30 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra B1.....	69

Figura 31 - Curva de compactação Amostra B1.....	72
Figura 32 - Curva Granulométrica Amostra B2.....	74
Figura 33 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra B2.....	75
Figura 34 - Gráfico de plasticidade.....	77
Figura 35- Curva Granulométrica Amostra B3.....	78
Figura 36 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra B3.....	80
Figura 37 - Plasticidade da Amostra B3.....	80
Figura 38 - Curva de compactação Amostra B3.....	82
Figura 39 - Curva Granulométrica Amostra C3.....	84
Figura 40 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra C3.....	85
Figura 41 - Curva de compactação Amostra C3.....	88
Figura 42 - Curva Granulométrica Amostra D2.....	89
Figura 43 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra D2.....	91
Figura 44 - Plasticidade da Amostra D2.....	91
Figura 45 - Curva de compactação Amostra D2.....	93
Figura 46 - Curva Granulométrica Amostra D3.....	95
Figura 47 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra D3.....	96
Figura 48 - Plasticidade da Amostra D3.....	97
Figura 49 - Curva de compactação Amostra D3.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos solos quanto ao índice de plasticidade.....	23
Tabela 2 - Classificação USCS para solos de grossos e finos.....	29
Tabela 3 - Granulometria da Amostra A1.....	49
Tabela 4 - Teor de Umidade Amostra A1.....	50
Tabela 5 - Limites de liquidez da Amostra A1.....	51
Tabela 6 - Densidade real da Amostra A1.....	53
Tabela 7 - Compactação Amostra A1.....	54
Tabela 8 - Granulometria da Amostra A2.....	55
Tabela 9 - Teor de Umidade Amostra A2.....	56
Tabela 10 - Limites de liquidez da Amostra A2.....	57
Tabela 11 - Densidade real da Amostra A2.....	59
Tabela 12 - Compactação Amostra A2.....	60
Tabela 13 - Granulometria da Amostra A3.....	61
Tabela 14 - Teor de Umidade Amostra A3.....	62
Tabela 15 - Limites de liquidez da Amostra A3.....	63
Tabela 16 - Densidade real da Amostra A3.....	65
Tabela 17 - Compactação Amostra A3.....	66
Tabela 18 - Granulometria da Amostra B1.....	67
Tabela 19 - Teor de Umidade Amostra B1.....	68
Tabela 20 - Limites de liquidez da Amostra B1.....	69
Tabela 21 - Limites de plasticidade Amostra B1.....	70
Tabela 22 - Densidade real da Amostra B1.....	71
Tabela 23 - Compactação Amostra B1.....	72
Tabela 24 -Granulometria da Amostra B2.....	73
Tabela 25- Teor de Umidade Amostra B2.....	74
Tabela 26 - Limites de liquidez Amostra B2.....	75
Tabela 27 - Limites de plasticidade Amostra B2.....	76
Tabela 28 - Densidade real da Amostra B2.....	76
Tabela 29 - Granulometria da Amostra B3.....	78
Tabela 30 - Teor de Umidade Amostra B3.....	79
Tabela 31 - Limites de liquidez da Amostra B3.....	79
Tabela 32 - Densidade real da Amostra B3.....	81
Tabela 33 - Compactação Amostra B3.....	82

Tabela 34 - Granulometria da Amostra C3.....	83
Tabela 35 - Teor de Umidade Amostra C3.	84
Tabela 36 - Limites de liquidez da Amostra C3.	85
Tabela 37 - Limites de plasticidade Amostra C3.....	86
Tabela 38 - Densidade real da Amostra C3.	86
Tabela 39 - Compactação Amostra C3.	87
Tabela 40- Granulometria da Amostra D2.	89
Tabela 41 - Teor de Umidade Amostra D2.	90
Tabela 42 - Limites de liquidez da Amostra D2.....	90
Tabela 43 - Densidade real da Amostra D2.	92
Tabela 44 - Compactação Amostra D2.....	93
Tabela 45 - Granulometria da Amostra D3.	94
Tabela 46 - Teor de Umidade Amostra D3.....	95
Tabela 47 - Limites de liquidez da Amostra D3.....	96
Tabela 48 - Densidade real da Amostra D3.....	97
Tabela 49 - Compactação Amostra D3.....	98
Tabela 50 - Resultados obtidos por granulometria.....	100
Tabela 51 - Resultados obtidos para limites de liquidez e plasticidade.	100
Tabela 52 - Resumo classificação AASHTO.....	101
Tabela 53 - Resultados obtidos para densidade real.....	101
Tabela 54 - Resultados dos ensaios de compactação.....	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação granulométrica.	24
Quadro 2 - Sistema de Classificação AASHTO.	30
Quadro 3 - Coordenadas dos pontos de amostragem.	36
Quadro 4 - Energias de Compactação.	47

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Hipóteses	17
1.2	Objetivos	17
1.2.1	Objetivo Geral	17
1.2.2	Objetivos Específicos	17
1.3	Estrutura do trabalho	18
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	19
2.1	Solo.....	19
2.2	Assoreamento e desassoreamento	20
2.3	Índices Físicos e Parâmetros Mecânicos	21
2.4	Classificação do Solo	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	Área de estudo	32
3.2	Seleção dos pontos de amostragem.....	33
3.3	Coleta e preparo das amostras	35
3.4	Determinação do teor de umidade.....	39
3.4.1	Materiais	39
3.4.2	Métodos	39
3.5	Determinação da densidade real.....	40
3.5.1	Materiais	40
3.5.2	Métodos	40
3.6	Determinação do limite de liquidez	42
3.6.1	Materiais	42
3.6.2	Métodos	42
3.7	Determinação do limite de plasticidade	44
3.7.1	Materiais	44
3.7.2	Métodos	44
3.8	Determinação da granulometria	45
3.8.1	Materiais	45
3.8.2	Métodos	45

3.9	Determinação da compactação.....	46
3.9.1	Materiais.....	46
3.9.2	Métodos.....	47
4	RESULTADOS.....	49
4.1	Amostra A1.....	49
4.2	Amostra A2.....	55
4.3	Amostra A3.....	61
4.4	Amostra B1.....	67
4.5	Amostra B2.....	73
4.6	Amostra B3.....	77
4.7	Amostra C3.....	83
4.8	Amostra D2.....	88
4.9	Amostra D3.....	94
4.10	Comparação dos resultados das amostras.....	99
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	104
6	REFERÊNCIAS.....	105

1 INTRODUÇÃO

O assoreamento de corpos de água é um processo resultante da sedimentação do material transportado pelos afluentes e superfícies das suas bacias, provocando diminuição na capacidade de armazenamento do corpo hídrico. Ele depende da topografia da área de contribuição, do uso de sua superfície, dos tipos de solo, bem como dos padrões pluviométricos locais (Kós, 2021).

É amplamente conhecido que atividades antrópicas contribuem diretamente para o processo de assoreamento de um corpo hídrico (Smith, 2019). Nesse sentido, o crescimento populacional no Brasil e a inerente mudança do uso solo tem exercido impactos sobre os recursos naturais, salientando o assoreamento, a poluição dos mananciais e reservatórios, e a redução da infiltração hídrica no subsolo (Fontes e Roig, 2005; Echeverria, 2007, *apud* Menezes, 2010).

As intervenções antrópicas para a produção do espaço urbano afetam de forma direta e/ou indireta as formas do relevo, com a retirada de cobertura vegetal, mudanças na topografia (pela realização de cortes e aterros para nivelamento do terreno), impactando em alterações no solo, na rocha, no microclima e nos cursos d'água (Silva, 2019). O acúmulo de sedimentos em bacias hidrográficas urbanas está diretamente relacionado com as atividades antrópicas no entorno dos recursos hídricos, devido às ocupações de áreas naturais e ao uso inadequado do solo (Bicoski, 2023).

As áreas de preservação permanentes (APP) são definidas como “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (Brasil, 2012, Lei nº 12.651, cap. I, art. 3, inc. II). Legislações como essas são baseadas no fato de que a ocupação de regiões de preservação, com a retirada de cobertura vegetal e a realização de assentamentos com materiais inapropriados, modificam os padrões de uso e ocupação do solo, gerando consequências no ciclo hidrológico. Como exemplo dessas consequências citam-se as inundações, que são provocadas pelo uso inadequado dos recursos hídricos, do solo, descaso com os resíduos sólidos, entre outros (Fontes et al., 2003).

Nesse sentido, o monitoramento das propriedades físico-químicas dos sedimentos em corpos d'água presentes em áreas antropizadas permite a avaliação quanto à bacia hidrográfica e a análise da resposta dos ecossistemas aquáticos aos impactos humanos, envolvendo estudos geomorfológicos e hidrológicos para analisar a relação entre os elementos da bacia hidrográfica

(Ferreira, 2023). Uma maneira de gerir a sedimentação das bacias é a realização de obras de desassoreamento dos lagos e fundos de vale. Os sedimentos dragados são, no geral, descartados ou armazenados em aterros, no entanto a solução não é atrativa quando avaliadas questões logísticas, econômicas e ambientais (Baksa et al., 2018). Sendo assim, uma possível solução para a gestão de resíduos do desassoreamento é o reaproveitamento do material retirado do fundo dos corpos hídricos.

A aplicação de sedimentos de fundo para fins de recuperação de terras, aumento da elevação de áreas baixas e/ou para construção de novas áreas, depende da presença de contaminantes no material, fator principal na avaliação da possibilidade de aplicação no solo. Também, outra perspectiva para sua aplicação é como material de construção utilizado em concreto, matéria-prima para preparações de cimento e construção de estruturas de controle de cheias (Junakova, 2014).

A composição desses sedimentos é frequente um tipo de material heterogêneo com características específicas, as quais variam de uma região para outra. Portanto, é necessário conhecer suas propriedades para avaliar o potencial aproveitamento futuro do material dragado (Missaoui et al, 2018 *apud* Baksa et al, 2018). Para tal, utiliza-se da classificação de solos, que envolve sua categorização em grupos com propriedades semelhantes, ao mesmo tempo em que os diferencia em classes distintas com base em suas peculiaridades (Santos et al, 2018).

Inserida em um contexto de ocupações irregulares, a Lagoa do Jacaré, localizada na zona urbana do município de Várzea Grande, apresentou quase 75% de perda de sua área úmida devido ao avanço da ocupação urbana em um período de 27 anos (Port, 2012, p.43). A Lagoa do Jacaré recebe águas pluviais das áreas circunvizinhas e, conforme consta no relatório técnico de vistoria n° 309/2010 da Lagoa do Jacaré (Várzea Grande, 2010), a mesma já não comporta o recebimento dessas águas com segurança, causando inundações e, conseqüentemente, insalubridade ao ambiente.

O mesmo relatório também expôs a ocorrência de demais ações antrópicas prejudiciais ao meio ambiente e à própria salubridade dos moradores da região, entre elas o aterramento da lagoa com resíduos da construção civil e outros resíduos sólidos domésticos, impróprios para execução de aterros. Entre os anos de 2010 e 2012, foram cadastradas 244 famílias no programa de casas populares, e essas foram retiradas de locais identificados como áreas de risco e APP. Porém, por se recusarem a assinar o acordo, outras famílias residentes permanecem na região.

Nunes (2016) apresentou um diagnóstico socioambiental participativo e interdisciplinar na microbacia do Córrego Jacaré. Esse trabalho resultou na criação de projeto

de educação ambiental permanente em escolas estaduais da região, bem como em um projeto de extensão da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT).

O projeto “Educação Ambiental: conhecer para transformar” (Lagoa do Jacaré, 2024), tem o início de suas atividades em março de 2021, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, com finalidade de preservar e restaurar a bacia do córrego do Jacaré, onde se situa a lagoa. Durante o seu desenvolvimento, pelo avanço das etapas, novas demandas precisaram ser atendidas, o que resultou em cinco subprojetos (formação de professores, educação ambiental, ações comunitárias, diagnóstico sanitário e ambiental e intervenção em infraestrutura urbana).

Diante do exposto, o presente estudo é elaborado de forma colaborativa com os trabalhos realizados pelo Projeto da Lagoa do Jacaré, podendo auxiliar nos diagnósticos necessários para a etapa de intervenção urbana, com foco no projeto de desassoreamento da lagoa.

Sendo assim, questiona-se se os sedimentos a serem retirados do fundo e do entorno da Lagoa do Jacaré com a realização do desassoreamento poderão ser reaproveitados para execução de projetos de infraestrutura no local.

1.1 Hipóteses

A partir da problemática apresentada, desenvolvem-se as seguintes hipóteses:

- a) Os sedimentos poderão ser reaproveitados por serem materiais inertes e sem a presença de argilominerais;
- b) O solo poderá passar por processo de estabilização devido à presença de matéria orgânica;
- c) O solo poderá passar por processo de estabilização por sua classificação granulométrica estar entre silte e argila (mais de 35% passando na peneira de abertura 0,075 - mesh nº 200).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o solo da Lagoa do Jacaré e seu entorno, em Várzea Grande, Mato Grosso, por meio de suas propriedades físicas e mecânicas.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar o solo com base em suas propriedades físicas;

- b) Avaliar as propriedades mecânicas do material;
- c) Comparar os resultados obtidos das amostras entre cada ponto de coleta.

1.3 Estrutura do trabalho

O presente trabalho está dividido em tópicos, subtópicos e itens para melhor compreensão do conteúdo da pesquisa. O tópico 1 abrange a Introdução, contextualiza o tema da pesquisa, e apresenta a justificativa para seu desenvolvimento, a problemática, os objetivos e a estrutura geral do trabalho.

A revisão da literatura é apresentada no segundo tópico, subdividido em três subtópicos, focando na definição de solo, abordando sua origem e formação, assoreamento e desassoreamento, índices físicos, parâmetros mecânicos e os sistemas de classificação existentes.

Os materiais e métodos compõem o tópico 3, que descreve o local da pesquisa e apresenta os instrumentos e os processos metodológicos adotados para a sua realização.

Os resultados obtidos com análises laboratoriais e equacionais são apresentados no tópico 4, juntamente com a classificação de cada amostra estudada. O tópico está organizado em subtópicos nomeados de acordo com a identificação adotada para as amostras e itens referentes aos ensaios desenvolvidos.

As considerações finais quanto ao desenvolvimento da pesquisa e resultados obtidos são abordadas no quinto tópico.

Por fim, as referências utilizadas para a elaboração do texto são listadas no sexto tópico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O presente tópico tem como objetivo apresentar conceitos teóricos considerados importantes para auxiliar no entendimento da pesquisa desenvolvida. Por meio de sua estruturação em subtópicos, serão apresentados a definição de solo, os conceitos de assoreamento e desassoreamento, taludes, os índices físicos do solo, os parâmetros mecânicos e os sistemas de classificação existentes.

2.1 Solo

O solo é um material mineral e/ou orgânico inconsolidado na superfície terrestre que proporciona o ambiente necessário para crescimento e desenvolvimento de plantas terrestres (IBGE, 2015). O Sistema Brasileiro de Classificação do Solo caracteriza o solo como a junção de corpos naturais, com formação mineralógica e orgânica, constituído por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, com presença de matéria viva, vegetação natural, podendo ser modificados a partir de ações antrópicas (Santos et al., 2018).

A formação do solo inicia-se a partir da exposição do material de origem na superfície terrestre. O material de origem influencia diretamente o seu desenvolvimento, dividindo-se em rochas e sedimentos. As principais características das rochas que influenciam o solo são: composição química e mineralogia, cor e textura (Pereira, 2019). Destaca-se que uma mesma rocha poderá originar diferentes tipos de solo, de acordo com os demais fatores de formação, impactando em propriedades como textura, composição mineralógica e cor.

São formados pelo intemperismo e alteração de minerais presentes nos materiais originais. O intemperismo engloba processos que resultam na alteração mineral do material original e a neoformação de estruturas estáveis no subsolo. A pedogênese – corresponde ao processo de formação do solo – abrange mudanças minerais e a formação de novas estruturas (Santos et al., 2021).

Para Caputo (2015) os solos são materiais que resultam de intemperismo ou meteorização das rochas por processos como desintegração mecânica ou decomposição química. A desintegração mecânica ocorre por meio de agentes como água, temperatura, vegetação e vento, formando, principalmente, pedregulhos e areias. Enquanto a decomposição química tem como agente principal a água, ocasionando oxidação, hidratação e carbonatação, resultando em solos como argila.

Conforme Sobhan (2014), os solos são classificados quanto ao intemperismo como coluviais (formados pelo transporte do solo, pela gravidade, de seu local de origem), aluviais

(transportados pela água e depositados nos rios), lacustres (sedimentação em lagos de água parada), marinhos (sedimentação em oceanos) e eólicos (transportados pelo vento).

Na pedogênese o clima se associa a atributos como precipitação pluviométrica, taxas de evaporação e temperatura. Os organismos estão diretamente ligados ao fator clima, considerando adaptabilidade da fauna e da flora as condições de umidade e temperatura do ambiente. A matéria orgânica presente participa de processos no solo e influi em fatores como agregação de partículas, escurecimento do horizonte superficial, infiltração da água, e retenção de nutrientes (Pavinato et al., 2008).

2.2 Assoreamento e desassoreamento

O assoreamento corresponde ao acúmulo de partículas sólidas em meio aquoso em fundos de vale. O processo interfere na dinâmica hidráulica dos corpos d'água, ocasionando o deslocamento do eixo do curso de água, o aumento da velocidade da corrente próxima a uma das margens, sua erosão e alteração em sua profundidade. Também, a deposição de material sedimentar nas planícies de rios ou lagos aumenta, evidenciando o problema das inundações (Bueno, 2010).

Nesse sentido, os sedimentos são indicadores de qualidade ambiental, uma vez que seu acúmulo se dá em locais de deposição e, além dos materiais inertes, pode haver incorporação de compostos químicos e orgânicos, e metais pesados (Mendes, 2021). Os reservatórios retêm uma parcela dos sedimentos transportados pelos afluentes, os quais passam por redução contínua em seu potencial volume de armazenamento de água (Ducman, 2022).

De acordo com Junakova (2014), o assoreamento de reservatórios de água por sedimentos é caracterizado como um problema pertencente à gestão de recursos hídricos, devido à redução da capacidade de armazenamento da bacia. Em função dessa problemática, a autora estima que exista perda de 1% ao ano dessa capacidade nos reservatórios mundiais.

Uma medida paliativa para solucionar a perda do volume de armazenamento do corpo hídrico é o desassoreamento. O procedimento consiste na remoção do material depositado no leito de um rio ou de lagos, por meio da utilização de materiais como dragas e retroscavadeiras. No entanto, ele não atinge as causas iniciais do processo de assoreamento (Scottish Natural Heritage, 2017 *apud* Smith et al, 2019).

Desse modo, a realização de tal medida pode impactar nos corpos hídricos de diversas formas. Sendo assim, é necessário que essas operações sejam feitas de modo a atender os parâmetros legais, desde a elaboração do projeto até o manejo do material desassoreado (Bicoski, 2023).

A Resolução CONAMA n° 454/2012, que trata do gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional, classifica como dragagem de manutenção a operação periódica destinada a manter a profundidade ou seção molhada mínima do corpo hídrico. Além disso, ela estabelece os parâmetros de gerenciamento do material a ser dragado, orientando que a caracterização, avaliação e disposição do material, bem como os impactos do procedimento, são elementos necessários para que possa realizar o desassoreamento.

2.3 Índices Físicos e Parâmetros Mecânicos

Os índices físicos do solo determinam as características físicas em que ele se encontra. Eles são obtidos pela relação entre massa e volume, massa e massa ou ainda volume e volume de cada fase do solo. Entre eles, o teor de umidade, a massa específica natural e a massa específica dos sólidos são os únicos que podem ser determinados por meio de ensaios laboratoriais. Logo, os demais índices, como massa específica seca, grau de saturação e porosidade, são obtidos a partir da aplicação de equações, utilizando como base os valores obtidos com os ensaios laboratoriais.

Por sua vez, os parâmetros mecânicos descrevem o comportamento do solo em diferentes condições aplicação de carga e sua deformação sob tais cargas. Esses parâmetros são importantes para estruturas de fundações, estradas, barragens, taludes e obras de terra de maneira geral.

Os índices físicos e os parâmetros mecânicos diferem-se, e complementam-se, pois, um apresenta informações sobre a composição e estrutura dos solos enquanto o outro descreve seu comportamento frente às forças externas aplicadas.

O teor de umidade é definido como a relação entre a massa de água dos vazios do solo e a massa de partículas sólidas (ABNT, 2022). A determinação do teor de umidade consiste em definir a quantidade de água presente nos vazios do solo.

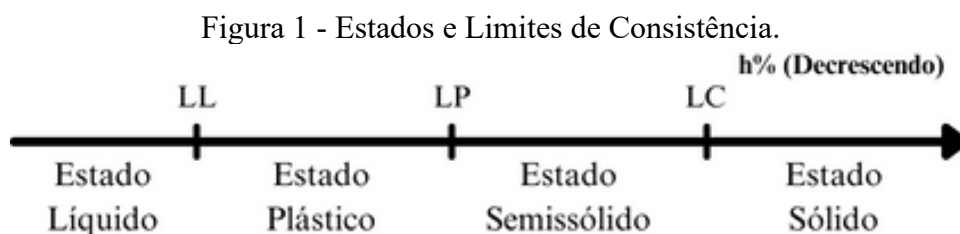
A densidade do solo é obtida por meio da relação entre a massa e o volume ocupado. Ela pode ser influenciada por fatores como a cobertura vegetal, os resíduos constituintes da superfície do solo e a quantidade de matéria orgânica presente no mesmo (Ferreira, 2016 *apud* Silva et al., 2020).

A proporção de espaço poroso em relação aos sólidos é um fator que influencia na densidade. Solos com mais espaço poroso tendem a ter menor densidade. Os valores normais para a densidade em solos arenosos variam de 1,2 a 1,9 g cm⁻³, enquanto solos argilosos apresentam valores mais baixos, de 0,9 a 1,7 g cm⁻³. Portanto, solos com textura grossa tendem a ser mais densos do que os de textura fina (Reinert et al., 2006).

Os poros são vazios ou pequenas aberturas - também conhecidas como espaços porosos - presentes entre as partículas do solo (USDA, 2023). A porosidade total de uma massa de solo pode ser estimada por uma relação entre a densidade do solo, que considera o volume dos poros e das partículas, e a densidade das partículas, considerando apenas o volume das partículas (Teixeira, 2017).

O limite de plasticidade e o limite de liquidez dizem respeito aos teores de umidade da fração de solo que passa pela peneira de abertura 0,42 mm correspondentes, respectivamente, ao estado de consistência limite entre os estados plásticos e semissólido, e ao estado de consistência limite entre os estados líquido e plástico. Sua definição é apresentada pela NBR 6502 (ABNT, 2022).

O limite de liquidez é determinado pela quantidade de partículas do tamanho de argila e silte, o conteúdo de matéria orgânica e o tipo de minerais presentes no solo. Solos com alto limite de liquidez têm capacidade de reter muita água enquanto mantêm o estado plástico ou semissólido (USDA, 2023). O teor de umidade em que o solo fissura quando moldado em cilindro com 3 mm diâmetro é definido como o limite de plasticidade (Sobhan, 2014). Na Figura 1 apresentado um esquema contendo os estados de consistência e seus limites de consistência.



Fonte: Adaptado de Caputo, 2015.

Pela imagem, um solo se encontra no estado líquido quando apresenta elevada umidade (representada por “h%”) e aspecto de fluido denso. Com a perda de umidade (ou seja, da esquerda para a direita, no esquema) o solo se endurece e perde sua capacidade de fluir, podendo ser moldado, e a característica do solo entra em estado plástico ($h = LL$), atingindo o limite de liquidez. Conforme há perda de umidade, o solo passa a se desmanchar quando trabalhado, estando em seu estado semissólido ($h = LP$), e alcança seu limite de plasticidade. Por fim, com a secagem contínua o solo, este atinge seu estado sólido e o limite entre os estados semissólido e sólido é um teor de umidade correspondente ao limite de contração ($h = LC$). Nesse sentido, Caputo (2015) explica que esses estados e limites de consistência podem ser

estimados para cada amostra, com base em ensaios laboratoriais e operações matemáticas básicas.

O índice de plasticidade (IP) do solo é obtido pela diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade do solo. Sua classificação varia entre solos não plásticos a solos extremamente plásticos, sendo maior para argilas e praticamente nulo para areias (Fiori et al., 2009). A Tabela 1 apresenta os intervalos de valores usados na classificação dos solos quanto ao índice de plasticidade.

Tabela 1 – Classificação dos solos quanto ao índice de plasticidade.

Classe	IP (%)	Termo
1	IP<1	Não plástico
2	1<IP<7	Levemente plástico
3	7<IP<17	Moderadamente plástico
4	17<IP<35	Altamente plástico
5	IP>35	Extremamente plástico

Fonte: Adaptado de IAEG, 1979 *apud* Fiori, 2009.

A análise granulométrica consiste na determinação das dimensões das partículas do solo e das proporções em que se encontram (Caputo, 2015). Os parâmetros utilizados para classificação granulométrica dos materiais são definidos a partir da NBR 7181 (ABNT, 2018). Por essa norma, a partir dos tamanhos dos grãos, eles são classificados como:

- a) pedregulho (partículas de tamanho entre 60 mm e 2 mm);
- b) areia (grãos entre 2 e 0,06 mm);
- c) silte (entre 0,06 e 0,002 mm);
- d) argila (inferiores a 0,002 mm).

A Resolução CONAMA nº 454/2012 determina que a classificação granulométrica de solos dragados deverá ser realizada por comparativo com os valores apresentados segundo o Quadro 1.

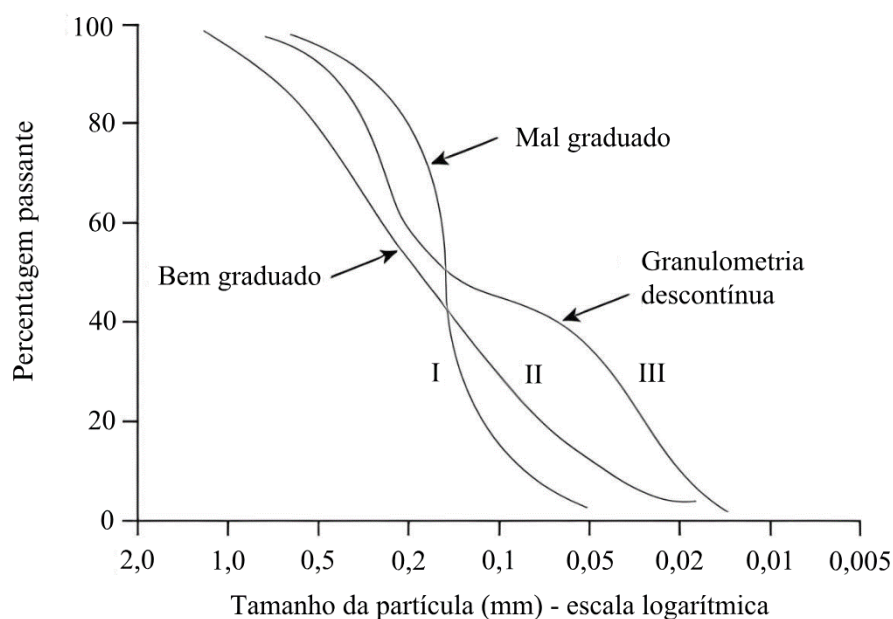
Quadro 1 - Classificação granulométrica.

CLASSIFICAÇÃO	Phi (ϕ)	(mm)
Areia muito grossa	-1 a 0	2 a 1
Areia grossa	0 a 1	1 a 0,5
Areia média	1 a 2	0,5 a 0,25
Areia fina	2 a 3	0,25 a 0,125
Areia muito fina	3 a 4	0,125 a 0,062
Silte	4 a 8	0,062 a 0,00394
Argila	8 a 12	0,00394 a 0,0002

Fonte: Adaptado de CONAMA n° 454/2012

O procedimento descrito para obtenção da granulometria dos solos determina que os resultados obtidos sejam apresentados por meio da curva granulométrica. Por meio da curva granulométrica, cujo esquema típico está representado na Figura 2, pode se obter a variação do tamanho das partículas do solo e o seu tipo de distribuição, podendo um solo ser bem graduado, mal graduado e com granulometria descontínua (Sobhan, 2014).

Figura 2 - Curvas Granulométricas.



Fonte: Sobhan, 2014.

A Figura 2 apresenta três curvas granulométricas com diferentes características de solo. A curva I demonstra um solo mal graduado, em que suas partículas possuem a maioria dos grãos de mesmo tamanho. A curva II demonstra um solo bem graduado com os tamanhos de

suas partículas divididas de maneira uniforme. E, a curva III representa um solo com granulometria descontínua.

Os parâmetros mecânicos do solo (coesão e ângulo de atrito) são os mais relevantes para a estabilidade de solos e rochas, obtidos pela correlação entre a tensão cisalhante e a tensão normal (Guidicini et al., 1983). Esses parâmetros podem mensurar a estabilidade de um talude, uma vez que tal definição é associada a um fator de segurança (FS), expresso pela equação 1:

$$FS = \frac{F_f}{F_{mob}} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

FS – Fator de Segurança;

F_f – Força estabilizadora;

F_{mob} – Força mobilizadora.

O fator de segurança é utilizado pelo método determinístico para expressar se um talude é estável ($FS > 1$, talude estável; $FS < 1$, sem significado físico pois o talude já está em ruína). A força estabilizadora relaciona a resistência do solo, a coesão e o ângulo de atrito; enquanto a força mobilizadora associa o peso próprio, as cargas na superfície e as pressões internas do solo (Tenório, 2018).

O principal fator de influência no ângulo de atrito é a compactidade – maior ou menor concentração de grão ou partículas de um solo não coesivo em um dado volume (ABNT, 2022). Isso ocorre, pois, a compactação do solo resulta em um menor índice de vazios, aumentando o esforço necessário para a ruptura da estrutura das partículas. Apesar disso, a distribuição, a forma das partículas e o teor de umidade também são fatores que influenciam no ângulo de atrito do solo (Barros, 2006).

A compactação do solo é definida como a ação mecânica que resulta na expulsão do ar presente em um volume de solo, reduzindo seu índice de vazios (Trindade, 2011). É adicionada água no solo durante o processo de compactação, funcionando como um agente de amolecimento das partículas, que deslizam uma sobre as outras e se posicionam de modo a ficarem densamente compactadas (Sobhan, 2014).

Quando compactado com umidade baixa, não se obtém suficiente redução de vazios devido ao atrito entre as partículas. Dessa forma, existe um teor de umidade ótimo para a energia de compactação aplicada, o qual permite a determinação da densidade seca máxima do solo. A

partir de determinado teor de umidade, a compactação não retira mais o ar dos vazios, pois já foi atingido elevado grau de saturação (Pinto, 2016).

Os valores médios de umidade ótima para solos arenosos variam entre 7 a 12%, para solos siltsos de 18 a 25% e solos argilosos de 30 a 40% (Trindade, 2011). Também, Pinto (2016) apresenta os valores médios de umidade ótima e peso de compactação, solos argilosos atingem umidade de 25 a 30% e densidades secas máximas de 1,5 a 1,4 kg/dm³. Solos siltsos apresentam comportamento parecido, com alta umidade e baixa densidade. Já as areias apresentam umidade de aproximadamente 9 a 10% e densidades secas máximas de 2 a 2,1 kg/dm³.

Descritos os conceitos fundamentais, no tópico 3 – Materiais e métodos, serão explicados os procedimentos para obtenção desses índices físicos e parâmetros mecânicos do solo.

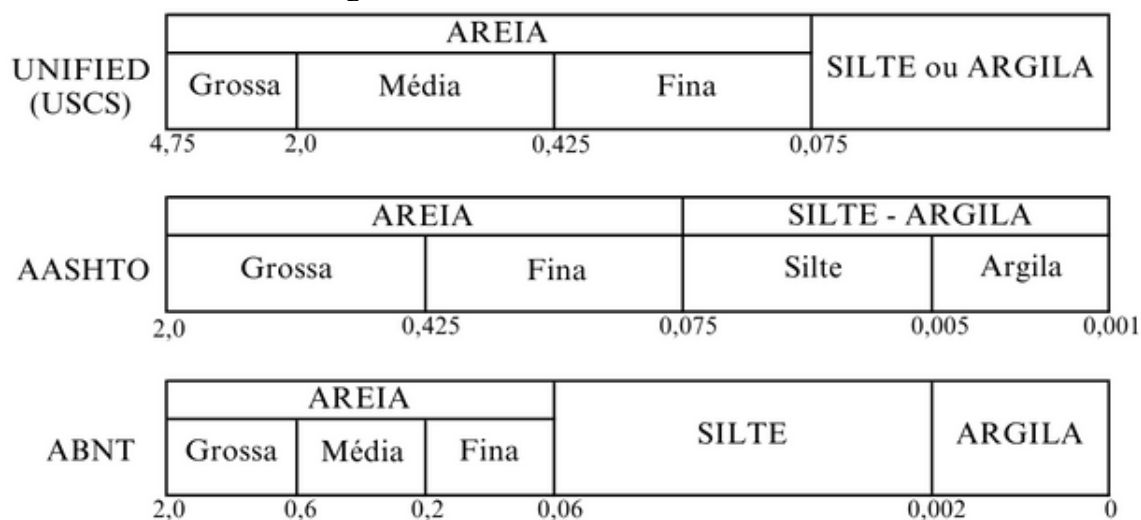
2.4 Classificação do Solo

Devido à variedade de solos existentes, alguns sistemas de classificação foram desenvolvidos com intuito de agrupar solos com mesmas características geotécnicas. Os sistemas fornecem uma linguagem comum, sem descrições detalhadas, com um qualificador que busque descrever suas características e prever o comportamento dos solos mediante as solicitações (Prass, 2019).

O sistema de classificação mais antigo foi desenvolvido pela Sociedade Internacional de Ciência do Solo para os países da Europa, dando origem ao atual Sistema de Referência Mundial para Recursos do Solo (WRB). Outro sistema amplamente reconhecido é o Sistema Americano de Classificação do Solo, no qual os solos são classificados em ordens, ao invés de classes (Xavier, 2021).

As classes de textura são fundamentais para o entendimento e interpretação dos resultados obtidos por cada classificação. Cada classe de textura tem limites definidos a partir do tamanho dos grãos constituintes do solo (USDA, 2023). A Figura 3 apresenta a relação entre o tamanho das partículas e as classes de textura entre os sistemas de classificação de solos AASHTO, USCS e ABNT.

Figura 3 - Escalas de classes de textura.

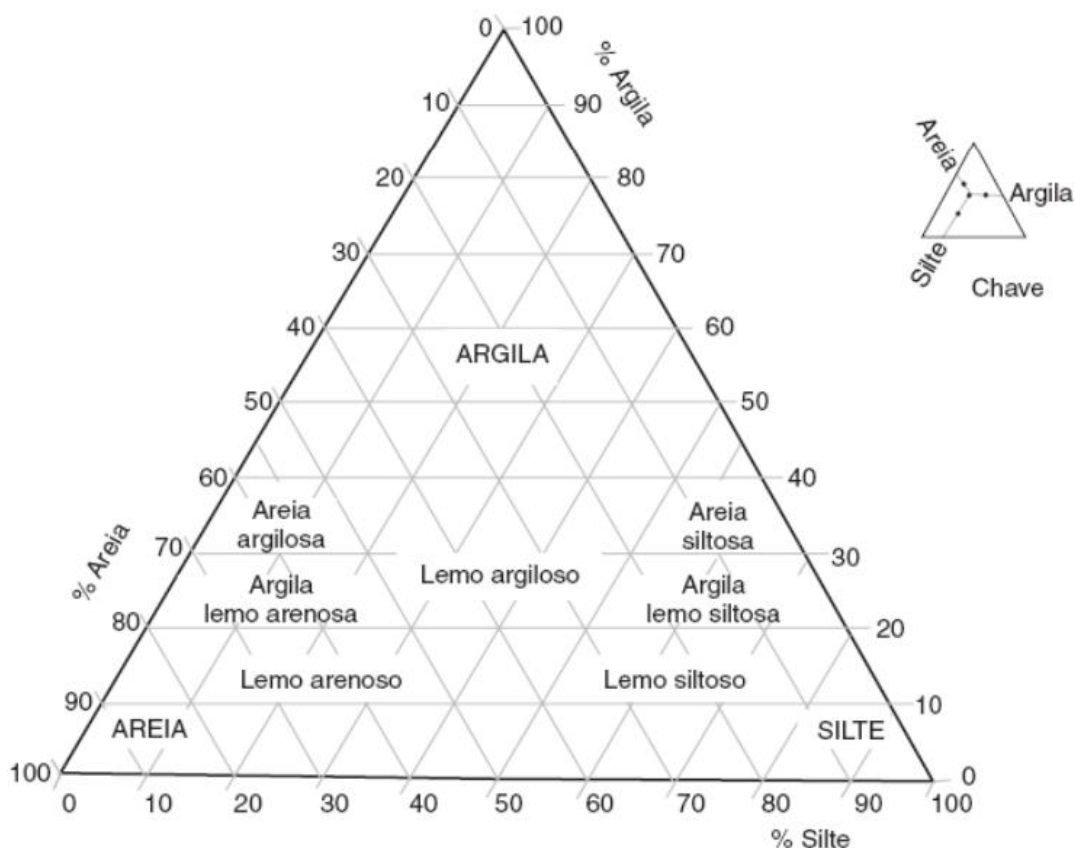


Fonte: Adaptado de USDA, 2023.

Conforme apresentado na imagem, cada sistema de classificação adota a sua classe a partir do que considera a respeito da granulometria dos solos. Os sistemas USCS (classificação unificada dos solos) e ABNT adotam três divisões de classe para areia, no entanto os limites granulométricos diferem entre si. A passagem da classificação de areia para silte se assemelha quanto ao tamanho das partículas para os sistemas USCS e AASHTO (Associação Americana de Autoridades Estaduais de Rodovias e Transportes).

O sistema de classificação quanto à textura do solo baseia-se na curva granulométrica, abordada do subtópico 2.3, ou no triângulo de textura, representado na Figura 4. Pelo triângulo de textura, o diagrama é dividido em zonas correspondentes a cada tipo de solo. O termo “lemo” foi utilizado para descrever uma mistura entre partículas de areia, silte e argila; embora também possam ser encontrados triângulos que apresentem o termo “franco”).

Figura 4 - Triângulo de textura.



Fonte: Caputo, 2015.

Conhecendo as frações de areia, silte e argila presentes em uma amostra, marcam-se três linhas no diagrama, cada uma paralela a sua textura correspondente, de modo que se encontrem em determinada zona, resultando na classificação final do solo.

O sistema de classificação unificado utiliza de propriedades como textura e plasticidade e faz uso de três grandes grupos, subdivididos em 15 subgrupos. Os três grandes grupos consistem em: solos grossos (mais de 50% dos grãos retidos na peneira de abertura 0,075mm), solos finos (diâmetro dos grãos menor que 0,075mm) e turfas (altamente orgânicos). Essa classificação é apresentada na Tabela 2 (DNIT, 2006).

O sistema usa siglas baseadas na primeira letra das palavras de origem inglesa que as representam:

- G: *gravel* (pedregulho);
- S: *sand* (areia);
- C: *clay* (argila);
- W: *well graded* (bem graduado);
- P: *poor graded* (mal graduado);

- M: mo, que se refere ao silte;
- O: *organic* (orgânico);
- L: *low liquid limit* (limite de liquidez baixo);
- H: *high liquid limit* (limite de liquidez alto);
- PT: *peat* (turfa).

Tabela 2 - Classificação USCS para solos de grossos e finos.

Solos de graduação grossa (mais de 50% retido na peneira de abertura 0,075mm)							
Pedregulhos: 50% ou mais retido na peneira de abertura 4,75mm				Areias: 50% ou mais passando na peneira de abertura 4,75mm			
Pedregulhos sem finos		Pedregulhos com finos		Areias sem finos		Areias com finos	
GW	GP	GM	GC	SW	SP	SM	SC
Pedregulho bem graduado	Pedregulho mal graduado	Pedregulho siltoso	Pedregulho argiloso	Areia bem graduada	Areia mal graduada	Areia siltoso	Areia argilosa
Solos de graduação fina (50% ou mais passando da peneira de abertura 0,075mm)							
Siltes e argilas (LL≤50)			Siltes e argilas (LL>50)			Solos orgânicos	
ML	CL	OL	MH	CH	OH	PT	
Silte inorgânicos	Argilas inorgânicas	Siltes orgânicos	Siltes e argilas finas	Argilas inorgânicas	Argilas Orgânicas	Turfas	

Fonte: Adaptado de DNIT (2006).

Pela Tabela 2, os solos são divididos primeiramente no que se refere a passagem na peneira de malha com abertura de 0,075mm, conhecendo seu tipo de graduação; posteriormente, para solos grossos, baseia-se em sua passagem na peneira de malha de abertura 4,75mm. Para solos finos, utiliza-se seu limite de liquidez para realizar a classificação final do solo.

O sistema de classificação AASHTO (Associação Americana de Autoridades Estaduais de Rodovias e Transportes), referência em projetos de pavimentação, utiliza a granulometria e os limites de consistência para classificação do solo. São divididos em grupos e subgrupos, apresentados no Quadro 2 (DNIT. 2006).

Quadro 2 - Sistema de Classificação AASHTO.

Classificação Geral	Materiais granulares (35% ou menos passando na peneira nº 200)						Materiais siltosos e argilosos (mais de 35% passando na peneira nº 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Peneiração: % que passa: Nº 10 30 máx. Nº 40 15 máx. Nº 200 (p)	50 máx. 30 máx. 15 máx.	50 máx. 25 máx.	51 mín. 10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características da fração que passa nº 40 Limite de Liquidez - LL (%) Índice de Plasticidade IP (%)	6 máx.		NP	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.	40 máx. 10 máx.	41 mín. 10 máx.	40 máx. 11 mín.	41 mín. 11 mín.
Índice de Grupo	0		0	0		4 máx.		8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra Britada pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia silosa ou argilosa				Solos Siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom						Fraco a pobre				

Fonte: DNIT (2006).

Os grupos se dividem de A-1 a A-7, com subgrupos existentes conforme a necessidade de se classificar o tipo de solo. As características utilizadas para diferenciar os grupos são incluem as porcentagens passantes de solo nas peneiras de aberturas 2mm, 0,425mm e 0,075mm, porcentagens do limite de liquidez e índice de plasticidade, agrupando os materiais predominantes de cada grupo.

O processo de classificação utilizando o Quadro 2 se inicia da esquerda para direita, por eliminação. O primeiro grupo que apresentar as características do solo estudado será adotado. Destaca-se:

- Solos A-7: Se $IP \leq LL - 30$, o solo será do tipo A-7-5; Se $IP > LL - 30$, o solo do tipo será A-7-6;
- Índice de grupo (IG), encontrado conforme a equação 2:

$$IG = 0,2 \times a + 0,005 \times (a \times c) + 0,01 \times (b \times d) \quad \text{Eq. 2}$$

Para:

p : teor de silte + argila do solo, ou seja, a porcentagem que passa na peneira nº 200

$a = p - 35$ (se $p > 75\%$, adota-se 75 e se $p < 35\%$, adota-se 35);

$b = p - 15$ (se $p > 55\%$, adota-se 55 e se $p < 15\%$, adota-se 15);

$c = LL - 40$ (se $LL > 60\%$, adota-se 60 e se $LL < 40\%$, adota-se 40);

$d = IP - 10$ (se $IP > 30$, adota-se 30 e se $IP < 10$, adota-se 10).

IG mín.= 0; IG máx = 20 (o resultado obtido deve ser um nº inteiro - aproximação para o nº inteiro acima).

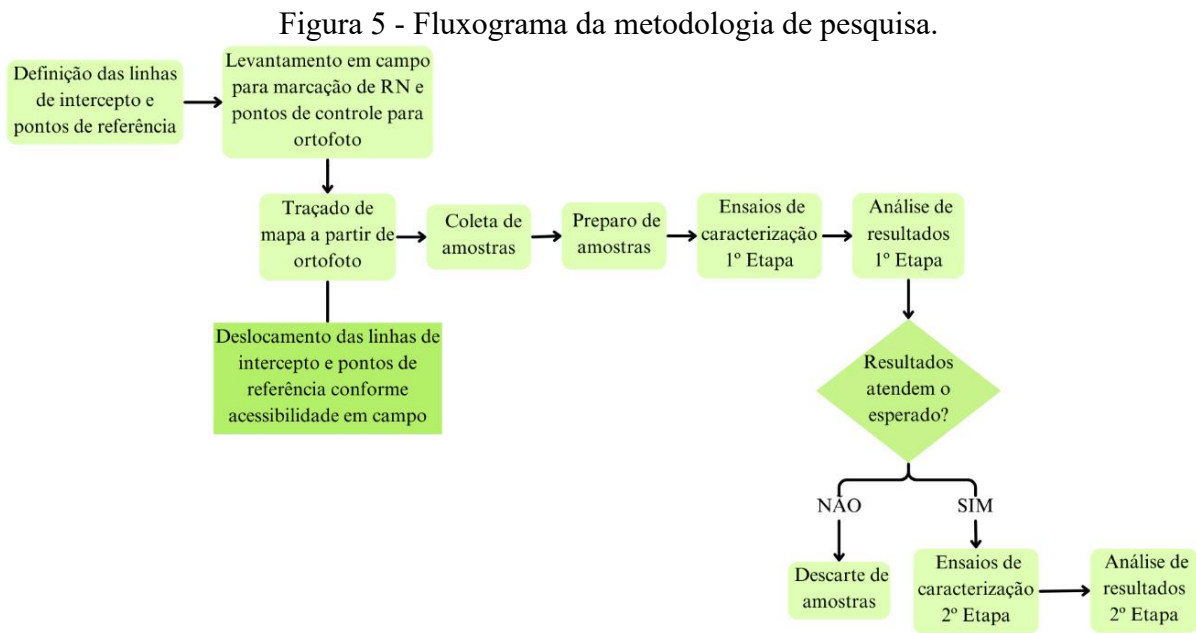
a varia de 0 a 40 e 0,2; a varia de 0 a 8;

b varia de 0 a 40 e 0,01; $b \times d$ varia de 0 a 8;
 c varia de 0 a 20 e 0,005; $a \times c$ varia de 0 a 4;
 d varia de 0 a 20 e 0,01; $b \times d$ varia de 0 a 8.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este tópico, trabalhado com a estrutura de nove subtópicos, apresenta a descrição da área de estudo, e os materiais e métodos utilizados para a seleção dos pontos amostrais, o desenvolvimento da coleta, o preparo das amostras e os ensaios das amostras.

Para sintetizar o roteiro utilizado, a Figura 5 apresenta um fluxograma que descreve as etapas da metodologia da pesquisa, que serão detalhadas no decorrer do presente tópico.



Fonte: Autoria Própria (2024).

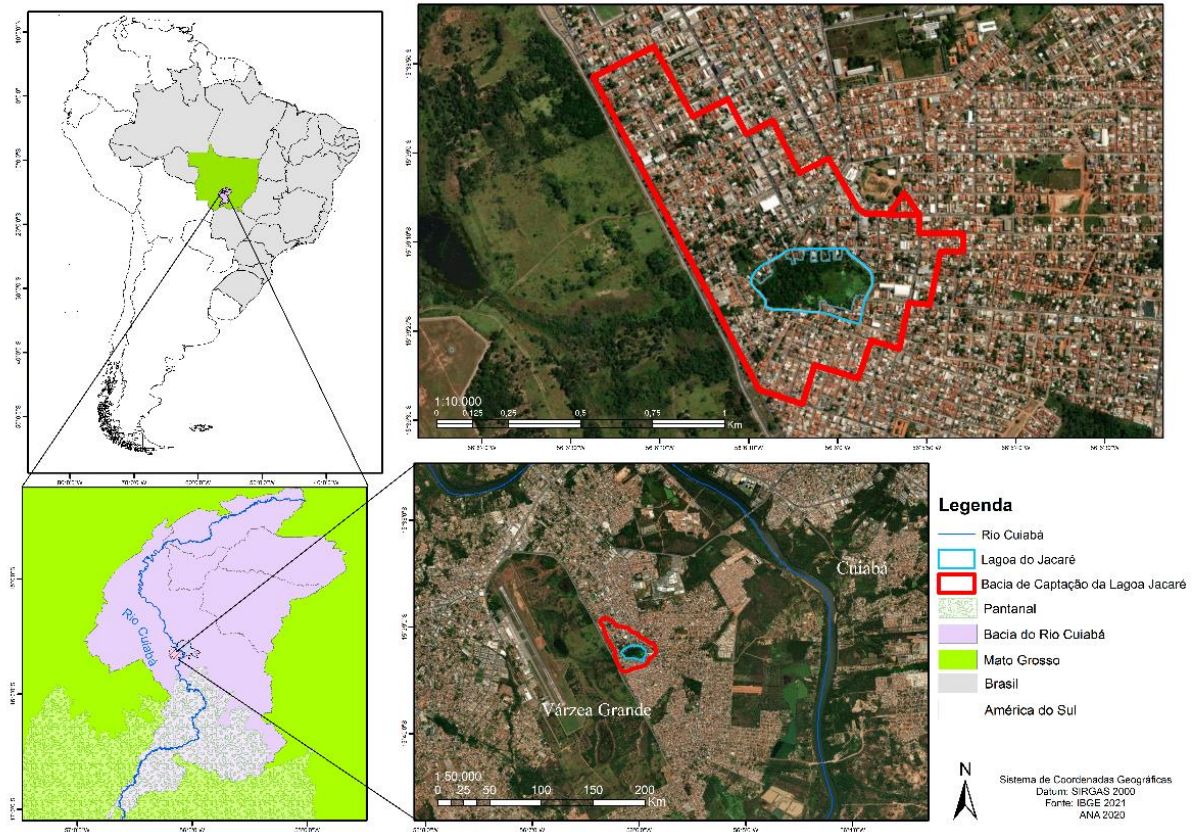
Conforme apresentado no fluxograma, para o desenvolvimento da pesquisa, as atividades de campo iniciam a partir da definição das linhas de intercepto da lagoa e seu entorno (delimitadas em mapa georreferenciado) e encerram com a coleta das amostras. O preparo de amostras introduz os procedimentos laboratoriais, divididos em duas etapas. Na primeira etapa, os ensaios realizados buscam a caracterização física do solo, para que, com a análise dos resultados obtidos, sejam determinadas as amostras que seguirão em análise. A partir da avaliação dos parâmetros adquiridos na segunda etapa, conclui-se o trabalho pontuando os locais adequados para a retirada de materiais com desassoreamento.

3.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se no município de Várzea Grande, no estado de Mato Grosso, situado na região Centro-Oeste do Brasil. O município possui área de 724.279 km² e população de 299.472 habitantes (IBGE, 2022). A Lagoa do Jacaré integra uma área de nascente

da microbacia hidrográfica do Córrego Jacaré, afluente do Rio Cuiabá, na zona urbana de Várzea Grande, bairro Cristo Rei. A Figura 6 apresenta a localização da Lagoa do Jacaré (em azul), referenciada na América do Sul e na Bacia do Rio Cuiabá.

Figura 6 - Localização da microbacia do Jacaré.



Fonte: Figueiredo et al. (2023).

A área de ocupação da Lagoa do Jacaré corresponde a 2,64% do total da microbacia, uma extensão total de 17.043 m², tem como ocupação predominante áreas residenciais e apresenta elevadas taxas de impermeabilização do solo (Avanci, 2023).

3.2 Seleção dos pontos de amostragem

A seleção dos pontos de amostragem foi definida a partir de ortofoto extraída por levantamento aéreo, com referência de nível (RN) inserida nas coordenadas S 15° 39' 13,25" e W 56° 05' 56,68". Essa ortofoto permitiu traçar sete linhas de intercepto na Lagoa do Jacaré. As interseções dessas linhas formam os 12 pontos que serão as principais referências para a coleta das amostras de solo. Na Figura 7 é mostrada a Lagoa do Jacaré com as sete linhas de intercepto (linhas em vermelho), além dos 12 pontos de referência para a coleta de amostras,

nomeados de A1 a D3. Por sua vez, na Figura 8 é mostrada a materialização por meio de estaca, de um dos interceptos.

Figura 7 - Ortofoto com linhas de intercepto e pontos de referência amostrais da Lagoa do Jacaré.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 8 - Demarcação de ponto com estaca para traçado da linha de intercepto.



Fonte: Autoria própria (2023).

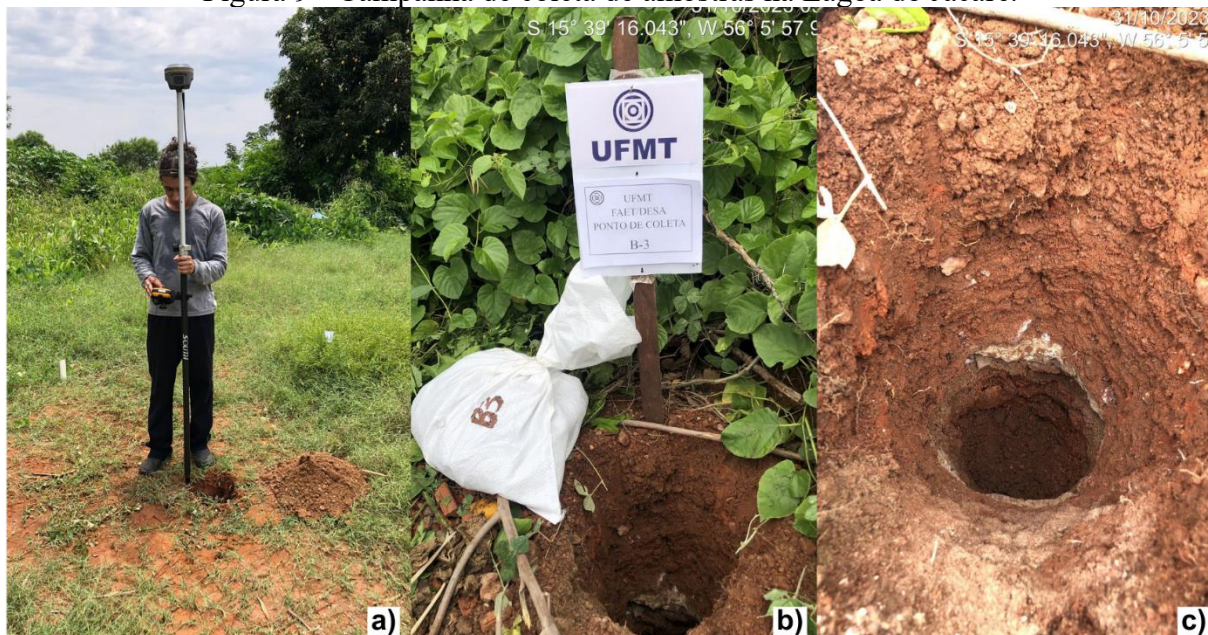
3.3 Coleta e preparo das amostras

A coleta das amostras foi realizada no dia 31 de outubro de 2023, de acordo com as condições de acessibilidade observadas no local. Utilizando como referência os pontos de convergência dos interceptos relatados no subtópico 3.2, foi necessário deslocar alguns pontos de coleta em relação à marcação original devido à presença de mata densa, edificações e outras condições que impossibilitaram o acesso ao ponto. Por esse motivo, nos pontos B1, C1, C2 e D1 não houve a retirada de material. Apesar disso, a ausência dessas amostras não comprometerá a análise dos resultados.

Assim, foram coletadas amostras em nove pontos: A1, A2, A3, B1, B2, B3, C3, D2 e D3. Elas foram coletadas com uso de cavadeira, alavanca, trena e sacos etiquetados para armazenar e transportar o material até o local de realização dos ensaios. Para a realização do procedimento, foi escavada uma camada inicial de 50 cm para que então fosse feita a retirada de 5 kg de solo em todos os pontos amostrais, com intuito de se obter uma amostra homogênea e que apresentasse as características do solo.

Na Figura 9 são mostrados exemplos de pontos de coleta. Assim, na Figura 9a é demonstrada a demarcação de ponto com RTK no ponto D3. Já as Figura 9b e 9c apresentam o ponto de coleta B3 em momento em que, após a escavação e a retirada de amostra, o material é armazenado e identificado para transporte ao laboratório.

Figura 9 - Campanha de coleta de amostras na Lagoa do Jacaré.



- a) Marcação das coordenadas do ponto, por meio do RTK; b) Amostra coletada e identificada para o ponto B3;
c) Ponto B3 escavado.

Fonte: Autoria própria (2023).

No Quadro 3 são apresentados os pontos em que houve extração das amostras com suas coordenadas geográficas, além de uma breve descrição de suas características visuais no momento da escavação.

Quadro 3 - Coordenadas dos pontos de amostragem.

Ponto	Coordenadas		Descrição
	S	W	
RN	15° 39' 13,25"	56° 05' 56,68"	Área seca, sob a placa de identificação do Jardim das Mulheres
A1	15° 39' 13,15"	56° 05' 56,76"	Área seca, presença de resíduos de construção
A2	15° 39' 14,28"	56° 05' 56,54"	Área úmida, presença de água durante escavação do ponto
A3	15° 39' 15,49"	56° 05' 56,51"	Área úmida, coberta por vegetação
B1	15° 39' 13,00"	56° 05' 59,00"	Área seca, coberta por matéria orgânica
B2	15° 39' 14,00"	56° 05' 58,00"	Área molhada, com elevada presença de matéria orgânica
B3	15° 39' 16,04"	56° 05' 57,95"	Área úmida, coberta por vegetação
C3	15° 39' 16,55"	56° 06' 00,51"	Área seca, presença de resíduos de construção
D2	15° 39' 16,00"	56° 06' 06,00"	Área úmida, presença de água durante escavação do ponto, coberta por matéria orgânica
D3	15° 39' 17,33"	56° 06' 04,95"	Área úmida, presença de água durante escavação do ponto

Por fim, a Figura 10 apresenta a ortofoto com os pontos em que a coleta foi realizada, com adaptações das localizações de acordo com as condições percebidas em campo e relatadas anteriormente. Com auxílio das linhas de grade e de intercepto, que foram mantidas conforme a Figura 7, destaca-se o deslocamento dos pontos.

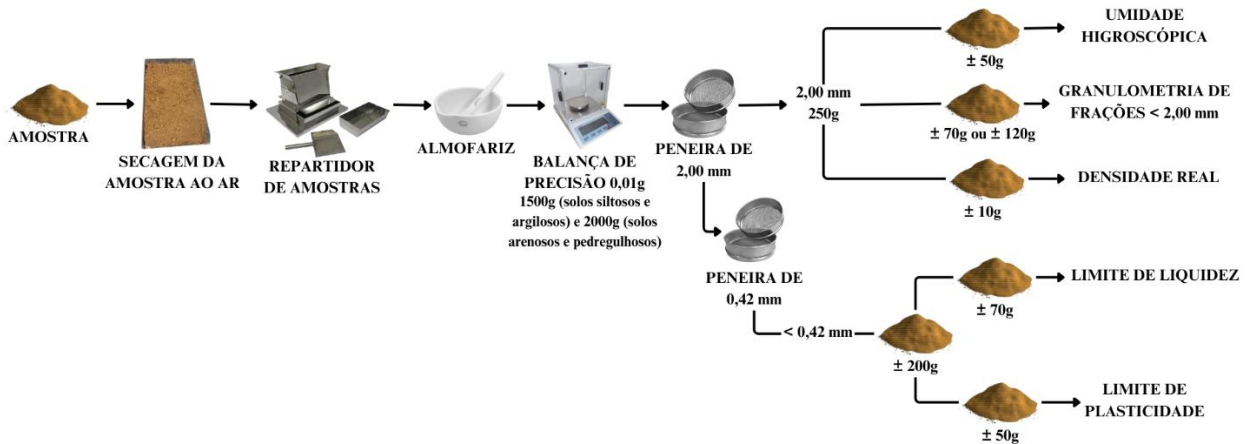
Figura 10 - Ortofoto com linhas de intercepto e pontos coletados na Lagoa do Jacaré.



Fonte: Autoria própria (2024).

Em laboratório, o preparo de amostras segue as orientações formais de cada normativa dos ensaios. Para tanto, as quantidades de material utilizadas seguem a recomendação descrita no anexo informativo da Norma Rodoviária do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem DNER – ME 041: Solos - preparação de amostras para ensaios de caracterização (DNER, 1994), apresentada na Figura 11.

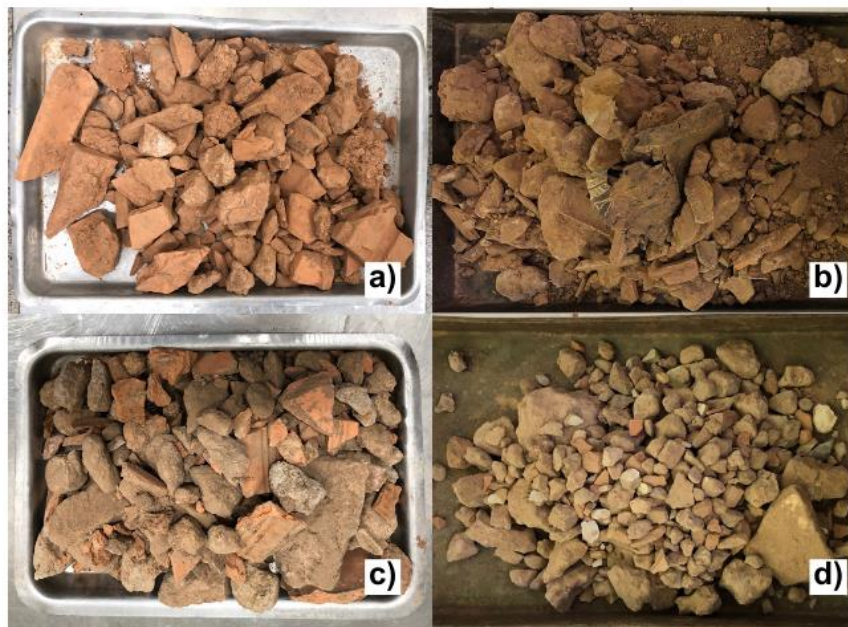
Figura 11 - Preparo de amostras de solo para ensaios de caracterização.



Fonte: Adaptado de DNER (1994).

De acordo com o apresentado, todas as amostras foram submetidas ao processo de secagem ao ar, até atingir sua umidade higroscópica, para, então, serem repartidas e destorroados os grãos, com uso de almofariz de mão. Previamente ao processo de repartição das amostras, percebeu-se a necessidade de separar, em cada amostra, o material a ser analisado (solo) de demais impurezas e resíduos de construção (materiais cerâmicos, reboco, entre outros), representado na Figura 12.

Figura 12 - Resíduos retirados das amostras.



Fonte: Autoria própria (2024).

a) Amostra B3; b) Amostra D2; c) Amostra D3; d) Amostra B1.

Em sequência, as amostras foram repartidas manualmente, pelo processo de quarteamento, com o uso de quatro bandejas metálicas, de modo a se obter porções homogêneas

que representem o todo do material para análise. Enfim, os grãos foram destorroados e o solo foi pesado e reservado em quantidades aproximadas as indicadas à cada tamanho dos grãos e ensaios. Conforme a realização de cada ensaio, o solo foi peneirado com peneiras de abertura de malhas apropriadas, sendo novamente pesado e, então, devidamente utilizado.

Com o intuito de oferecer melhor eficiência às análises laboratoriais, os ensaios foram realizados em duas etapas. A primeira etapa consistiu no desenvolvimento dos ensaios de determinação do teor de umidade, densidade real, granulometria, limites de liquidez e plasticidade. As amostras selecionadas para a segunda etapa destinaram-se a realização do ensaio de compactação.

Para a realização dos ensaios, foi utilizada a infraestrutura do Laboratório de Solos do Departamento de Engenharia Civil e do Laboratório de Análises físico-química de águas e resíduos, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, ambos localizados na Universidade Federal de Mato Grosso, campus Cuiabá.

Nos próximos subtópicos, de 3.4 a 3.9, serão descritos os procedimentos metodológicos de cada ensaio.

3.4 Determinação do teor de umidade

Para a realização do ensaio de determinação do teor de umidade do solo, utilizou-se como referência a Norma Técnica NBR 6457: Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização (ABNT, 2016). Conforme a metodologia de ensaio presente no anexo A dessa norma, o processo está descrito a seguir.

3.4.1 Materiais

- a) Balança, com precisão de 0,01g;
- b) Cápsulas metálicas;
- c) Estufa, com capacidade de manter uma temperatura até 105°C;
- d) Luvas térmicas.

3.4.2 Métodos

Após o preparo da amostra, conforme o apresentado na Figura 11, dividem-se, em cápsulas metálicas, três partes de 50g de solo, pesadas em sua umidade natural, o valor obtido é denominado M1.

A cápsula é colocada em estufa sem a tampa, a uma temperatura de 105° C, durante o período de 24 horas. Posteriormente, amostra é retirada e pesada novamente, fornecendo o valor M2. Por fim, a equação 3 permite estimar o teor de umidade.

$$w = \frac{M1 - M2}{M2 - M3} \times 100 \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

w – Teor de umidade (%)

M1 – massa do solo úmido mais a massa do recipiente (g);

M2 – massa do solo seco mais a massa do recipiente (g);

M3 – massa do recipiente (g).

3.5 Determinação da densidade real

A execução do ensaio de determinação da densidade real segue os procedimentos da Norma Rodoviária do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem DNER – ME 093: Solos - preparação de amostras para ensaios de caracterização (DNER, 1994).

3.5.1 Materiais

- a) Balança, com precisão de 0,01g;
- b) Estufa, com capacidade de manter uma temperatura até 105°C;
- c) Termômetro graduado;
- d) Picnômetro com capacidade de 50 ml;
- e) Bico de gás;
- f) Cápsula de porcelana;
- g) Dessecador;
- h) Funil.

3.5.2 Métodos

Após o preparo da amostra, seguindo o descrito na Figura 11, são separados 30g do material coletado em cada ponto, de modo que a amostra seja repartida em três partes iguais de 10g para a realização do ensaio.

Com a pesagem do picnômetro vazio, seco e limpo obtém-se P1. Em seguida, com a ajuda de um funil, a amostra é colocada no picnômetro e pesada (P2). Coloca-se água destilada no picnômetro de até que a amostra seja coberta e, então, para retirar todo o ar existente entre as partículas, o picnômetro é aquecido durante 15 minutos, promovendo a agitação manual do frasco em intervalos regulares para evitar o superaquecimento.

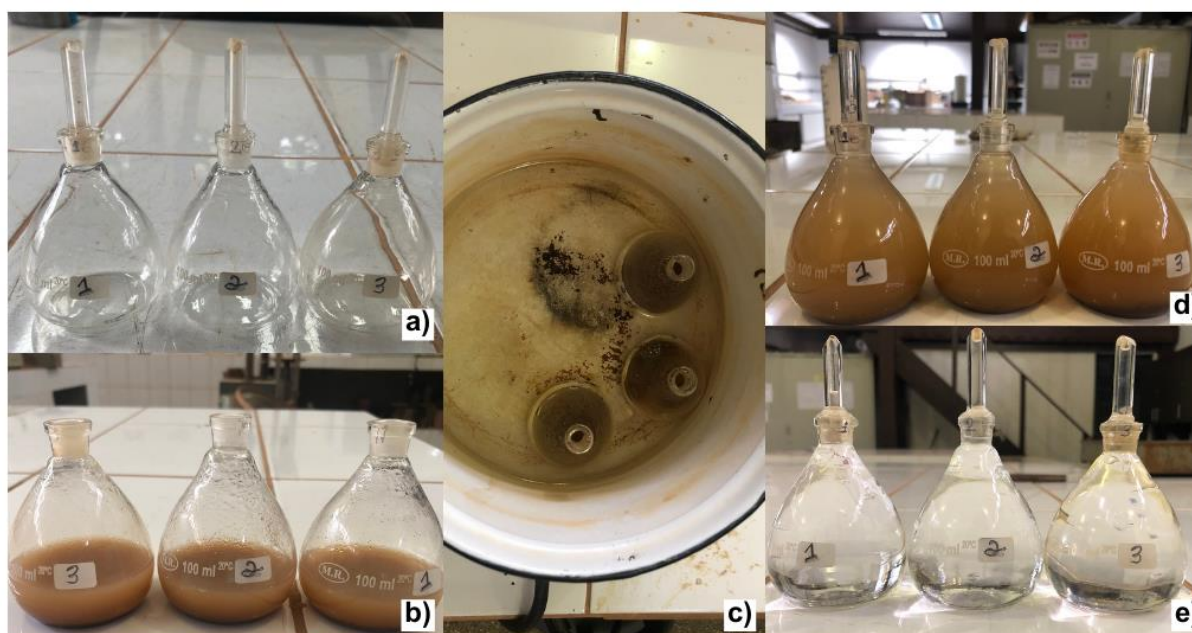
Coloca-se o frasco em temperatura ambiente, até que esfrie por completo. Posteriormente, enche-se completamente o picnômetro com água destilada, coloca-se o

recipiente em banho de água à temperatura ambiente, durante 15 minutos, anota-se a temperatura do banho (t_1).

Por fim, pesa-se o picnômetro (P3) e retira-se todo o material de dentro. O frasco é cheio com água destilada para que se repita o procedimento do banho em água à temperatura ambiente, anota-se a temperatura do banho (t_2). Após a retirada do banho o recipiente é pesado ainda cheio, obtendo o valor de P4.

A Figura 13 demonstra a realização das etapas acima descritas.

Figura 13 - Ensaio de Densidade Real.



Fonte: Autoria própria (2024).

- a) Picnômetros vazios, secos e limpos; b) Picnômetros com solo e água destilada; c) Picnômetros aquecidos; d) Picnômetros com solo e completos com água destilada; e) Picnômetros completos com água destilada.

Essas etapas são, respectivamente, o processo de pesagem dos picnômetros vazios para obter o valor de P1, os picnômetros com material e água destinada em quantidade suficiente para cobrir a amostra, os frascos em processo de aquecimento para retirada do ar entre as partículas, picnômetros resfriados e completos com água destilada para etapa de banho maria e, por fim, picnômetros limpos e preenchidos com água destilada com intuito de determinar o valor P4.

A equação 4 apresenta a determinação do resultado obtido com a realização do ensaio:

$$Dt = \frac{P2 - P1}{(P4 - P1) - (P3 - P2)} \quad \text{Eq. 4}$$

Em que:

- Dt – Densidade real do solo à temperatura t;
P1 – Peso do picnômetro seco e vazio (g);
P2 – Peso do picnômetro mais amostra (g);
P3 – Peso do picnômetro mais amostra e água(g);
P4 – Peso do picnômetro mais água (g).

3.6 Determinação do limite de liquidez

Para a realização do ensaio de determinação do teor de umidade do solo, utiliza-se como referência a Norma Técnica NBR 6459 - Solo - Determinação do limite de liquidez (ABNT 2016).

3.6.1 Materiais

- a) Água destilada;
- b) Aparelho *Casagrande*, incluso cinzel curvo e gabarito de queda da concha;
- c) Balança, com precisão de 0,01g;
- d) Cápsula de porcelana;
- e) Cápsula pequena de alumínio;
- f) Espátula, com lâmina flexível;
- g) Estufa, com capacidade de manter uma temperatura até 105°C.

3.6.2 Métodos

Após o preparo da amostra, seguindo o descrito no subtópico 3.3, utiliza-se 70 g de material por amostra, de forma que a amostra corresponda a fração de solo passante na peneira com abertura de 0,42 mm.

Em uma cápsula de porcelana, adiciona-se água destilada em pequenas quantidades, misturando com espátula, para que se obtenha uma pasta homogênea e moldável. Em seguida, parte dessa mistura é transferida para a concha do aparelho de “Casagrande”, evitando bolhas de ar na mistura e moldando-a para que na parte central, não seja ultrapassada a espessura de 10 mm. Com auxílio de um cinzel curvo, divide-se a amostra em duas partes, de maneira a abrir uma ranhura na parte central da concha.

Gira-se a manivela lateral do equipamento de forma constante e uniforme, para que a concha caia em queda livre e bata no gabarito de altura. Uma série de golpes foram realizados, anotando o número de golpes necessários para que as bordas inferiores da ranhura se unam.

Posteriormente separa-se o pedaço do material que se uniu na parte central da concha em uma cápsula metálica para levá-lo à estufa por 24h, com objetivo de descobrir o teor de umidade da amostra.

Em seguida, com o solo restante, realiza-se o mesmo procedimento por mais 4 vezes, alterando somente a quantidade de água conforme o necessário para formar a pasta moldável. Obtém-se então cinco pontos de amostragem.

Na Figura 14 é apresentado visualmente o processo descrito ao longo do item 3.6.2, com a mistura depositada no aparelho de “Casagrande” após realização da ranhura na parte central da concha e golpes aplicados no material.

Figura 14 - Aparelho de Casagrande com amostra para realização do Limite de Liquidez.



Fonte: Autoria própria (2024).

O resultado do ensaio é obtido graficamente, de forma que as ordenadas representam os números de golpes e as abscissas os teores de umidade correspondentes, ligados por uma reta pelos pontos assim obtidos. O limite de liquidez do solo é determinado na reta, no ponto em que o teor de umidade corresponde a 25 golpes.

3.7 Determinação do limite de plasticidade

Para a realização do ensaio de determinação do limite de plasticidade do solo, utiliza-se como referência a Norma Técnica NBR 7180 - Solo - Determinação do limite de plasticidade (ABNT 2016).

3.7.1 Materiais

- a) Água destilada;
- b) Balança, com precisão de 0,01g;
- c) Cápsula de porcelana;
- d) Cápsula pequena de alumínio;
- e) Espátula, com lâmina flexível;
- f) Estufa, com capacidade de manter uma temperatura até 105°C;
- g) Gabarito cilíndrico com espessura de 3mm;
- h) Placa de vidro esmerilhada.

3.7.2 Métodos

O preparo da amostra, a quantidade de material e a obtenção da pasta para o ensaio segue o descrito no item 3.6.2.

Utiliza-se uma parte dessa pasta, formando uma pequena bola, rolada sobre a placa de vidro com pressão suficiente para lhe dar a forma de cilindro, com espessura de 3mm. Quando atingida essa espessura e o cilindro começa a se fragmentar, as partes do cilindro são cortadas e colocadas em uma cápsula metálica. O procedimento deve ser repetido por mais duas vezes, a fim de obter 3 amostras de umidade, colocadas na estufa para obter a umidade.

O resultado do ensaio é obtido pela média dos valores de umidade, obtidos pela equação 2. Com os valores obtidos pelos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade, calcula-se o índice de plasticidade do solo (apresentado na Tabela 1) pela equação 5:

$$IP = LL - LP \quad \text{Eq. 5}$$

Em que:

IP – Índice de plasticidade (%);

LL – Limite de liquidez (%);

LP – Limite de plasticidade (%).

3.8 Determinação da granulometria

Para a realização do ensaio de determinação do teor de umidade do solo, utiliza-se como referência a Norma Técnica NBR 7181: Solo – Análise granulométrica (ABNT, 2018).

3.8.1 Materiais

- a) Balança, com precisão de 0,01g;
- b) Conjunto de peneiras, com aberturas de 9,5 mm, 4,75 mm, 2 mm, 1,18 mm, 0,5mm, 0,25 mm, 0,15 mm e 0,075mm, incluso tampa e fundo removíveis;
- c) Agitador mecânico;
- d) Dispositivo com cronômetro.

3.8.2 Métodos

A amostra, preparada conforme o apresentado na Figura 11, foi transferida para o conjunto de peneiras de malha com tamanho decrescente com tampa e fundo removível. O peneiramento realizado por meio de agitador mecânico, em período de 5 minutos. Após sua finalização, pesa-se a quantidade de material retido em cada uma das malhas.

Para garantir o uso adequado do equipamento, dividiu-se em dois conjuntos de peneiras, sendo constituídos por 4 peneiras, tampa e fundo, o primeiro iniciando na abertura da malha de 9,5mm até 1,18mm e, o segundo conjunto a iniciar na abertura de malha de 0,5 a 0,075mm. O material retido no fundo foi passado integralmente do primeiro para o segundo conjunto após completar 5 minutos de agitação do material, iniciando assim o processo novamente. Por fim, monta-se um gráfico apresentando a curva granulométrica do solo, de forma que a abscissa represente as aberturas de peneiras utilizadas, e as ordenadas o percentual de material retido em cada malha de peneiras.

A Figura 15 apresenta um conjunto de peneiras devidamente instalado no agitador mecânico, de forma que esteja preso para evitar movimentações além da agitação durante o processo.

Figura 15 - Conjunto de peneiras e agitador mecânico.



Fonte: Autoria própria (2024).

3.9 Determinação da compactação

Para o ensaio de determinação do teor de umidade do solo, utiliza-se como referência a Norma Técnica NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação (ABNT, 2020).

3.9.1 Materiais

- a) Balança, com precisão de 0,01g;
- b) Peneira de abertura de malha de 4,8 mm;
- c) Estufa, com capacidade de manter uma temperatura até 105°C;
- d) Cápsulas metálicas;
- e) Bandejas metálicas;
- f) Regia de aço biselada;
- g) Espátulas de lâmina flexível;
- h) Cilindro de Proctor;

- i) Soquete;
- j) Provetas de vidro.

3.9.2 Métodos

A amostra é preparada de acordo com procedimento descrito no subtópico 3.3. O molde cilíndrico é fixado à sua base, acoplado ao cilindro complementar, com todo o conjunto apoiado em base rígida.

Na bandeja metálica, adiciona-se água destilada gradativamente, com auxílio da proveta até que se obtenha o teor de umidade em torno de 5% abaixo da umidade ótima adotada para a amostra. Após homogeneizado o material, realiza-se a compactação seguindo as energias de compactação descritas no Quadro 4.

Quadro 4 - Energias de Compactação.

Cilindro	Características inerentes a cada energia de compactação	Energia		
		Normal	Intermediária	Modificada
Pequeno (Proctor)	Soquete	Pequeno	Grande	Grande
	Número de camadas	3	3	5
	Número de golpes por camada	26	21	27

Fonte: Adaptado de: ABNT (2018).

O Quadro 4 descreve a energia de compactação necessária para as amostras, distinguindo-as por pequenas, intermediárias ou grandes. De acordo com cada tipo de energia de compactação, o soquete utilizado irá variar, além do número de golpes por camadas. Também, o procedimento terá alterações de acordo com o tamanho das amostras, fator que determina o tipo de cilindro a ser utilizado no ensaio.

Os golpes com soquete pequeno foram aplicados perpendicularmente, deslizando na haste em queda livre, distribuídos de maneira uniforme sobre a superfície de cada camada, totalizando 26 golpes. Realiza-se a determinação do teor de umidade (w) com porção da amostra restante na bandeja, retirada após a compactação da segunda camada, seguindo o método descrito no item 3.4.2.

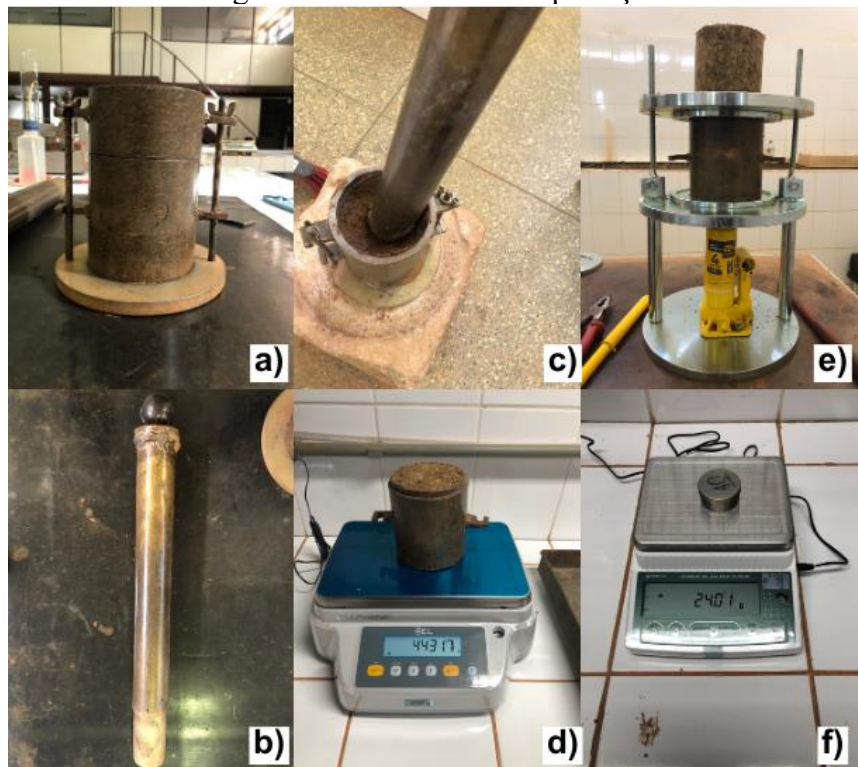
Após a compactação da última camada, retira-se o colarinho e escarifica-se o material em contato com a parede. O molde é rasado com a régua biselada e removido de sua base. Pesa-se o conjunto e obtém-se a massa úmida do solo compactado (M_u).

Retira-se o corpo de prova do molde utilizando um extrator e, com parte da amostra determina-se o teor de umidade (w).

O material remanescente é agregado e acrescenta-se água destilada até que se obtenha o teor de umidade incrementado em aproximadamente 2% do total da amostra. As etapas anteriormente descritas são repetidas até que se obtenham cinco pontos, dois no ramo seco, um próximo a umidade ótima e dois no ramo úmido da curva de compactação.

A Figura 16 representa as etapas descritas anteriormente para o ensaio de compactação, apresentando o cilindro proctor, soquete pequeno, materiais utilizados conforme definição do tipo de solo e análise visual *in loco*. Também, contém o processo de compactação das camadas, pesagem do cilindro sem colarinho e preenchido pelo material compactado, a retirada do solo compactado do cilindro com extrator e a pesagem da amostra coletada para determinação de umidade.

Figura 16 - Ensaio de Compactação.



Fonte: Autoria própria (2024).

- a) Cilindro Proctor; b) Soquete; c) Compactação do solo; d) Pesagem do cilindro com amostra compactada; e) Retirada do solo do cilindro com extrator; f) Pesagem de amostra para determinação de umidade.

Então, com a curva de compactação, em que as abscissas correspondem aos teores de umidade e as ordenadas as massas específicas aparentes secas, é obtido o valor da umidade ótima.

4 RESULTADOS

No presente tópico, serão apresentados os resultados obtidos pelos ensaios realizados conforme o tópico 3. A estruturação se dará em nove subtópicos conforme a nomenclatura adotada para referenciar cada amostra, de A1 a D3.

Inicialmente, na primeira etapa das análises laboratoriais, foram realizados os ensaios de granulometria, teor de umidade, limite de liquidez e plasticidade, e densidade real, portanto, serão os primeiros resultados apresentados nos subtópicos. O resultado obtido no ensaio de compactação corresponde à segunda etapa das análises, concluindo os resultados. Será adotado o sistema de classificação AASHTO como base das avaliações.

4.1 Amostra A1

O procedimento para análise granulométrica foi realizado seguindo o exposto no item 3.8.2. Assim, após anotados os valores obtidos da massa de solo retido em cada malha de peneira, o cálculo percentual foi realizado e a curva granulométrica foi traçada. Os resultados são apresentados na Tabela 3 e a curva granulométrica é apresentada na Figura 17.

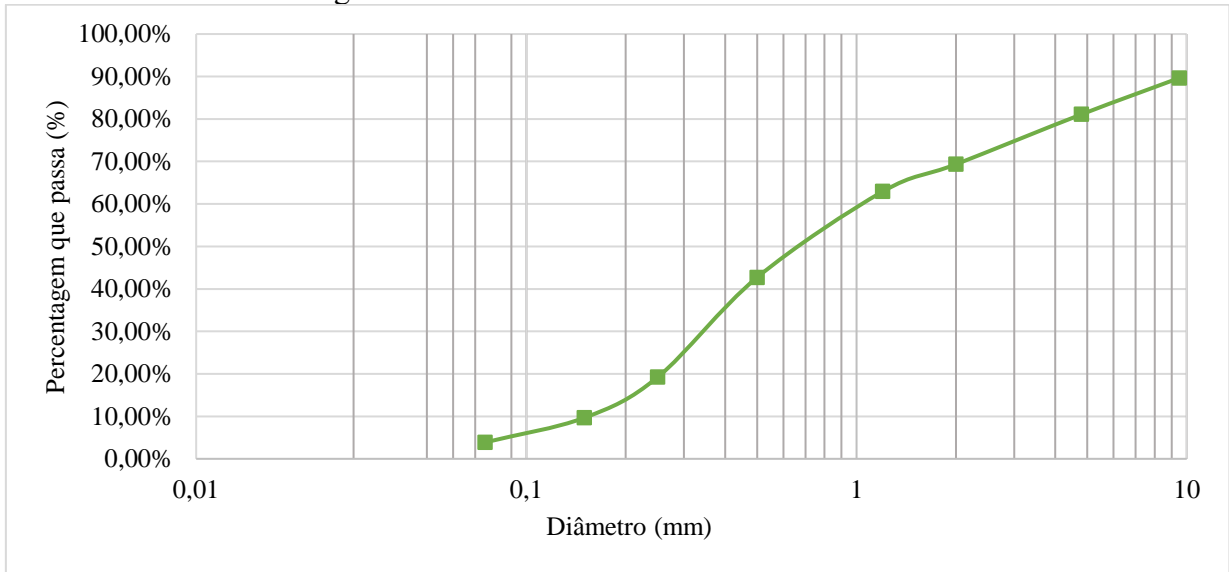
Tabela 3 - Granulometria da Amostra A1.

GRANULOMETRIA			
Abertura das peneiras (mm)	Massa de solo retido (g)	Percentual de solo retido (%)	Percentual de solo passante (%)
9,5	51,66	10,34%	89,66%
4,8	42,85	8,57%	81,09%
2,0	58,74	11,75%	69,34%
1,2	32,11	6,42%	62,92%
0,5	100,98	20,20%	42,71%
0,25	117,34	23,48%	19,24%
0,15	47,77	9,56%	9,68%
0,075	29,01	5,80%	3,88%
Fundo	19,38	3,88%	0,00%
TOTAL	499,84	100,00%	0,00%

Fonte: Autoria própria (2024).

A partir da escala de classes de textura do solo (Figura 3) e observando que o percentual de solo passante nas peneiras reduz ao atingir as aberturas de 0,5 a 0,15 mm, pelo sistema de classificação adotado, quanto a sua granulometria o material da amostra A1 classifica-se como uma areia.

Figura 17 - Curva Granulométrica Amostra A1.



Fonte: Autoria própria (2024).

A curva granulométrica é construída em um sistema de eixos, com ordenada referente ao percentual de material retido e abscissa em escala logarítmica de base 10 relacionada às aberturas de peneira utilizadas, variando de 0,01mm a 10mm. A partir de análise visual, utilizando a Figura 2 como referência para identificação do tipo de material, o solo é avaliado como bem graduado, ou seja, suas partículas menores preenchem os vãos deixados pelas partículas maiores.

O ensaio de teor de umidade seguiu o apresentado no item 3.4.2 e, com os valores obtidos, delineou-se a Tabela 4.

Tabela 4 - Teor de Umidade Amostra A1.

TEOR DE UMIDADE			
Cápsula	1	2	3
Cápsula + Solo Úmido (g)	79,65	79,38	79,61
Cápsula + Solo Seco (g)	79,46	79,14	79,40
M3 - Peso da Cápsula (g)	29,03	29,25	29,15
M1 - Solo Úmido (g)	50,62	50,13	50,46
M2 - Solo Seco (g)	50,43	49,89	50,25
Teor de Umidade (%)	0,38%	0,48%	0,42%

Fonte: Autoria própria (2024).

Calculando a média dos teores obtidos, de acordo com a normativa, o teor de umidade da amostra é de 0,43%. O resultado obtido para teor de umidade natural do solo foi descartado na análise, pois apresentou valor que não permite avaliação adequada.

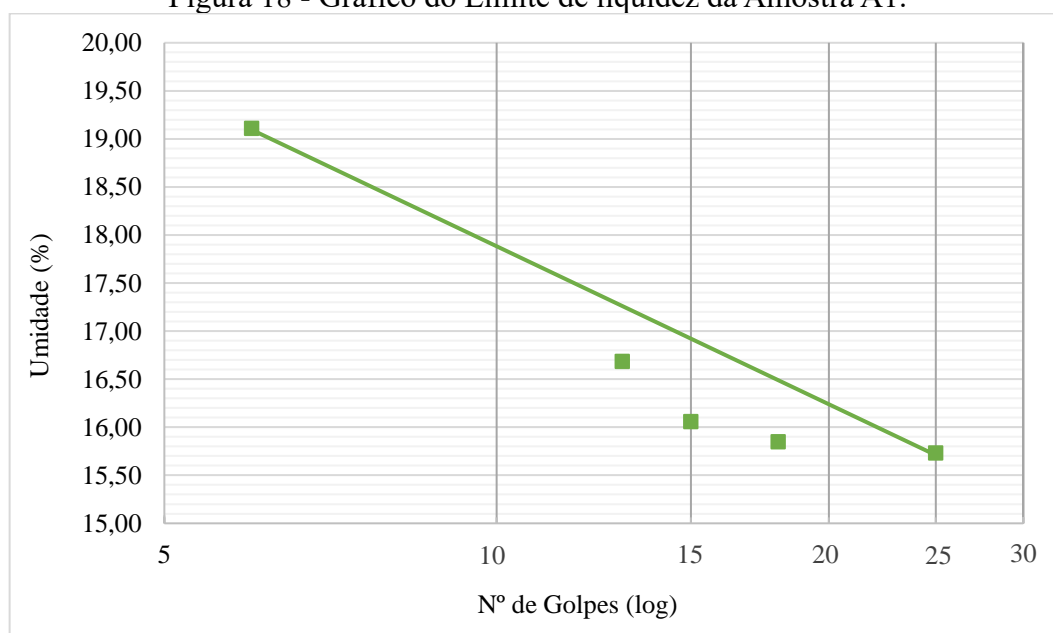
Os limites de liquidez foram obtidos de acordo com o item 3.6.2. Na Tabela 5 são apresentados os valores obtidos no procedimento, com o número de golpes e teores de umidade. O gráfico do limite de liquidez do solo foi traçado, e está apresentado na Figura 18.

Tabela 5 - Limites de liquidez da Amostra A1.

LIMITE DE LIQUIDEZ					
Cápsula	1	2	3	4	5
Cápsula + Solo Úmido (g)	22,62	21,20	21,50	23,97	30,22
Cápsula + Solo Seco (g)	21,19	20,04	20,36	22,3	27,13
Peso da Cápsula (g)	12,10	12,72	13,26	12,29	10,96
Peso Água (g)	1,43	1,16	1,14	1,67	3,09
Solo Úmido (g)	10,52	8,48	8,24	11,68	19,26
Solo Seco (g)	9,09	7,32	7,1	10,01	16,17
Nº de Golpes	25	18	15	13	6
Teor de Umidade (%)	15,73%	15,85%	16,06%	16,68%	19,11%

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 18 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra A1.



Fonte: Autoria própria (2024).

A reta foi delineada em um sistema de eixos com ordenada referente ao percentual do teor de umidade obtido e abscissa em escala logarítmica de base 10 relacionada ao número de golpes variando de 5 a 30. De acordo com definição normativa, NBR 6459, o teor de umidade do solo correspondente a 25 golpes é o limite de liquidez do solo, portanto $LL = 15,73\%$.

O limite de plasticidade da amostra não pode ser determinado, uma vez que o solo não possui moldabilidade para atingir espessura de 3mm e comprimento de 1cm, segundo previsto na NBR 7180. Várias tentativas de realização do ensaio foram feitas, no entanto, o solo perdia umidade rapidamente e passava a esfarelar-se conforme era trabalhado (demonstrado na Figura 19). Desse modo, entende-se que o solo é não plástico.

Figura 19 - Plasticidade da Amostra A1.



Fonte: Autoria própria (2024).

A figura demonstra algumas das tentativas realizadas para obtenção da plasticidade da amostra A1. Pode-se perceber que, quando estava próximo de atingir a espessura e/ou tamanho do gabarito de referência, o solo perdia umidade de forma que fissurava, impedindo a finalização do ensaio e, por consequência a determinação do limite de plasticidade.

Os valores obtidos no ensaio de densidade real, descrito no item 3.5.2, são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Densidade real da Amostra A1.

DENSIDADE REAL			
Picnômetro	1	2	3
P1 - Peso do picnômetro vazio (g)	35,24	35,21	34,50
P2 - Peso do picnômetro + amostra (g)	45,24	45,26	44,55
t1 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P3 - Peso do picnômetro + amostra + água (g)	140,73	140,94	139,19
t2 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P4 - Peso do picnômetro + água (g)	134,42	134,84	133,30
Densidade Real à Temperatura de ensaio	2,710	2,544	2,416
Fator de Correção (k20)	0,9989	0,9989	0,9989
Densidade Real Corrigida (20°C)	2,707	2,542	2,413
Densidade Real		2,477	

Fonte: Autoria própria (2024).

O valor da densidade real do solo é determinado pela média entre dois dos valores obtidos em ensaio, portanto, foram considerados os valores dos picnômetros 2 e 3, resultando na densidade real igual a 2,477. De acordo com o exposto no subtópico 2.3, solos grossos tendem a ter densidade maior, portanto, o valor obtido comprova a classificação pela granulometria de que o solo da amostra se enquadra como uma areia.

Para finalizar as análises da primeira etapa, avaliam-se os parâmetros de acordo com o sistema AASHTO, baseando a classificação no Quadro 2. Dessa forma, o solo se enquadra no grupo A -1b, classificado como areia grossa bem graduada sem plasticidade.

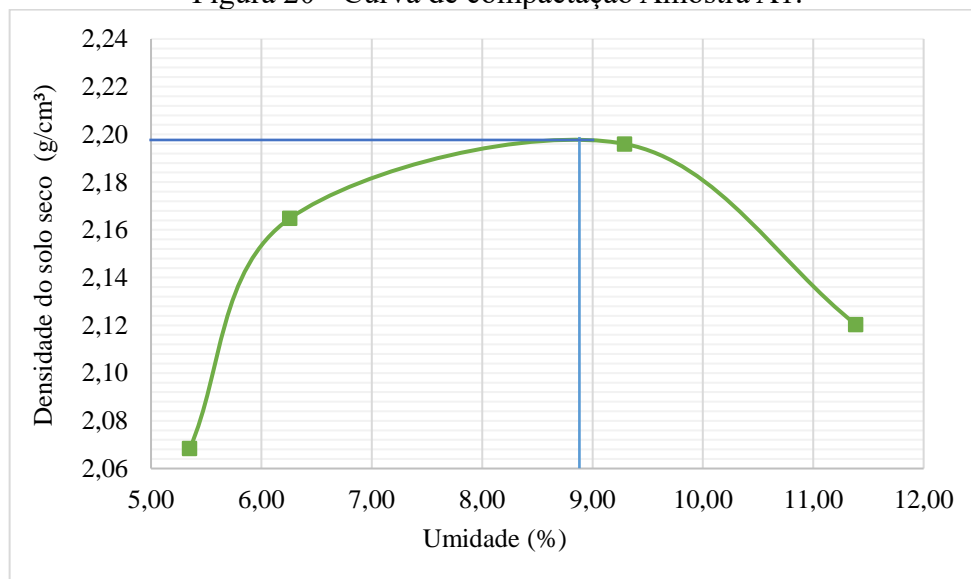
Por classificar-se na primeira etapa como um solo arenoso, foi realizada a segunda etapa das análises laboratoriais. Para tal, o ensaio de compactação seguiu o descrito no item 3.9.2. Os resultados são apresentados na Tabela 7 e na Figura 20.

Tabela 7 - Compactação Amostra A1.

COMPACTAÇÃO				
Peso do Cilindro (g)	2337,2	2337,2	2337,2	2337,2
Volume do Cilindro (cm ³)	931,12	931,12	931,12	931,12
Água Acrescentada (g)	150	60	60	60
Mu - Peso do Cilindro + Solo Úmido (g)	4372,0	4487,5	4591,4	4565,2
Peso do Solo Úmido (g)	2034,8	2150,3	2254,2	2228,0
Densidade do Solo Úmido (g/cm ³)	2,19	2,31	2,42	2,39
Densidade do Solo Seco (g/cm ³)	2,07	2,16	2,20	2,12
Determinação da Umidade				
Cápsula	13	14	15	16
Peso da Cápsula (g)	8,91	10,69	10,77	11,08
Peso Cápsula + Solo Úmido (g)	24,66	25,63	24,65	31,82
Peso Cápsula + Solo Seco (g)	23,86	24,75	23,47	29,70
Peso da Água (g)	0,80	0,88	1,18	2,12
Peso do Solo Úmido (g)	15,75	14,94	13,88	20,74
Peso do Solo Seco (g)	14,95	14,06	12,70	18,62
W - Teor de Umidade (%)	5,35	6,26	9,29	11,39
Umidade Adotada (%)	5	7	9	11

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 20 - Curva de compactação Amostra A1.



Fonte: Autoria própria (2024).

A umidade ótima adotada para início de ensaio foi de 10%, portanto, as adições de água iniciaram com 5% e seguiram aumentos de 2% até que atingissem redução no valor de μ . Traçando o gráfico com abscissa referente aos teores de umidade obtidos e a ordenada com as massas específicas aparentes secas, obtém-se a curva granulométrica. Portanto, graficamente, a umidade ótima do solo (Wot) encontra-se em aproximadamente 8,9%, onde se dá o pico da parábola

Para solos arenosos, a massa específica aparente seca máxima é atingida com uma quantidade menor de adição de água e seu valor é maior que nos demais solos. A densidade do solo seco é de $2,14 \text{ g/cm}^3$, média aritmética entre os valores apresentados na Tabela 7.

Portanto, com os valores resultantes das análises gráfica e matemática, o solo classifica-se como arenoso, correspondente ao citado o subtópico 2.3 quanto à compactação.

4.2 Amostra A2

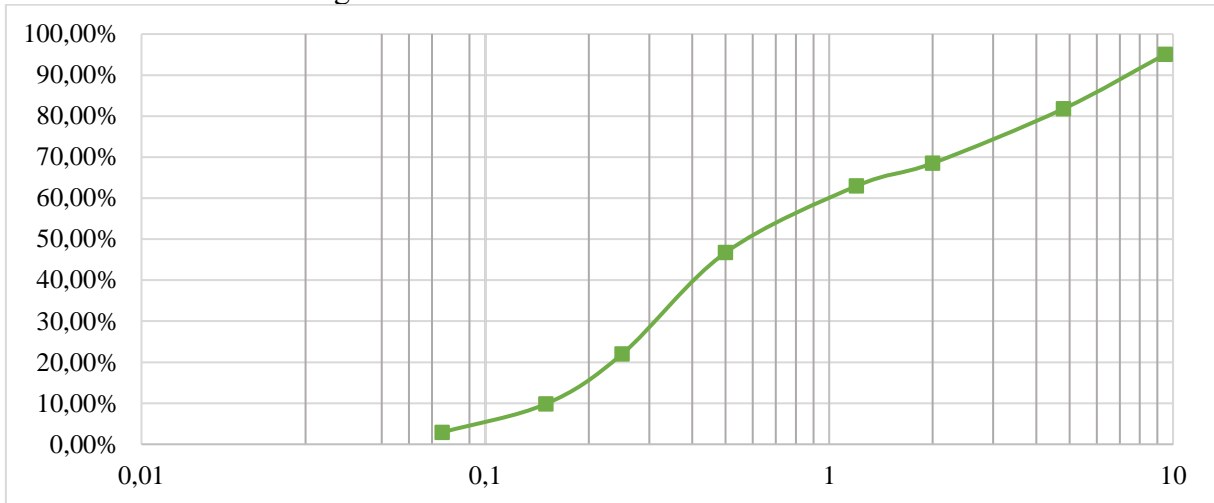
O processo de análise granulométrica foi conduzido conforme descrito no item 3.8.2. Os resultados são apresentados na Tabela 8 e a representação gráfica da curva granulométrica pode ser observada na Figura 21.

Tabela 8 - Granulometria da Amostra A2.

GRANULOMETRIA			
Abertura das peneiras (mm)	Massa de solo retido (g)	Percentual de solo retido (%)	Percentual de solo passante (%)
9,5	23,83	4,93%	95,07%
4,8	64,32	13,30%	81,78%
2,0	64,15	13,26%	68,51%
1,2	26,92	5,57%	62,95%
0,5	78,38	16,20%	46,74%
0,25	119,64	24,74%	22,01%
0,15	58,83	12,16%	9,84%
0,075	33,49	6,92%	2,92%
Fundo	14,12	2,92%	0,00%
TOTAL	483,68	100,00%	0,00%

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 21 - Curva Granulométrica Amostra A2.



Fonte: Autoria própria (2024).

Por meio da escala de classes de textura do solo (Figura 3) e analisando que o percentual de solo passante nas peneiras reduz ao atingir as aberturas de 0,5 a 0,15 mm, pelo sistema de classificação adotado, quanto a sua granulometria o material da amostra A2 classifica-se como uma areia. A partir dessa análise visual, utilizando a Figura 2 como referência, o solo é avaliado como bem graduado, ou seja, suas partículas menores preenchem os vãos deixados pelas partículas maiores.

O ensaio de teor de umidade seguiu o apresentado no item 3.4.2 e os valores obtidos estão presentes na Tabela 9.

Tabela 9 - Teor de Umidade Amostra A2.

TEOR DE UMIDADE			
Cápsula	4	5	6
Cápsula + Solo Úmido (g)	77,87	80,28	79,46
Cápsula + Solo Seco (g)	77,30	79,77	78,90
M3 - Peso da Cápsula (g)	27,80	29,62	28,92
M1 - Solo Úmido (g)	50,07	50,66	50,54
M2 - Solo Seco (g)	49,5	50,15	49,98
Teor de Umidade (%)	1,15%	1,02%	1,12%

Fonte: Autoria própria (2024).

Calculando a média aritmética dos teores obtidos, de acordo com a normativa, o teor de umidade da amostra é de 1,09%. O resultado obtido para teor de umidade natural do solo será descartado na análise, pois apresentou um valor que não permite uma avaliação adequada.

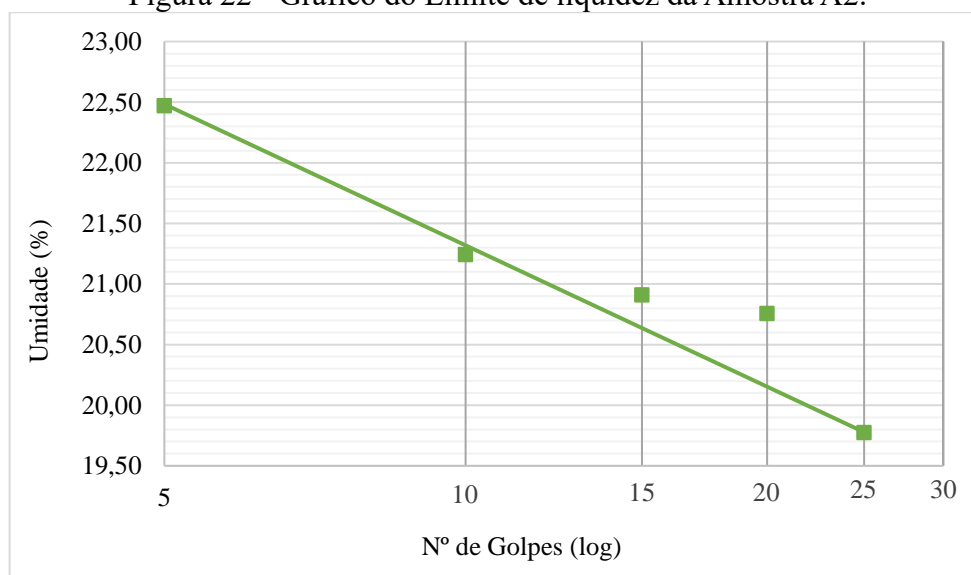
Os limites de liquidez foram determinados conforme o descrito no item 3.6.2. São apresentados os valores obtidos no procedimento na Tabela 10, com o número de golpes e teores de umidade, é traçado o gráfico do limite de liquidez do solo, apresentado na Figura 22.

Tabela 10 - Limites de liquidez da Amostra A2.

LIMITE DE LIQUIDEZ					
Cápsula	6	7	8	9	10
Cápsula + Solo Úmido (g)	16,93	17,81	24,70	25,21	17,36
Cápsula + Solo Seco (g)	15,88	16,55	22,54	22,92	16,16
Peso da Cápsula (g)	10,57	10,48	12,21	12,14	10,82
Peso Água (g)	1,05	1,26	2,16	2,29	1,20
Solo Úmido (g)	6,36	7,33	12,49	13,07	6,54
Solo Seco (g)	5,31	6,07	10,33	10,78	5,34
Nº de Golpes	25	20	15	10	5
Teor de Umidade (%)	19,77%	20,76%	20,91%	21,24%	22,47%

Fonte: Aatoria própria (2024).

Figura 22 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra A2.



Fonte: Aatoria própria (2024).

Por definição normativa, NBR 6459, o teor de umidade do solo correspondente a 25 golpes é o limite de liquidez do solo, portanto $LL = 19,77\%$.

O limite de plasticidade da amostra não pode ser determinado, uma vez que o solo não possuía moldabilidade para atingir espessura de 3mm e comprimento de 1cm, segundo previsto na NBR 7180. A Figura 23 apresenta algumas tentativas de realizar o ensaio. Sendo assim, o solo é não plástico.

Figura 23 - Plasticidade da Amostra A2.



Fonte: Autoria própria (2024).

Os valores obtidos no ensaio de densidade real, descrito no item 3.5.2, são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Densidade real da Amostra A2.

DENSIDADE REAL			
Picnômetro	4	5	6
P1 - Peso do picnômetro vazio (g)	33,75	34,92	33,44
P2 - Peso do picnômetro + amostra (g)	43,78	44,92	43,78
t1 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P3 - Peso do picnômetro + amostra + água (g)	139,38	144,89	140,29
t2 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P4 - Peso do picnômetro + água (g)	133,10	138,63	133,87
Densidade Real à Temperatura de ensaio	2,675	2,674	2,638
Fator de Correção (k20)	0,9989	0,9989	0,9989
Densidade Real Corrigida (20°C)	2,672	2,671	2,635
Densidade Real		2,671	

Fonte: Autoria própria (2024).

O valor da densidade real do solo é determinado pela média entre dois dos valores obtidos em ensaio, portanto, foram considerados os valores dos picnômetros 4 e 5, resultando na densidade real igual a 2,671. Com base no que foi apresentado no subtópico 2.3, solos grossos tendem a ter densidade maior, portanto, o valor obtido comprova a classificação pela granulometria de que o solo da amostra se enquadra como uma areia.

Finalizando as análises da primeira etapa, baseia-se a classificação nas informações contidas no Quadro 2. Portanto, o solo se enquadra no grupo A -1b, classificado como areia grossa bem graduada sem plasticidade.

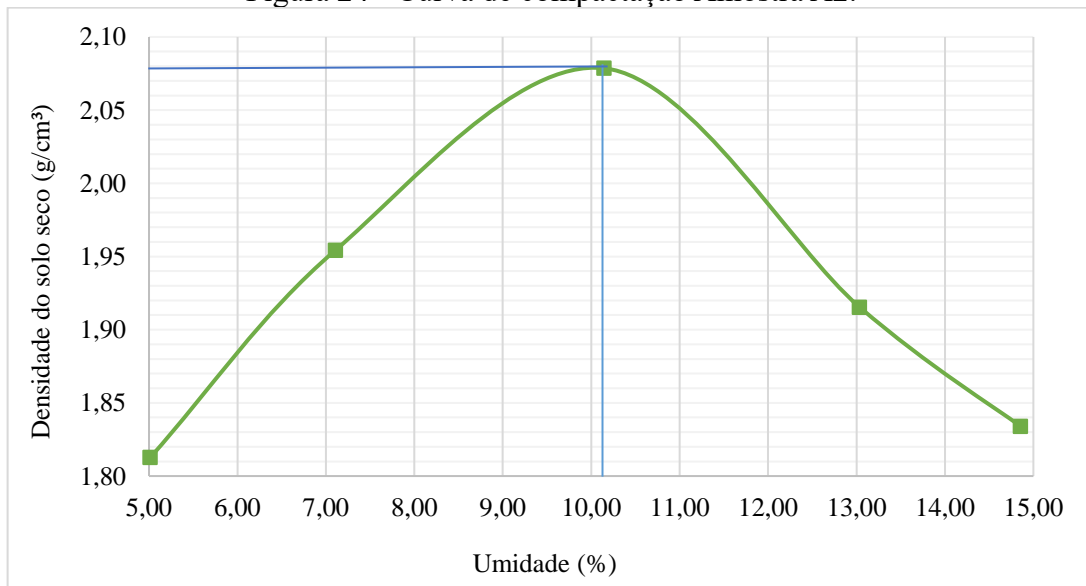
Por classificar-se na primeira etapa como um solo arenoso, foi realizada com a amostra a segunda etapa das análises laboratoriais. Para tal, o ensaio de compactação seguiu o descrito no item 3.9.2. Os resultados são apresentados na Tabela 12 e na Figura 24.

Tabela 12 - Compactação Amostra A2.

COMPACTAÇÃO					
Peso do Cilindro (g)	2337,2	2337,2	2337,2	2337,2	2337,2
Volume do Cilindro (cm ³)	931,12	931,12	931,12	931,12	931,12
Água Acrescentada (g)	150	60	60	60	60
Mu - Peso do Cilindro + Solo Úmido (g)	4114,1	4296,1	4491,2	4388,0	4342,8
Peso do Solo Úmido (g)	1776,9	1958,9	2154,0	2050,8	2005,6
Densidade do Solo Úmido (g/cm ³)	1,91	2,10	2,31	2,20	2,15
Densidade do Solo Seco (g/cm ³)	1,81	1,95	2,08	1,92	1,83
Determinação da Umidade					
Cápsula	1	2	3	4	5
Peso da Cápsula (g)	10,73	10,75	11,25	10,25	11,42
Peso Cápsula + Solo Úmido (g)	30,00	28,08	38,61	34,01	35,62
Peso Cápsula + Solo Seco (g)	29,08	26,93	36,09	31,27	32,49
Peso da Água (g)	0,92	1,15	2,52	2,74	3,13
Peso do Solo Úmido (g)	19,27	17,33	27,36	23,76	24,20
Peso do Solo Seco (g)	18,35	16,18	24,84	21,02	21,07
W - Teor de Umidade (%)	5,01	7,11	10,14	13,04	14,86
Umidade Adotada (%)	5	7	9	11	13

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 24 - Curva de compactação Amostra A2.



Fonte: Autoria própria (2024).

A umidade ótima adotada para início de ensaio foi de 10%, portanto, as adições de água iniciaram com 5% e seguiram aumentos de 2% até se atingir redução no valor de Mu. Graficamente, a umidade ótima do solo (Wot) encontra-se em aproximadamente 10,1%, onde se dá o pico da parábola.

A densidade do solo seco é de 1,92 g/cm³, média aritmética entre os valores apresentados na Tabela 12.

Portanto, com os valores resultantes da análise gráfica e matemática, o solo classifica-se como arenoso, correspondente ao citado o subtópico 2.3 quanto a compactação.

4.3 Amostra A3

Análise granulométrica foi realizada conforme descrito no item 3.8.2. Os resultados são apresentados na Tabela 13 e a representação gráfica da curva granulométrica pode ser observada na Figura 25.

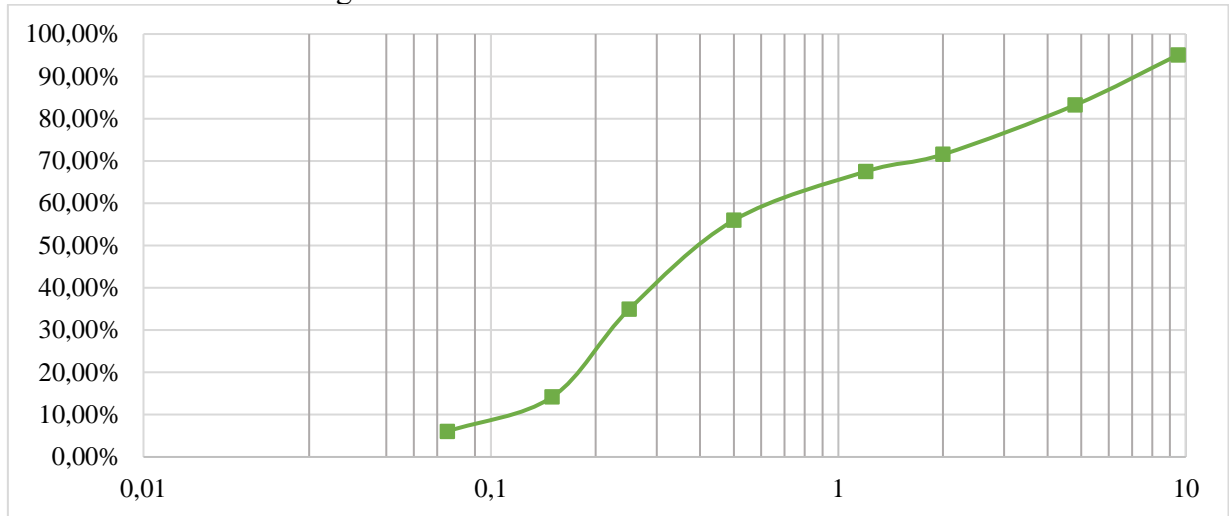
Tabela 13 - Granulometria da Amostra A3.

GRANULOMETRIA			
Abertura das peneiras (mm)	Massa de solo retido (g)	Percentual de solo retido (%)	Percentual de solo passante (%)
9,5	24,48	4,94%	95,06%
4,8	58,78	11,85%	83,21%
2,0	57,88	11,67%	71,54%
1,2	20,02	4,04%	67,50%
0,5	57,23	11,54%	55,96%
0,25	104,40	21,05%	34,91%
0,15	102,78	20,72%	14,19%
0,075	40,34	8,13%	6,06%
Fundo	30,03	6,06%	0,00%
TOTAL	495,94	100,00%	0,00%

Fonte: Autoria própria (2024).

Utilizando a escala de classes de textura do solo (Figura 3) e analisando que o percentual de solo passante nas peneiras reduz ao atingir a abertura de 0,25mm, pelo sistema de classificação adotado, quanto a sua granulometria o material da amostra A3 classifica-se como uma areia.

Figura 25 - Curva Granulométrica Amostra A3.



Fonte: Autoria própria (2024).

A partir de análise visual, utilizando a Figura 2 como referência, o solo é avaliado como bem graduado, ou seja, suas partículas menores preenchem os vãos deixados pelas partículas maiores.

O ensaio de teor de umidade seguiu o apresentado no item 3.4.2 e os valores obtidos estão presentes na Tabela 14.

Tabela 14 - Teor de Umidade Amostra A3.

TEOR DE UMIDADE			
Cápsula	7	8	9
Cápsula + Solo Úmido (g)	79,54	80,14	78,30
Cápsula + Solo Seco (g)	79,34	79,80	77,92
M3 - Peso da Cápsula (g)	29,22	29,18	28,27
M1 - Solo Úmido (g)	50,32	50,96	50,03
M2 - Solo Seco (g)	50,12	50,62	49,65
Teor de Umidade (%)	0,40%	0,67%	0,77%

Fonte: Autoria própria (2024).

Calculando a média aritmética dos teores obtidos, de acordo com a normativa, o teor de umidade da amostra seria de 0,61%. O resultado obtido para teor de umidade natural do solo será descartado na análise, pois apresentou um valor que não permite uma avaliação adequada.

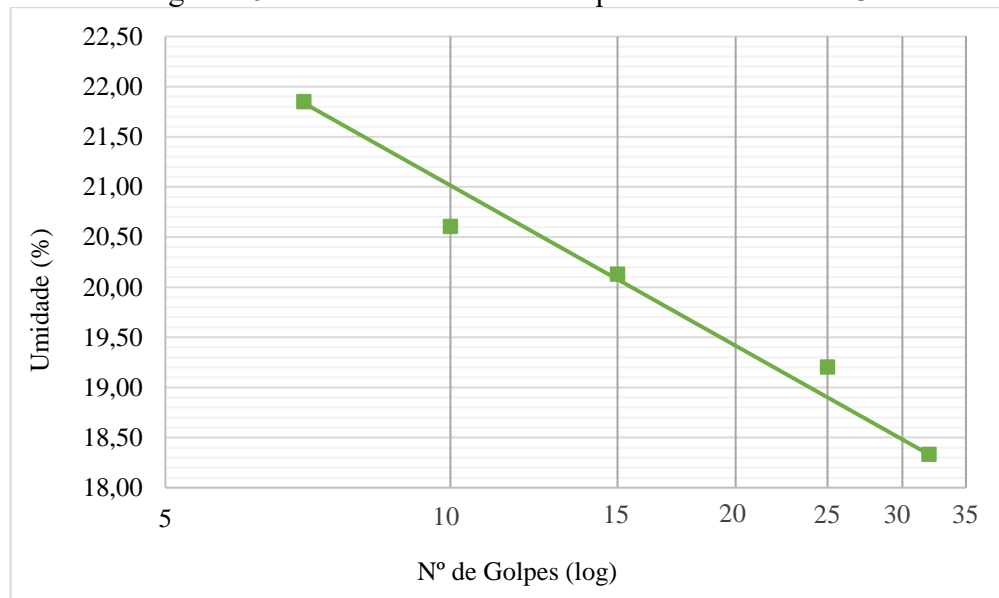
Os limites de liquidez foram determinados conforme o descrito no item 3.6.2. São apresentados os valores obtidos no procedimento na Tabela 15, com o número de golpes e teores de umidade, é traçado o gráfico do limite de liquidez do solo, apresentado na Figura 26.

Tabela 15 - Limites de liquidez da Amostra A3.

LIMITE DE LIQUIDEZ					
Cápsula	11	12	13	14	15
Cápsula + Solo Úmido (g)	16,40	19,26	18,12	28,55	17,01
Cápsula + Solo Seco (g)	15,52	17,91	16,88	25,83	15,97
Peso da Cápsula (g)	10,72	10,88	10,72	12,63	11,21
Peso Água (g)	0,88	1,35	1,24	2,72	1,04
Solo Úmido (g)	5,68	8,38	7,4	15,92	5,8
Solo Seco (g)	4,8	7,03	6,16	13,2	4,76
Nº de Golpes	32	25	15	10	7
Teor de Umidade (%)	18,33%	19,20%	20,13%	20,61%	21,85%

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 26 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra A3.



Fonte: Autoria própria (2024).

Por definição normativa, NBR 6459, o teor de umidade do solo correspondente a 25 golpes é o limite de liquidez do solo, portanto $LL = 19,20\%$.

O limite de plasticidade da amostra não pode ser determinado, uma vez que o solo não possuía moldabilidade para atingir espessura de 3mm e comprimento de 1 cm, segundo previsto na NBR 7180. A Figura 27 apresenta algumas tentativas de realizar o ensaio. Sendo assim, o solo é não plástico.

Figura 27 - Plasticidade da Amostra A3.



Fonte: Autoria própria (2024).

Os valores obtidos no ensaio de densidade real, descrito no item 3.5.2, são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Densidade real da Amostra A3.

DENSIDADE REAL			
Picnômetro	8	10	12
P1 - Peso do picnômetro vazio (g)	68,12	35,06	36,31
P2 - Peso do picnômetro + amostra (g)	78,15	45,06	46,31
t1 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P3 - Peso do picnômetro + amostra + água (g)	167,92	141,31	141,76
t2 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P4 - Peso do picnômetro + água (g)	161,40	135,12	135,57
Densidade Real à Temperatura de ensaio	2,858	2,625	2,625
Fator de Correção (k20)	0,9989	0,9989	0,9989
Densidade Real Corrigida (20°C)	2,854	2,622	2,622
Densidade Real		2,622	

Fonte: Autoria própria (2024).

O valor da densidade real do solo é determinado pela média entre dois dos valores obtidos em ensaio, portanto, foram considerados os valores dos picnômetros 10 e 12, resultando na densidade real igual a 2,622. Com base no que foi apresentado no subtópico 2.3, solos grossos tendem a ter densidade maior, portanto, o valor obtido comprova a classificação pela granulometria de que o solo da amostra se enquadra como uma areia.

Finalizando as análises da primeira etapa, baseia-se a classificação nas informações contidas no Quadro 2. Portanto, o solo se enquadra no grupo A – 3, areia fina sem silte ou argila, ou possuindo pequena quantidade de silte não plástico. O grupo inclui misturas de areia fina mal graduada e quantidades limitadas de areia grossa e pedregulho depositados pelas correntes.

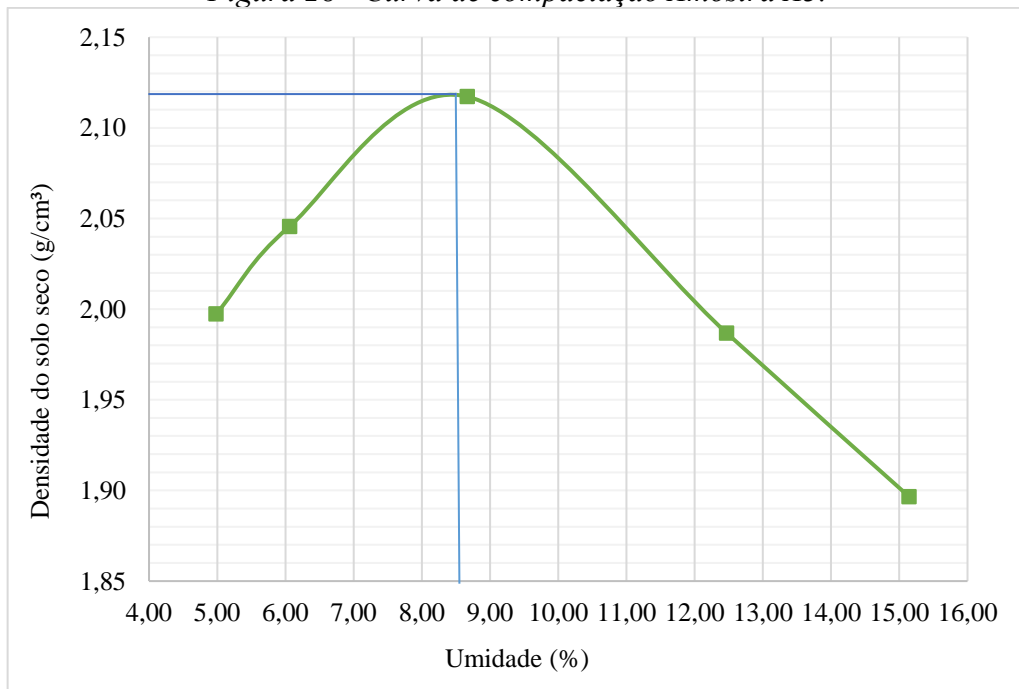
Por classificar-se na primeira etapa como um solo arenoso, foi realizada com a amostra a segunda etapa das análises laboratoriais. Para tal, o ensaio de compactação seguiu o descrito no item 3.9.2. Os resultados são apresentados na Tabela 17 e na Figura 28.

Tabela 17 - Compactação Amostra A3.

COMPACTAÇÃO					
Peso do Cilindro (g)	2337,2	2337,2	2337,2	2337,2	2337,2
Volume do Cilindro (cm ³)	931,12	931,12	931,12	931,12	931,12
Água Acrescentada (g)	150	60	60	60	60
Mu - Peso do Cilindro + Solo Úmido (g)	4294,5	4364,8	4495,7	4450,7	4418,3
Peso do Solo Úmido (g)	1957,3	2027,6	2158,5	2113,5	2081,1
Densidade do Solo Úmido (g/cm ³)	2,10	2,18	2,32	2,27	2,24
Densidade do Solo Seco (g/cm ³)	2,00	2,05	2,12	1,99	1,90
Determinação da Umidade					
Cápsula	7	8	9	10	11
Peso da Cápsula (g)	10,92	10,53	10,53	11,19	10,19
Peso Cápsula + Solo Úmido (g)	35,77	34,68	35,35	30,13	32,47
Peso Cápsula + Solo Seco (g)	34,59	33,30	33,37	28,03	29,54
Peso da Água (g)	1,18	1,38	1,98	2,10	2,93
Peso do Solo Úmido (g)	24,85	24,15	24,82	18,94	22,28
Peso do Solo Seco (g)	23,67	22,77	22,84	16,84	19,35
W - Teor de Umidade (%)	4,99	6,06	8,67	12,47	15,14
Umidade Adotada (%)	5	7	9	11	13

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 28 - Curva de compactação Amostra A3.



Fonte: Autoria própria (2024).

A umidade ótima adotada para início de ensaio foi de 10%, portanto, as adições de água iniciaram com 5% e seguiram aumentos de 2% até se atingir redução no valor de Mu. Graficamente, a umidade ótima do solo (Wot) encontra-se em aproximadamente 8,6%, onde se dá o pico da parábola.

A densidade do solo seco é de 2,01 g/cm³, média aritmética entre os valores apresentados na Tabela 17.

Portanto, com os valores resultantes da análise gráfica e matemática, o solo classifica-se como arenoso, correspondente ao citado o subtópico 2.3 quanto a compactação.

4.4 Amostra B1

Análise granulométrica foi realizada conforme descrito no item 3.8.2. Os resultados são apresentados na Tabela 18 e a representação gráfica da curva granulométrica pode ser observada na Figura 29.

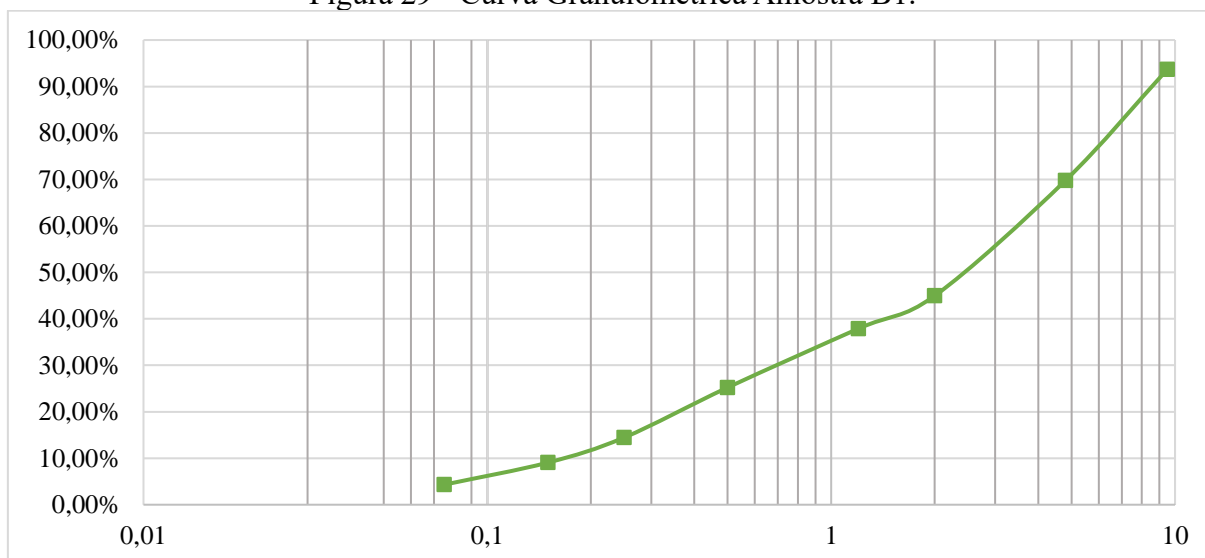
Tabela 18 - Granulometria da Amostra B1.

GRANULOMETRIA			
Abertura das peneiras (mm)	Massa de solo retido (g)	Percentual de solo retido (%)	Percentual de solo passante (%)
9,5	27,73	6,31%	93,69%
4,8	105,21	23,93%	69,77%
2,0	109,06	24,80%	44,96%
1,2	31,09	7,07%	37,89%
0,5	55,68	12,66%	25,23%
0,25	47,36	10,77%	14,46%
0,15	23,69	5,39%	9,07%
0,075	20,87	4,75%	4,32%
Fundo	19	4,32%	0,00%
TOTAL	439,69	100,00%	0,00%

Fonte: Autoria própria (2024).

Utilizando a escala de classes de textura do solo (Figura 3) e analisando que o percentual de solo passante nas peneiras reduz ao atingir a abertura de 2mm, pelo sistema de classificação adotado, quanto a sua granulometria o material da amostra B1 classifica-se como uma areia.

Figura 29 - Curva Granulométrica Amostra B1.



Fonte: Autoria própria (2024).

A partir de análise visual, utilizando a Figura 2 como referência, o solo é avaliado como bem graduado, ou seja, suas partículas menores preenchem os vãos deixados pelas partículas maiores.

O ensaio de teor de umidade seguiu o apresentado no item 3.4.2 e os valores obtidos estão presentes na Tabela 19.

Tabela 19 - Teor de Umidade Amostra B1.

TEOR DE UMIDADE			
Cápsula	10	11	12
Cápsula + Solo Úmido (g)	78,76	78,56	79,65
Cápsula + Solo Seco (g)	78,44	78,10	79,40
M3 - Peso da Cápsula (g)	28,40	28,27	29,03
M1 - Solo Úmido (g)	50,36	50,29	50,62
M2 - Solo Seco (g)	50,04	49,83	50,37
Teor de Umidade (%)	0,64%	0,92%	0,50%

Fonte: Autoria própria (2024).

Calculando a média aritmética dos teores obtidos, de acordo com a normativa, o teor de umidade da amostra seria de 0,69%. O resultado obtido para teor de umidade natural do solo será descartado na análise, pois apresentou um valor que não permite uma avaliação adequada.

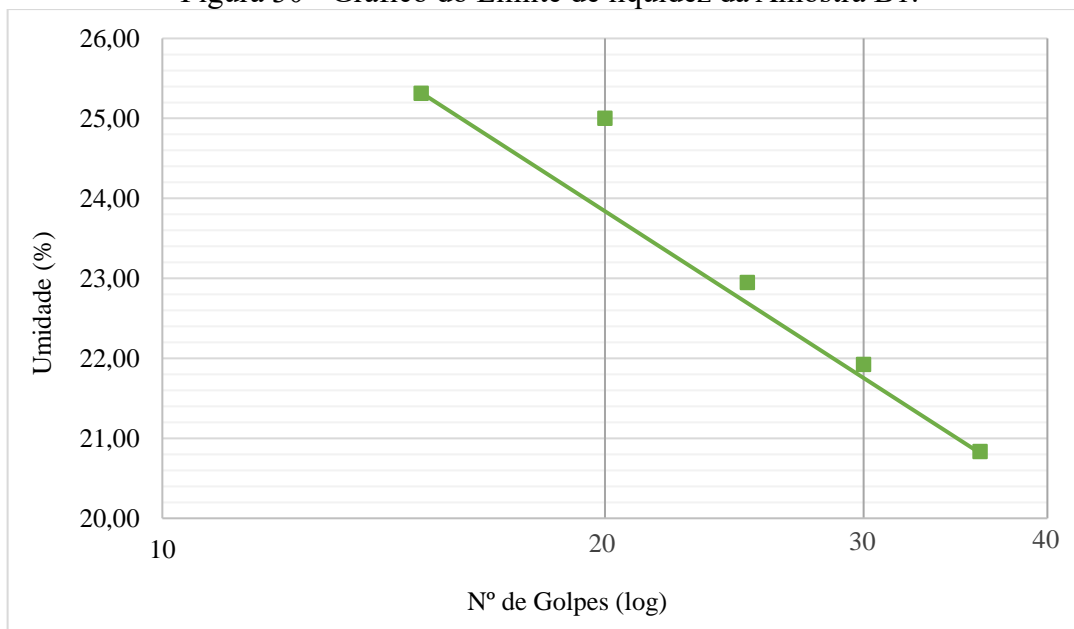
Os limites de liquidez foram determinados conforme o descrito no item 3.6.2. São apresentados os valores obtidos no procedimento na Tabela 20, com o número de golpes e teores de umidade, é traçado o gráfico do limite de liquidez do solo, apresentado na Figura 30.

Tabela 20 - Limites de liquidez da Amostra B1.

LIMITE DE LIQUIDEZ					
Cápsula	16	17	18	19	20
Cápsula + Solo Úmido (g)	14,46	14,07	21,49	15,76	16,50
Cápsula + Solo Seco (g)	13,81	13,5	19,45	14,72	15,49
Peso da Cápsula (g)	10,69	10,90	10,56	10,56	11,50
Peso Água (g)	0,65	0,57	2,04	1,04	1,01
Solo Úmido (g)	3,77	3,17	10,93	5,2	5
Solo Seco (g)	3,12	2,6	8,89	4,16	3,99
Nº de Golpes	36	30	25	20	15
Teor de Umidade (%)	20,83%	21,92%	22,95%	25,00%	25,31%

Fonte: A autoria própria (2024).

Figura 30 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra B1.



Fonte: A autoria própria (2024).

Por definição normativa, NBR 6459, o teor de umidade do solo correspondente a 25 golpes é o limite de liquidez do solo, portanto $LL = 22,95\%$.

O limite de plasticidade da amostra foi obtido conforme descrito no item 3.7.2. A Tabela 21 apresenta os valores de teor de umidade obtidos com o ensaio. O valor da cápsula 23 é desconsiderado devido à divergência com os outros valores. Pela média aritmética, o teor de umidade é igual 20,83%.

Tabela 21 - Limites de plasticidade Amostra B1.

LIMITE DE PLASTICIDADE			
Cápsula	22	23	24
Cápsula + Solo Úmido (g)	10,25	9,85	11,1
Cápsula + Solo Seco (g)	10,02	9,62	10,97
Peso da Cápsula (g)	8,89	8,97	10,36
Peso Água (g)	0,23	0,23	0,13
Solo Úmido (g)	1,36	0,88	0,74
Solo Seco (g)	1,13	0,65	0,61
Teor de Umidade (%)	20,35%	35,38%	21,31%

Fonte: Autoria própria (2024).

O valor obtido para o índice de plasticidade corresponde à 2,1%, obtido por meio da equação 5. Sendo assim, pela Tabela 1 o solo é levemente plástico.

Os valores obtidos no ensaio de densidade real, descrito no item 3.5.2, são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Densidade real da Amostra B1.

DENSIDADE REAL			
Picnômetro	9	11	13
P1 - Peso do picnômetro vazio (g)	64,85	35,86	65,36
P2 - Peso do picnômetro + amostra (g)	75,29	46,11	75,61
t1 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P3 - Peso do picnômetro + amostra + água (g)	167,72	143,58	166,65
t2 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P4 - Peso do picnômetro + água (g)	161,22	137,25	160,16
Densidade Real à Temperatura de ensaio	2,650	2,615	2,726
Fator de Correção (k20)	0,9989	0,9989	0,9989
Densidade Real Corrigida (20°C)	2,647	2,612	2,723
Densidade Real		2,629	

Fonte: Autoria própria (2024).

O valor da densidade real do solo é determinado pela média entre dois dos valores obtidos em ensaio, portanto, foram considerados os valores dos picnômetros 9 e 11, resultando na densidade real igual a 2,629. Com base no que foi apresentado no subtópico 2.3, solos grossos tendem a ter densidade maior, portanto, o valor obtido comprova a classificação pela granulometria de que o solo da amostra se enquadra como uma areia.

Finalizando as análises da primeira etapa, baseia-se a classificação nas informações contidas no Quadro 2. Portanto, o solo se enquadra no grupo A -1a, areia grossa bem graduada, com pouca plasticidade, o grupo inclui os materiais contendo fragmentos de pedra ou pedregulho, com ou sem material fino bem graduado, funcionando como aglutinante.

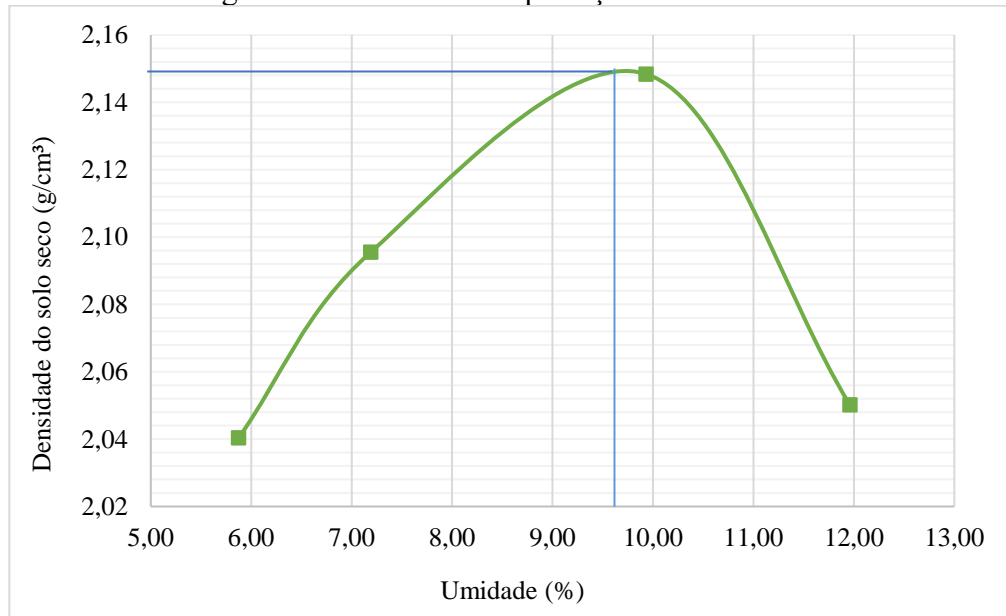
Por classificar-se na primeira etapa como um solo arenoso, foi realizada com a amostra a segunda etapa das análises laboratoriais. Para tal, o ensaio de compactação seguiu o descrito no item 3.9.2. Os resultados são apresentados na Tabela 23 e na Figura 31.

Tabela 23 - Compactação Amostra B1.

COMPACTAÇÃO				
Peso do Cilindro (g)	2337,2	2337,2	2337,2	2337,2
Volume do Cilindro (cm ³)	931,12	931,12	931,12	931,12
Água Acrescentada (g)	150	60	60	60
Mu - Peso do Cilindro + Solo Úmido (g)	4355,6	4439,5	4558,2	4505,5
Peso do Solo Úmido (g)	2018,4	2102,3	2221,0	2168,3
Densidade do Solo Úmido (g/cm ³)	2,17	2,26	2,39	2,33
Densidade do Solo Seco (g/cm ³)	2,04	2,10	2,15	2,05
Determinação da Umidade				
Cápsula	26	27	28	29
Peso da Cápsula (g)	10,38	9,69	10,43	10,77
Peso Cápsula + Solo Úmido (g)	33,45	24,45	27,81	34,36
Peso Cápsula + Solo Seco (g)	32,17	23,46	26,24	31,84
Peso da Água (g)	1,28	0,99	1,57	2,52
Peso do Solo Úmido (g)	23,07	14,76	17,38	23,59
Peso do Solo Seco (g)	21,79	13,77	15,81	21,07
W - Teor de Umidade (%)	5,87	7,19	9,93	11,96
Umidade Adotada (%)	5	7	9	11

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 31 - Curva de compactação Amostra B1.



Fonte: Autoria própria (2024).

A umidade ótima adotada para início de ensaio foi de 10%, portanto, as adições de água iniciaram com 5% e seguiram aumentos de 2% até se atingir redução no valor de Mu.

Graficamente, a umidade ótima do solo (Wot) encontra-se em aproximadamente 9,6%, onde se dá o pico da parábola.

A densidade do solo seco é de 2,08 g/cm³, média aritmética entre os valores apresentados na Tabela 23.

Portanto, com os valores resultantes da análise gráfica e matemática, o solo classifica-se como arenoso, correspondente ao citado o subtópico 2.3 quanto à compactação.

4.5 Amostra B2

A análise granulométrica foi realizada conforme descrito no item 3.8.2. Os resultados são apresentados na Tabela 24 e a representação gráfica da curva granulométrica pode ser observada na Figura 32.

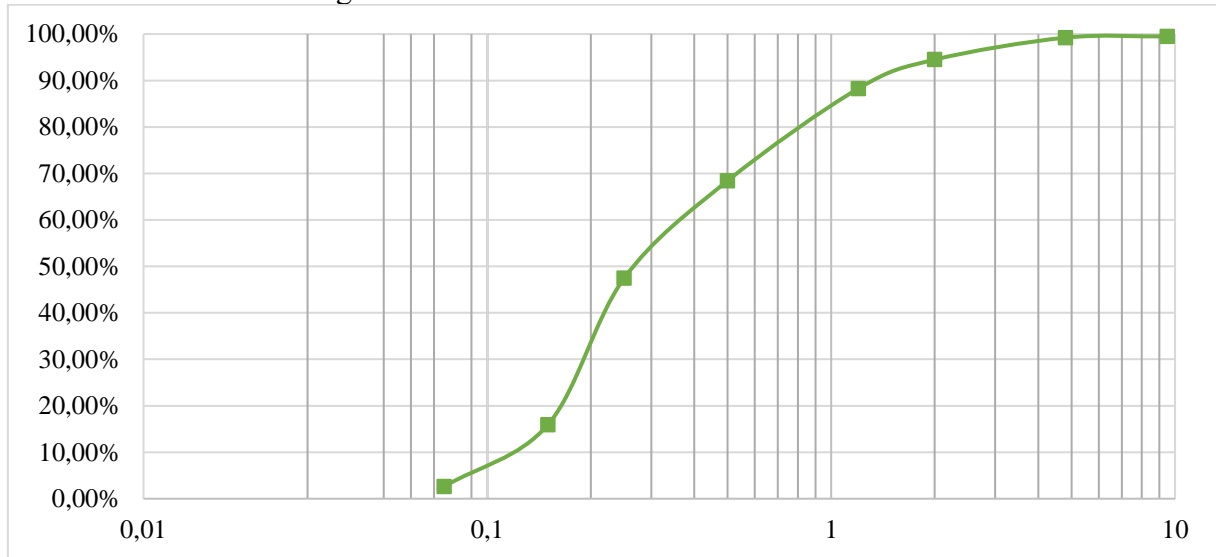
Tabela 24 -Granulometria da Amostra B2.

GRANULOMETRIA			
Abertura das peneiras (mm)	Massa de solo retido (g)	Percentual de solo retido (%)	Percentual de solo passante (%)
9,5	2,50	0,52%	99,48%
4,8	1,26	0,26%	99,22%
2,0	22,77	4,73%	94,49%
1,2	29,95	6,22%	88,27%
0,5	95,57	19,84%	68,43%
0,25	101,02	20,98%	47,45%
0,15	151,85	31,53%	15,92%
0,075	63,94	13,28%	2,64%
Fundo	12,73	2,64%	0,00%
TOTAL	481,59	100,00%	0,00%

Fonte: Autoria própria (2024).

Utilizando a escala de classes de textura do solo (Figura 3) e analisando que o percentual de solo passante nas peneiras reduz ao atingir a abertura de 0,25mm, pelo sistema de classificação adotado, quanto a sua granulometria o material da amostra B2 classifica-se como uma areia fina.

Figura 32 - Curva Granulométrica Amostra B2.



Fonte: Autoria própria (2024).

A partir de análise visual, utilizando a Figura 2 como referência, o solo é avaliado como bem graduado, ou seja, suas partículas menores preenchem os vãos deixados pelas partículas maiores.

O ensaio de teor de umidade seguiu o apresentado no item 3.4.2 e os valores obtidos estão presentes na Tabela 25.

Tabela 25- Teor de Umidade Amostra B2.

TEOR DE UMIDADE			
Cápsula	13	14	15
Cápsula + Solo Úmido (g)	78,86	80,40	81,57
Cápsula + Solo Seco (g)	78,70	80,20	81,45
M3 - Peso da Capsula (g)	28,81	30,37	31,20
M1 - Solo Úmido (g)	50,05	50,03	50,37
M2 - Solo Seco (g)	49,89	49,83	50,25
Teor de Umidade (%)	0,32%	0,40%	0,24%

Fonte: Autoria própria (2024).

Calculando a média aritmética dos teores obtidos, de acordo com a normativa, o teor de umidade da amostra seria de 0,32%. O resultado obtido para teor de umidade natural do solo será descartado na análise, pois apresentou um valor que não permite uma avaliação adequada.

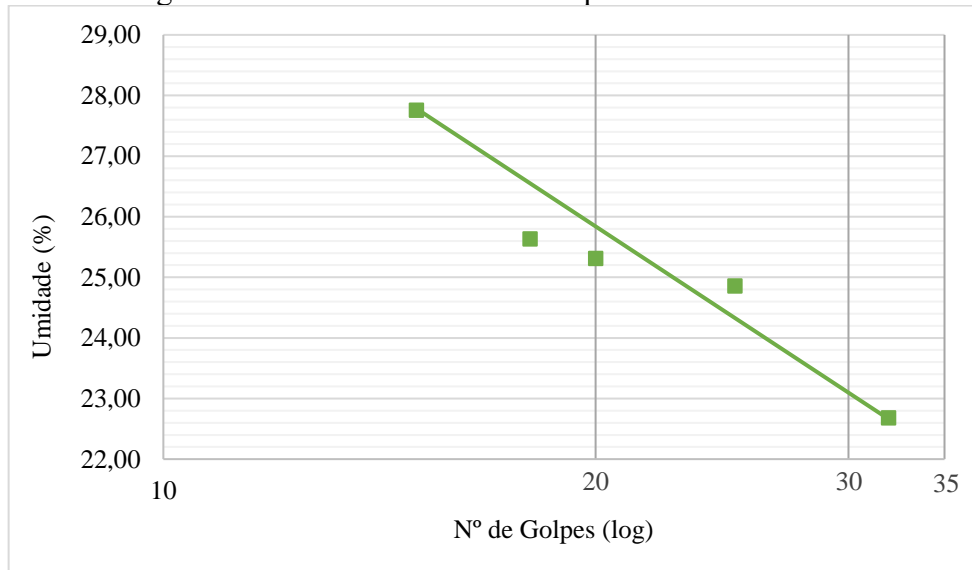
Os limites de liquidez foram determinados conforme o descrito no item 3.6.2. São apresentados os valores obtidos no procedimento na Tabela 26, com o número de golpes e teores de umidade, é traçado o gráfico do limite de liquidez do solo, apresentado na Figura 33.

Tabela 26 - Limites de liquidez Amostra B2.

LIMITE DE LIQUIDEZ					
Cápsula	21	22	23	24	25
Cápsula + Solo Úmido (g)	15,84	17,70	16,50	17,02	23,53
Cápsula + Solo Seco (g)	15,18	16,82	15,49	16,01	21,14
Peso da Cápsula (g)	12,27	13,28	11,50	12,07	12,53
Peso Água (g)	0,66	0,88	1,01	1,01	2,39
Solo Úmido (g)	3,57	4,42	5,00	4,95	11,0
Solo Seco (g)	2,91	3,54	3,99	3,94	8,61
Nº de Golpes	32	25	20	18	15
Teor de Umidade (%)	22,68%	24,86%	25,31%	25,63%	27,76%

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 33 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra B2.



Fonte: Autoria própria (2024).

Por definição normativa, NBR 6459, o teor de umidade do solo correspondente a 25 golpes é o limite de liquidez do solo, portanto $LL = 24,86\%$.

O limite de plasticidade da amostra foi obtido conforme descrito no item 3.7.2. A Tabela 27 apresenta os valores de teor de umidade obtidos com o ensaio. O valor da cápsula 30

é desconsiderado devido à divergência com os outros valores. Pela média aritmética, o teor de umidade é igual 16,40%.

Tabela 27 - Limites de plasticidade Amostra B2.

LIMITE DE PLASTICIDADE			
Cápsula	28	29	30
Cápsula + Solo Úmido (g)	10,65	11,86	11,89
Cápsula + Solo Seco (g)	10,55	11,70	11,66
Peso da Cápsula (g)	9,96	10,69	10,65
Peso Água (g)	0,1	0,16	0,23
Solo Úmido (g)	0,69	1,17	1,24
Solo Seco (g)	0,59	1,01	1,01
Teor de Umidade (%)	16,95%	15,84%	22,77%

Fonte: Autoria própria (2024).

O índice de plasticidade, calculado pela equação 5, corresponde à 8,46%. Sendo assim, pela Tabela 1 o solo é moderadamente plástico.

Os valores obtidos no ensaio de densidade real, descrito no item 3.5.2, são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 - Densidade real da Amostra B2.

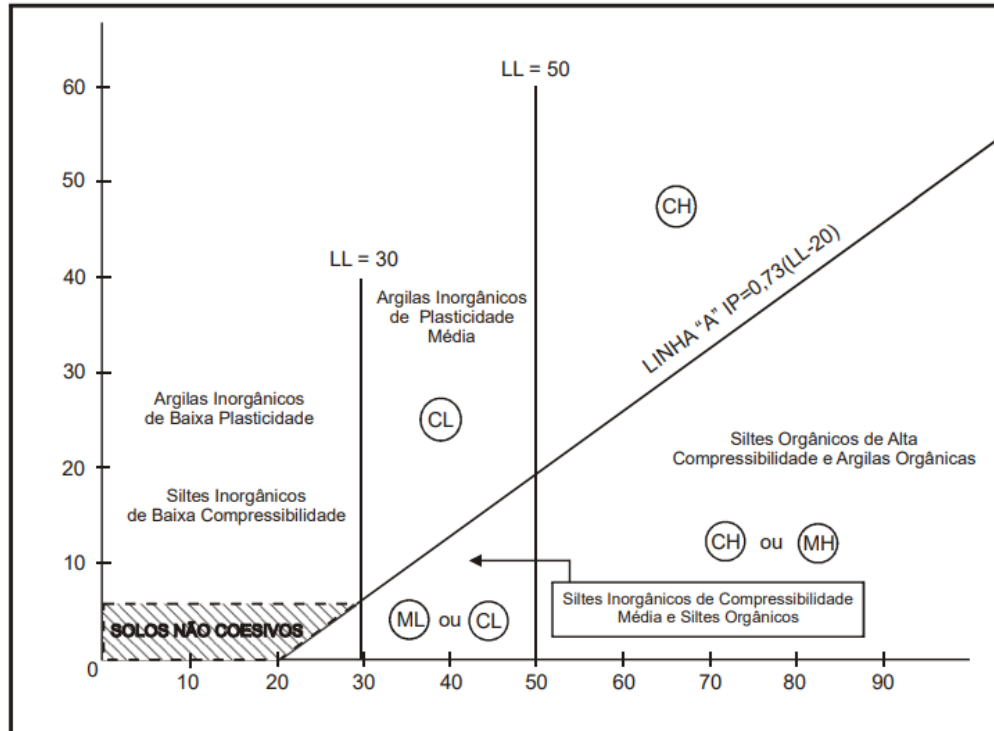
DENSIDADE REAL			
Picnômetro	1	2	3
P1 - Peso do picnômetro vazio (g)	35,24	35,21	34,50
P2 - Peso do picnômetro + amostra (g)	45,64	45,77	44,62
t1 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P3 - Peso do picnômetro + amostra + água (g)	140,63	140,87	138,84
t2 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P4 - Peso do picnômetro + água (g)	134,42	134,84	133,30
Densidade Real à Temperatura de ensaio	2,482	2,331	2,210
Fator de Correção (k20)	0,9989	0,9989	0,9989
Densidade Real Corrigida (20°C)	2,479	2,329	2,207
Densidade Real		2,268	

Fonte: Autoria própria (2024).

O valor da densidade real do solo é determinado pela média entre dois dos valores obtidos em ensaio, portanto, foram considerados os valores dos picnômetros 2 e 3, resultando na densidade real igual a 2,268. A partir de análises visuais quanto ao tipo de solo, entende-se que o valor obtido para a densidade não corresponde ao esperado para o solo, sendo então

descartado no diagnóstico. Finalizando as análises da primeira etapa, baseia-se a classificação nas informações contidas no Quadro 2. Portanto, o solo se enquadra no grupo A-2 e subgrupo A2-4, determinado utilizando o gráfico de plasticidade apresentado na Figura 34.

Figura 34 - Gráfico de plasticidade.



Fonte: DNIT, 2006.

O grupo A-2 classifica os solos com 35% ou menos passando na peneira nº 200 com teor de finos a plasticidade, ou ambos excedendo os limites estabelecidos para os grupos A-1 e A-3. O subgrupo A2-4 abrange os materiais tais como areia fina com silte não plástico excedendo os limites do Grupo A-3. Portanto, o solo classifica-se como areia fina siltosa de baixa compressibilidade. Por conter partículas de silte, o solo foi descartado de análise para a segunda etapa.

4.6 Amostra B3

Análise granulométrica foi realizada conforme descrito no item 3.8.2. Os resultados são apresentados na Tabela 29 e a representação gráfica da curva granulométrica pode ser observada na Figura 35.

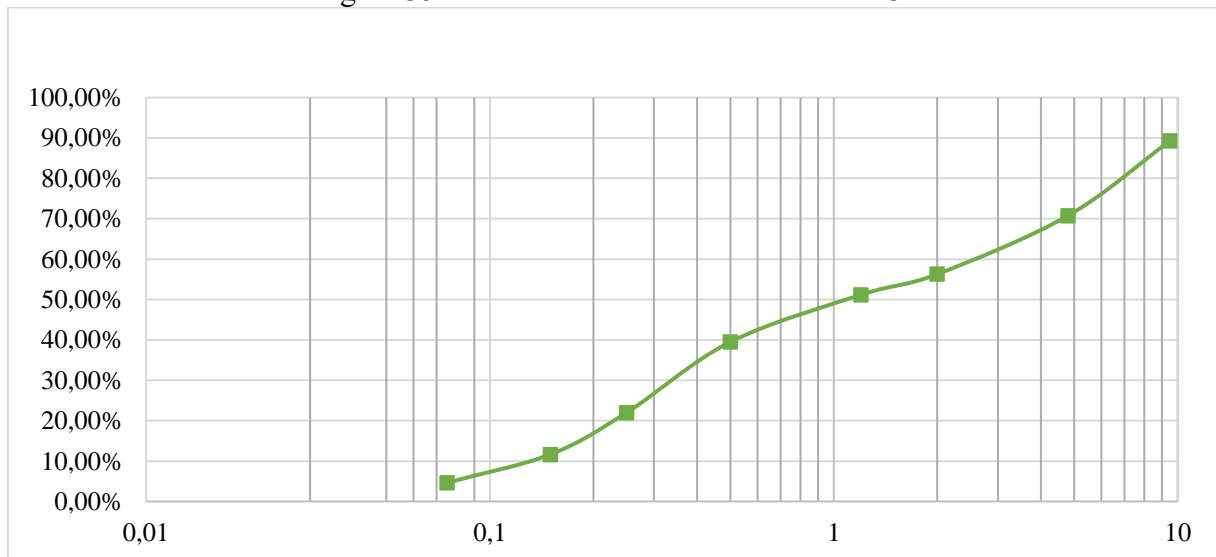
Tabela 29 - Granulometria da Amostra B3.

GRANULOMETRIA			
Abertura das peneiras (mm)	Massa de solo retido (g)	Percentual de solo retido (%)	Percentual de solo passante (%)
9,5	54,72	10,71%	89,29%
4,8	94,65	18,52%	70,77%
2,0	74,02	14,48%	56,29%
1,2	26,16	5,12%	51,17%
0,5	59,65	11,67%	39,50%
0,25	89,30	17,47%	22,02%
0,15	52,93	10,36%	11,66%
0,075	35,91	7,03%	4,64%
Fundo	23,70	4,64%	0,00%
TOTAL	511,04	100,00%	0,00%

Fonte: Autoria própria (2024).

Utilizando a escala de classes de textura do solo (Figura 3) e analisando que o percentual de solo passante nas peneiras reduz ao atingir a abertura de 2mm, pelo sistema de classificação adotado, quanto a sua granulometria o material da amostra B3 classifica-se como uma areia.

Figura 35- Curva Granulométrica Amostra B3.



Fonte: Autoria própria (2024).

A partir de análise visual, utilizando a Figura 2 como referência, o solo é avaliado como bem graduado, ou seja, suas partículas menores preenchem os vãos deixados pelas partículas maiores.

O ensaio de teor de umidade seguiu o apresentado no item 3.4.2 e os valores obtidos estão presentes na Tabela 30.

Tabela 30 - Teor de Umidade Amostra B3.

TEOR DE UMIDADE			
Cápsula	16	17	18
Cápsula + Solo Úmido (g)	79,20	81,57	78,92
Cápsula + Solo Seco (g)	78,63	80,97	78,32
M3 - Peso da Cápsula (g)	28,87	30,92	28,88
M1 - Solo Úmido (g)	50,33	50,65	50,04
M2 - Solo Seco (g)	49,76	50,05	49,44
Teor de Umidade (%)	1,15%	1,20%	1,21%

Fonte: Autoria própria (2024).

Calculando a média aritmética dos teores obtidos, de acordo com a normativa, o teor de umidade da amostra seria de 1,19%. O resultado obtido para teor de umidade natural do solo será descartado na análise, pois apresentou um valor que não permite uma avaliação adequada.

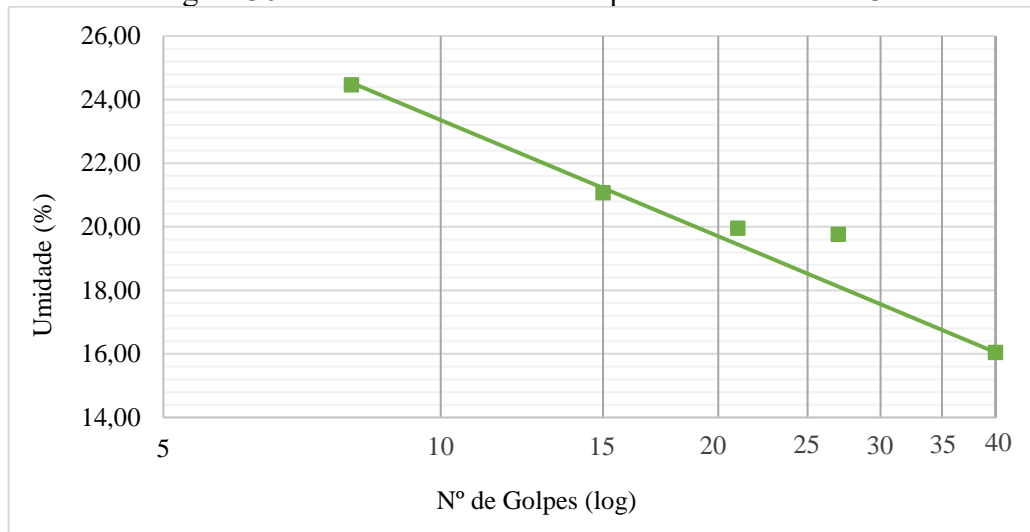
Os limites de liquidez foram determinados conforme o descrito no item 3.6.2. São apresentados os valores obtidos no procedimento na Tabela 31, com o número de golpes e teores de umidade, é traçado o gráfico do limite de liquidez do solo, apresentado na Figura 36.

Tabela 31 - Limites de liquidez da Amostra B3.

LIMITE DE LIQUIDEZ					
Cápsula	26	27	28	29	30
Cápsula + Solo Úmido (g)	14,51	15,08	16,20	15,84	25,33
Cápsula + Solo Seco (g)	13,91	14,27	15,36	15,01	22,37
Peso da Cápsula (g)	10,17	10,17	11,15	11,07	10,27
Peso Água (g)	0,6	0,81	0,84	0,83	2,96
Solo Úmido (g)	4,34	4,91	5,05	4,77	15,06
Solo Seco (g)	3,74	4,1	4,21	3,94	12,1
Nº de Golpes	40	27	21	15	8
Teor de Umidade (%)	16,04%	19,76%	19,95%	21,07%	24,46%

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 36 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra B3.



Fonte: Aatoria própria (2024).

Foi traçada uma linha de tendência polinomial de ordem 3 e a equação obtida foi utilizada para a determinação do limite de liquidez. Utilizando como valor da incógnita de $x = 25$ (número de golpes de referência), obteve-se o valor de $LL = 19,10\%$.

O limite de plasticidade da amostra não pode ser determinado, uma vez que o solo não possuía moldabilidade para atingir espessura de 3mm e comprimento de 1cm, segundo previsto na NBR 7180. A Figura 37 apresenta algumas tentativas de realizar o ensaio. Sendo assim, o solo é não plástico.

Figura 37 - Plasticidade da Amostra B3.



Fonte: Aatoria própria (2024).

Os valores obtidos no ensaio de densidade real, descrito no item 3.5.2, são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32 - Densidade real da Amostra B3.

DENSIDADE REAL			
Picnômetro	4	5	6
P1 - Peso do picnômetro vazio (g)	33,75	34,92	33,44
P2 - Peso do picnômetro + amostra (g)	44,38	45	44,10
t1 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P3 - Peso do picnômetro + amostra + água (g)	139,76	144,95	140,39
t2 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P4 - Peso do picnômetro + água (g)	133,1	138,63	133,87
Densidade Real à Temperatura de ensaio	2,678	2,681	2,575
Fator de Correção (k20)	0,9989	0,9989	0,9989
Densidade Real Corrigida (20°C)	2,675	2,678	2,572
Densidade Real		2,676	

Fonte: Autoria própria (2024).

O valor da densidade real do solo é determinado pela média entre dois dos valores obtidos em ensaio, portanto, foram considerados os valores dos picnômetros 4 e 5, resultando na densidade real igual a 2,676. Com base no que foi apresentado no subtópico 2.3, solos grossos tendem a ter densidade maior, portanto, o valor obtido comprova a classificação pela granulometria de que o solo da amostra se enquadra como uma areia.

Finalizando as análises da primeira etapa, baseia-se a classificação nas informações contidas no Quadro 2. Portanto, o solo se enquadra no grupo A -1b, classificado como areia grossa bem graduada sem plasticidade.

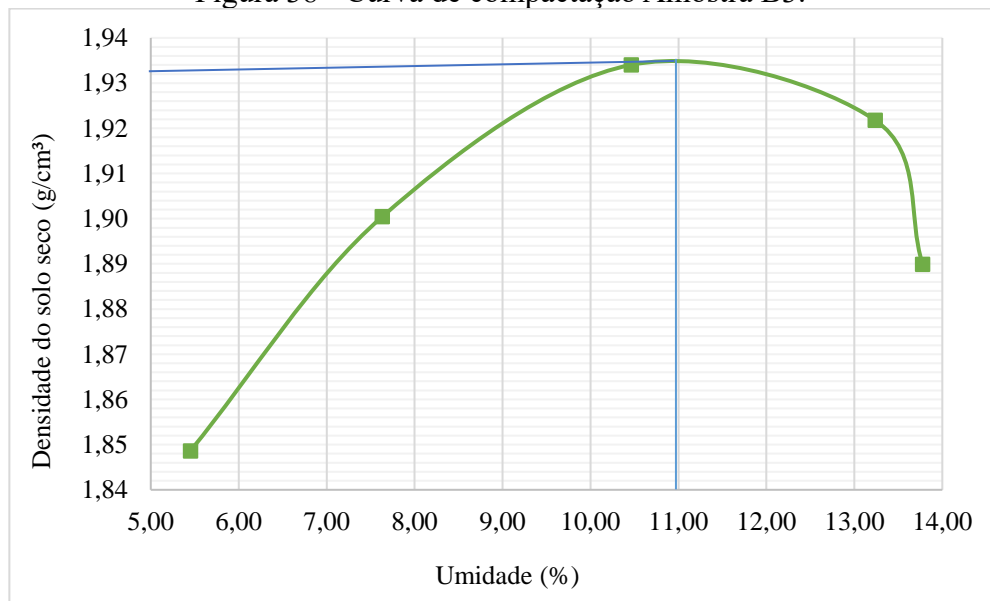
Por classificar-se na primeira etapa como um solo arenoso, foi realizada com a amostra a segunda etapa das análises laboratoriais. Para tal, o ensaio de compactação seguiu o descrito no item 3.9.2. Os resultados são apresentados na Tabela 33 e na Figura 38.

Tabela 33 - Compactação Amostra B3.

COMPACTAÇÃO					
Peso do Cilindro (g)	2337,2	2337,2	2337,2	2337,2	2337,2
Volume do Cilindro (cm ³)	931,12	931,12	931,12	931,12	931,12
Água Acrescentada (g)	150	60	60	60	60
Mu - Peso do Cilindro + Solo Úmido (g)	4157,7	4252,9	4348,5	4399,6	4378,1
Peso do Solo Úmido (g)	1820,5	1915,7	2011,3	2062,4	2040,9
Densidade do Solo Úmido (g/cm ³)	1,96	2,06	2,16	2,21	2,19
Densidade do Solo Seco (g/cm ³)	1,85	1,90	1,93	1,92	1,89
Determinação da Umidade					
Cápsula	31	32	33	34	35
Peso da Cápsula (g)	8,94	10,63	10,56	10,17	10,75
Peso Cápsula + Solo Úmido (g)	26,74	22,76	24,60	34,98	33,71
Peso Cápsula + Solo Seco (g)	25,82	21,9	23,27	32,08	30,93
Peso da Água (g)	0,92	0,86	1,33	2,90	2,78
Peso do Solo Úmido (g)	17,80	12,13	14,04	24,81	22,96
Peso do Solo Seco (g)	16,88	11,27	12,71	21,91	20,18
W - Teor de Umidade (%)	5,45	7,63	10,46	13,24	13,78
Umidade Adotada (%)	5	7	9	11	13

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 38 - Curva de compactação Amostra B3.



Fonte: Autoria própria (2024).

A umidade ótima adotada para início de ensaio foi de 10%, portanto, as adições de água iniciaram com 5% e seguiram aumentos de 2% até se atingir redução no valor de μ . Graficamente, a umidade ótima do solo (W_{ot}) encontra-se em aproximadamente 11%, onde se dá o pico da parábola.

A densidade do solo seco é de $2,08 \text{ g/cm}^3$, média aritmética entre os valores apresentados na Tabela 33.

Portanto, com os valores resultantes da análise gráfica e matemática, o solo classifica-se como arenoso, correspondente ao citado o subtópico 2.3 quanto à compactação.

4.7 Amostra C3

Análise granulométrica foi realizada conforme descrito no item 3.8.2. Os resultados são apresentados na Tabela 34 e a representação gráfica da curva granulométrica pode ser observada na Figura 39.

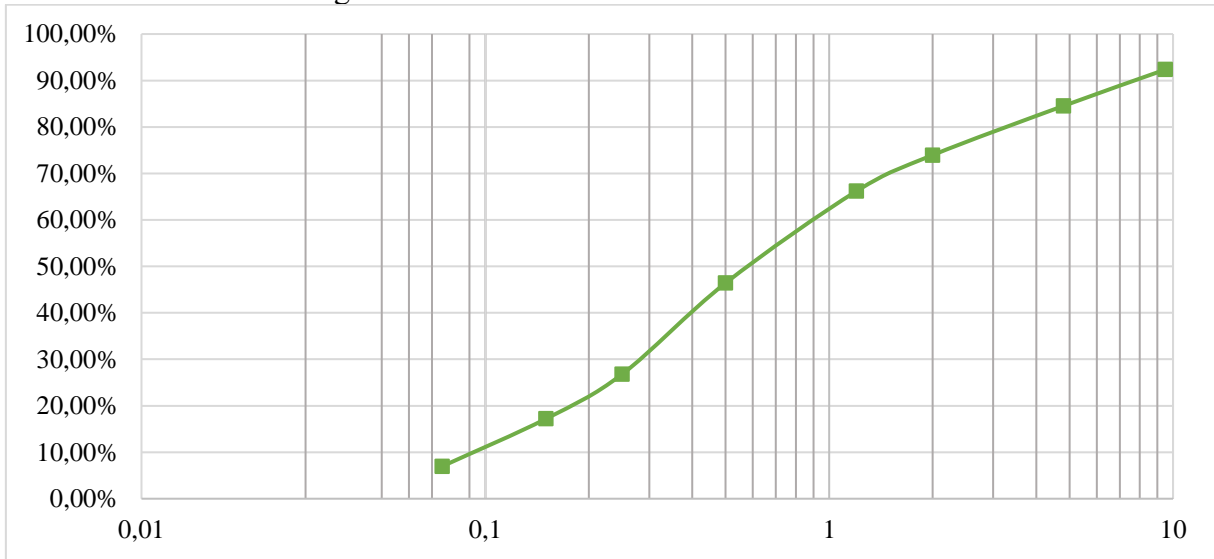
Tabela 34 - Granulometria da Amostra C3.

GRANULOMETRIA			
Abertura das peneiras (mm)	Massa de solo retido (g)	Percentual de solo retido (%)	Percentual de solo passante (%)
9,5	36,93	7,65%	92,35%
4,8	37,78	7,83%	84,53%
2,0	51,08	10,58%	73,94%
1,2	37,51	7,77%	66,18%
0,5	95,36	19,75%	46,42%
0,25	94,74	19,62%	26,80%
0,15	46,35	9,60%	17,20%
0,075	49,29	10,21%	6,99%
Fundo	33,74	6,99%	0,00%
TOTAL	482,78	100,00%	0,00%

Fonte: Autoria própria (2024).

Utilizando a escala de classes de textura do solo (Figura 3) e analisando que o percentual de solo passante nas peneiras reduz ao atingir a abertura de 0,5mm, pelo sistema de classificação adotado, quanto a sua granulometria o material da amostra C3 classifica-se como uma areia.

Figura 39 - Curva Granulométrica Amostra C3.



Fonte: Autoria própria (2024).

A partir de análise visual, utilizando a Figura 2 como referência, o solo é avaliado como bem graduado, ou seja, suas partículas menores preenchem os vãos deixados pelas partículas maiores.

O ensaio de teor de umidade seguiu o apresentado no item 3.4.2 e os valores obtidos estão presentes na Tabela 35.

Tabela 35 - Teor de Umidade Amostra C3.

TEOR DE UMIDADE			
Cápsula	19	20	21
Cápsula + Solo Úmido (g)	81,68	79,47	80,31
Cápsula + Solo Seco (g)	81,03	78,74	79,63
M3 - Peso da Cápsula (g)	31,36	29,37	29,72
M1 - Solo Úmido (g)	50,32	50,10	50,59
M2 - Solo Seco (g)	49,67	49,37	49,91
Teor de Umidade (%)	1,31%	1,48%	1,36%

Fonte: Autoria própria (2024).

Calculando a média aritmética dos teores obtidos, de acordo com a normativa, o teor de umidade da amostra seria de 1,38%. O resultado obtido para teor de umidade natural do solo será descartado na análise, pois apresentou um valor que não permite uma avaliação adequada.

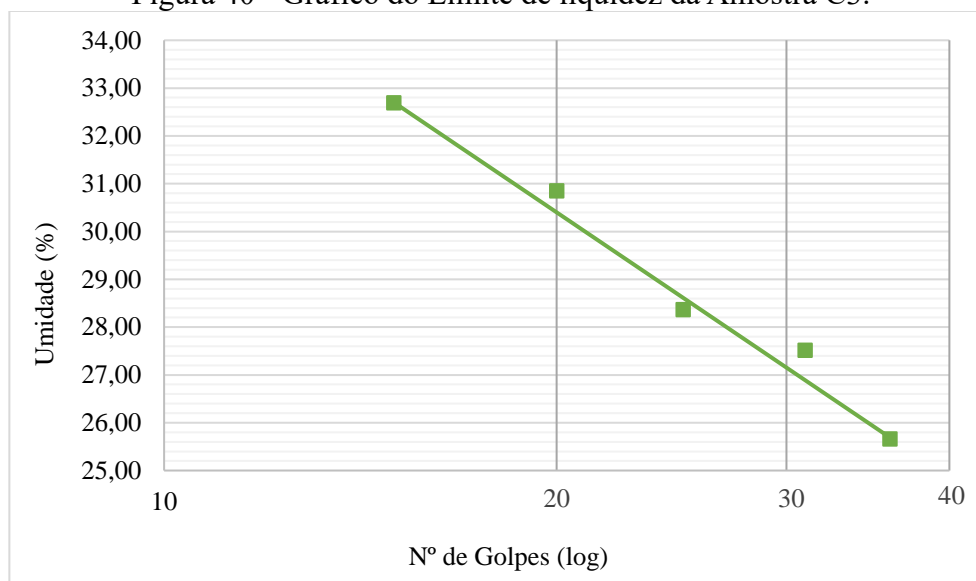
Os limites de liquidez foram determinados conforme o descrito no item 3.6.2. São apresentados os valores obtidos no procedimento na Tabela 36, com o número de golpes e teores de umidade, é traçado o gráfico do limite de liquidez do solo, apresentado na Figura 40.

Tabela 36 - Limites de liquidez da Amostra C3.

LIMITE DE LIQUIDEZ					
Cápsula	31	32	33	34	35
Cápsula + Solo Úmido (g)	15,06	23,01	16,41	15,81	15,84
Cápsula + Solo Seco (g)	14,18	20,93	15,25	14,61	14,32
Peso da Cápsula (g)	10,75	13,37	11,16	10,72	9,67
Peso Água (g)	0,88	2,08	1,16	1,2	1,52
Solo Úmido (g)	4,31	9,64	5,25	5,09	6,17
Solo Seco (g)	3,43	7,56	4,09	3,89	4,65
Nº de Golpes	36	31	25	20	15
Teor de Umidade (%)	25,66%	27,51%	28,36%	30,85%	32,69%

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 40 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra C3.



Fonte: Autoria própria (2024).

Por definição normativa, NBR 6459, o teor de umidade do solo correspondente a 25 golpes é o limite de liquidez do solo, portanto $LL = 28,36\%$.

O limite de plasticidade da amostra foi obtido conforme descrito no item 3.7.2. A Tabela 37 apresenta os valores de teor de umidade obtidos com o ensaio. O valor da cápsula 41

é desconsiderado devido a divergência com os outros valores. Pela média aritmética, o teor de umidade é igual 34,64%.

Tabela 37 - Limites de plasticidade Amostra C3.

LIMITE DE PLASTICIDADE			
Cápsula	40	41	42
Cápsula + Solo Úmido (g)	11,61	11,82	11,27
Cápsula + Solo Seco (g)	11,41	11,62	11,02
Peso da Cápsula (g)	10,86	10,88	10,26
Peso Água (g)	0,2	0,2	0,25
Solo Úmido (g)	0,75	0,94	1,01
Solo Seco (g)	0,55	0,74	0,76
Teor de Umidade (%)	36,36%	27,03%	32,89%

Fonte: Autoria própria (2024).

O índice de plasticidade, calculado pela equação 7, corresponde à 6,27%. Sendo assim, pela Tabela 1 o solo é levemente plástico.

Os valores obtidos no ensaio de densidade real, descrito no item 3.5.2, são apresentados na Tabela 38.

Tabela 38 - Densidade real da Amostra C3.

DENSIDADE REAL			
Picnômetro	8	10	12
P1 - Peso do picnômetro vazio (g)	68,12	35,06	36,31
P2 - Peso do picnômetro + amostra (g)	78,78	45,22	46,40
t1 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P3 - Peso do picnômetro + amostra + água (g)	168,41	141,43	141,77
t2 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P4 - Peso do picnômetro + água (g)	161,40	135,12	135,57
Densidade Real à Temperatura de ensaio	2,921	2,639	2,594
Fator de Correção (k20)	0,9989	0,9989	0,9989
Densidade Real Corrigida (20°C)	2,917	2,636	2,591
Densidade Real		2,614	

Fonte: Autoria própria (2024).

O valor da densidade real do solo é determinado pela média entre dois dos valores obtidos em ensaio, portanto, foram considerados os valores dos picnômetros 10 e 12, resultando na densidade real igual a 2,614. Com base no que foi apresentado no subtópico 2.3, solos

grossos tendem a ter densidade maior, portanto, o valor obtido comprova a classificação pela granulometria de que o solo da amostra se enquadra como uma areia.

Finalizando as análises da primeira etapa, baseia-se a classificação nas informações contidas no Quadro 2. Portanto, o solo se enquadra no grupo A-3, o material típico do grupo é areia fina sem silte ou argila, ou possuindo pequena quantidade de silte não plástico. Inclui também misturas de areia fina mal graduada e quantidades limitadas de areia grossa e pedregulho depositados pelas correntes.

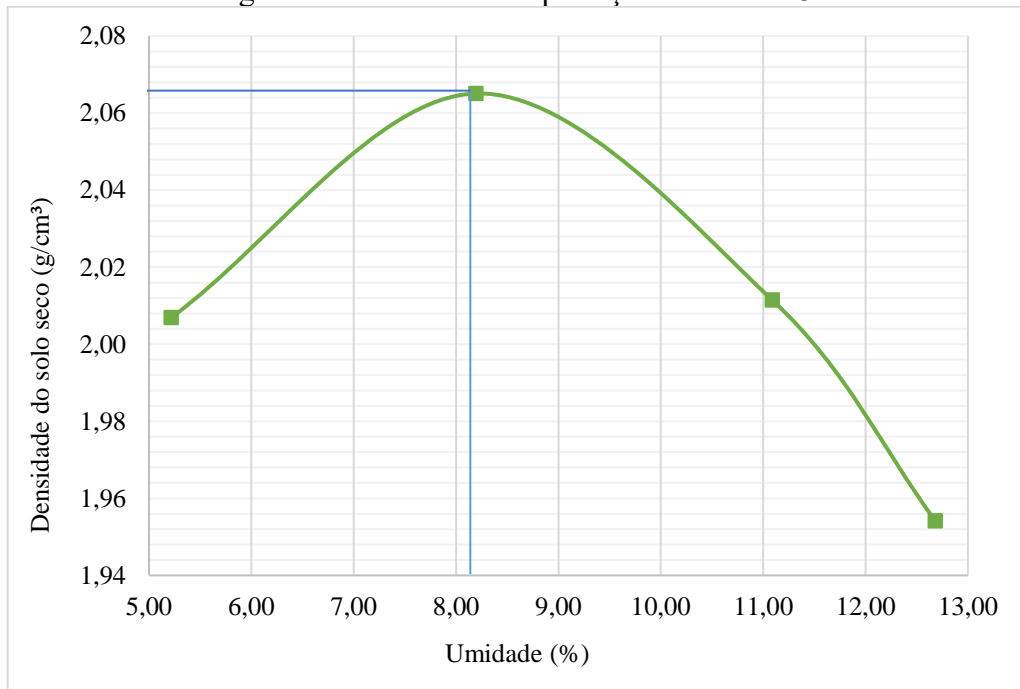
Por classificar-se na primeira etapa como um solo arenoso, foi realizada com a amostra a segunda etapa das análises laboratoriais. Para tal, o ensaio de compactação seguiu o descrito no item 3.9.2. Os resultados são apresentados na Tabela 39 e na Figura 41.

Tabela 39 - Compactação Amostra C3.

COMPACTAÇÃO				
Peso do Cilindro (g)	2337,2	2337,2	2337,2	2337,2
Volume do Cilindro (cm ³)	931,12	931,12	931,12	931,12
Água Acrescentada (g)	150	60	60	60
Mu - Peso do Cilindro + Solo Úmido (g)	4308,8	4431,7	4443,7	4421,0
Peso do Solo Úmido (g)	1971,6	2094,5	2106,5	2083,8
Densidade do Solo Úmido (g/cm ³)	2,12	2,25	2,26	2,24
Densidade do Solo Seco (g/cm ³)	2,01	2,07	2,01	1,95
Determinação da Umidade				
Cápsula	17	18	19	20
Peso da Cápsula (g)	10,2	10,94	9,98	12,13
Peso Cápsula + Solo Úmido (g)	23,91	24,01	26,41	31,41
Peso Cápsula + Solo Seco (g)	23,23	23,02	24,77	29,24
Peso da Água (g)	0,68	0,99	1,64	2,17
Peso do Solo Úmido (g)	13,71	13,07	16,43	19,28
Peso do Solo Seco (g)	13,03	12,08	14,79	17,11
W - Teor de Umidade (%)	5,22	8,20	11,09	12,68
Umidade Adotada (%)	5	7	9	11

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 41 - Curva de compactação Amostra C3.



Fonte: Autoria própria (2024).

A umidade ótima adotada para início de ensaio foi de 10%, portanto, as adições de água iniciaram com 5% e seguiram aumentos de 2% até se atingir redução no valor de μ . Graficamente, a umidade ótima do solo (W_{ot}) encontra-se em aproximadamente 8,1%, onde se dá o pico da parábola.

A densidade do solo seco é de 2,01 g/cm³, média aritmética entre os valores apresentados na Tabela 39.

Portanto, com os valores resultantes da análise gráfica e matemática, o solo classifica-se como arenoso, correspondente ao citado o subtópico 2.3 quanto a compactação.

4.8 Amostra D2

Análise granulométrica foi realizada conforme descrito no item 3.8.2. Os resultados são apresentados na Tabela 40 e a representação gráfica da curva granulométrica pode ser observada na Figura 42.

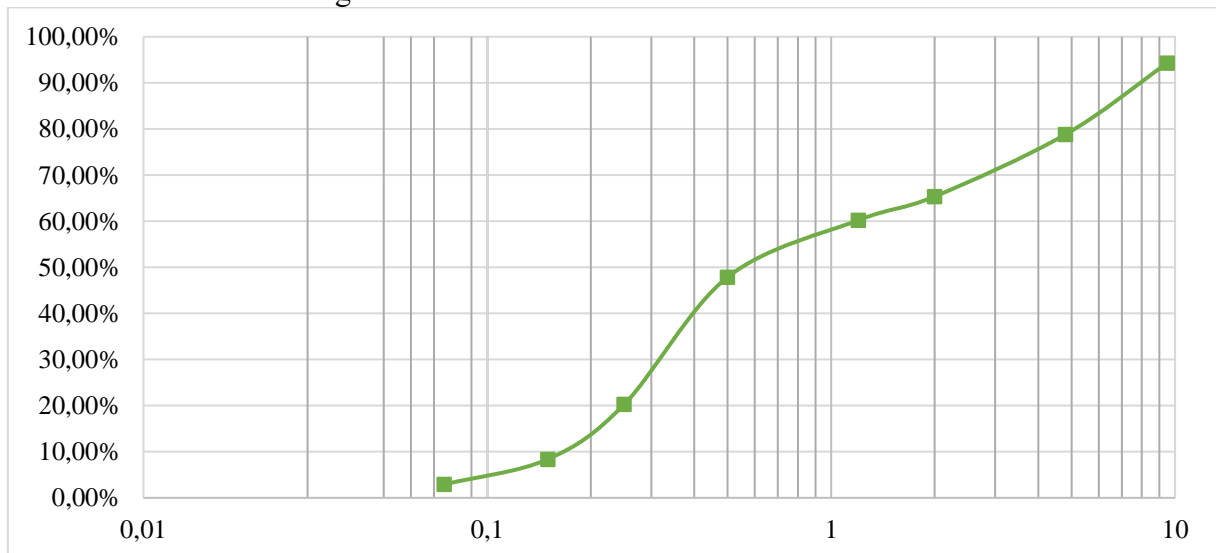
Tabela 40- Granulometria da Amostra D2.

GRANULOMETRIA			
Abertura das peneiras (mm)	Massa de solo retido (g)	Percentual de solo retido (%)	Percentual de solo passante (%)
9,5	27,33	5,70%	94,30%
4,8	74,36	15,50%	78,81%
2,0	64,51	13,44%	65,36%
1,2	24,69	5,15%	60,22%
0,5	59,14	12,32%	47,89%
0,25	132,57	27,63%	20,27%
0,15	57,01	11,88%	8,38%
0,075	26,26	5,47%	2,91%
Fundo	13,97	2,91%	0,00%
TOTAL	479,84	100,00%	0,00%

Fonte: Autoria própria (2024).

Utilizando a escala de classes de textura do solo (Figura 3) e analisando que o percentual de solo passante nas peneiras reduz ao atingir a abertura de 0,5mm, pelo sistema de classificação adotado, quanto a sua granulometria o material da amostra D2 classifica-se como uma areia.

Figura 42 - Curva Granulométrica Amostra D2.



Fonte: Autoria própria (2024).

A partir de análise visual, utilizando a Figura 2 como referência, o solo é avaliado como bem graduado, ou seja, suas partículas menores preenchem os vãos deixados pelas partículas maiores.

O ensaio de teor de umidade seguiu o apresentado no item 3.4.2 e os valores obtidos estão presentes na Tabela 41.

Tabela 41 - Teor de Umidade Amostra D2.

TEOR DE UMIDADE			
Cápsula	25	26	27
Cápsula + Solo Úmido (g)	79,98	80,77	79,43
Cápsula + Solo Seco (g)	79,66	80,40	79,20
M3 - Peso da Cápsula (g)	29,75	30,33	29,03
M1 - Solo Úmido (g)	50,23	50,44	50,40
M2 - Solo Seco (g)	49,91	50,07	50,17
Teor de Umidade (%)	0,64%	0,74%	0,46%

Fonte: Autoria própria (2024).

Calculando a média aritmética dos teores obtidos, descartando o valor da cápsula 27 para os cálculos devido sua variação com os demais, de acordo com a normativa, o teor de umidade da amostra seria de 0,69%. O resultado obtido para teor de umidade natural do solo será descartado na análise, pois apresentou um valor que não permite uma avaliação adequada.

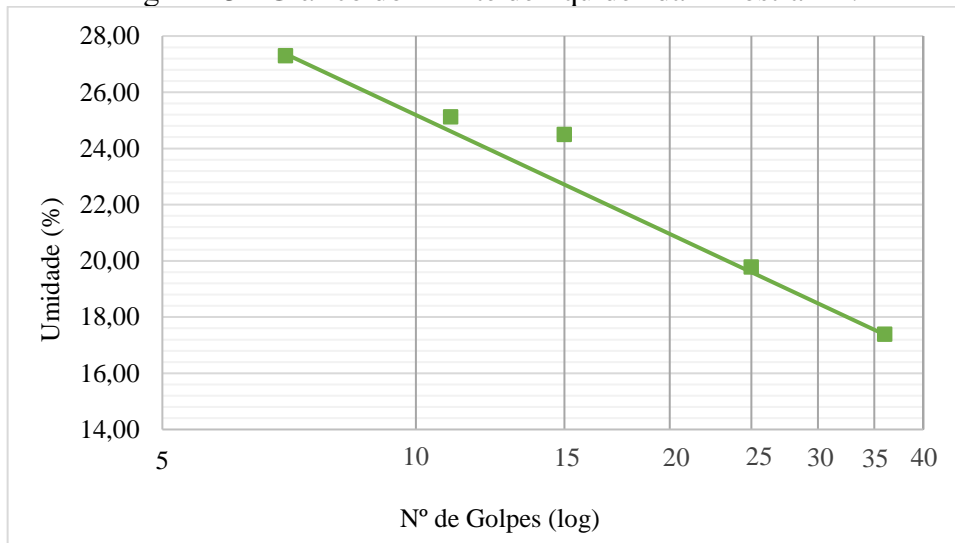
Os limites de liquidez foram determinados conforme o descrito no item 3.6.2. São apresentados os valores obtidos no procedimento na Tabela 42, com o número de golpes e teores de umidade, é traçado o gráfico do limite de liquidez do solo, apresentado na Figura 43.

Tabela 42 - Limites de liquidez da Amostra D2.

LIMITE DE LIQUIDEZ					
Cápsula	36	37	38	39	40
Cápsula + Solo Úmido (g)	17,76	16,48	26,55	23,66	16,24
Cápsula + Solo Seco (g)	16,75	15,59	23,85	21,09	15,02
Peso da Cápsula (g)	10,94	11,09	12,83	10,86	10,55
Peso Água (g)	1,01	0,89	2,7	2,57	1,89
Solo Úmido (g)	6,82	5,39	13,72	12,8	5,69
Solo Seco (g)	5,81	4,5	11,02	10,23	4,47
Nº de Golpes	36	25	15	11	7
Teor de Umidade (%)	17,38%	19,78%	24,50%	25,12%	27,29%

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 43 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra D2.



Fonte: Autoria própria (2024).

Por definição normativa, NBR 6459, o teor de umidade do solo correspondente a 25 golpes é o limite de liquidez do solo, portanto $LL = 19,78\%$.

O limite de plasticidade da amostra não pode ser determinado, uma vez que o solo não possuía moldabilidade para atingir espessura de 3mm e comprimento de 1cm, segundo previsto na NBR 7180. A Figura 44 apresenta algumas tentativas de realizar o ensaio. Sendo assim, o solo é não plástico.

Figura 44 - Plasticidade da Amostra D2.



Fonte: Autoria própria (2024).

Os valores obtidos no ensaio de densidade real, descrito no item 3.5.2, são apresentados na Tabela 43.

Tabela 43 - Densidade real da Amostra D2.

DENSIDADE REAL			
Picnômetro	9	11	13
P1 - Peso do picnômetro vazio (g)	64,85	35,86	65,36
P2 - Peso do picnômetro + amostra (g)	75,20	45,95	75,39
t1 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P3 - Peso do picnômetro + amostra + água (g)	167,66	143,53	166,34
t2 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P4 - Peso do picnômetro + água (g)	161,22	137,25	160,16
Densidade Real à Temperatura de ensaio	2,647	2,648	2,605
Fator de Correção (k20)	0,9989	0,9989	0,9989
Densidade Real Corrigida (20°C)	2,644	2,645	2,602
Densidade Real		2,645	

Fonte: Autoria própria (2024).

O valor da densidade real do solo é determinado pela média entre dois dos valores obtidos em ensaio, portanto, foram considerados os valores dos picnômetros 9 e 11, resultando na densidade real igual a 2,645. Com base no que foi apresentado no subtópico 2.3, solos grossos tendem a ter densidade maior, portanto, o valor obtido comprova a classificação pela granulometria de que o solo da amostra se enquadra como uma areia.

Finalizando as análises da primeira etapa, baseia-se a classificação nas informações contidas no Quadro 2. Portanto, o solo se enquadra no grupo A -1b, classificado como areia grossa bem graduada sem plasticidade.

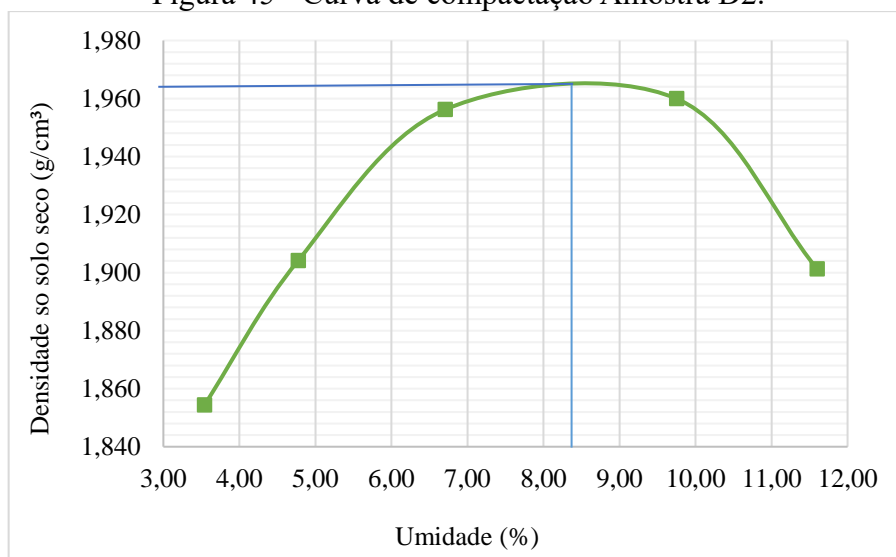
Por classificar-se na primeira etapa como um solo arenoso, foi realizada com a amostra a segunda etapa das análises laboratoriais. Para tal, o ensaio de compactação seguiu o descrito no item 3.9.2. Os resultados são apresentados na Tabela 44 e na Figura 45.

Tabela 44 - Compactação Amostra D2.

COMPACTAÇÃO					
Peso do Cilindro (g)	2337,2	2337,2	2337,2	2337,2	2337,2
Volume do Cilindro (cm ³)	931,12	931,12	931,12	931,12	931,12
Água Acrescentada (g)	90	60	60	60	60
Mu - Peso do Cilindro + Solo Úmido (g)	4127,2	4199,1	4289,6	4359,3	4339,8
Peso do Solo Úmido (g)	1790,0	1861,9	1952,4	2022,1	2002,6
Densidade do Solo Úmido (g/cm ³)	1,92	2,00	2,10	2,17	2,15
Densidade do Solo Seco (g/cm ³)	1,85	1,90	1,96	1,96	1,90
Determinação da Umidade					
Cápsula	21	22	23	24	25
Peso da Cápsula (g)	10,83	10,98	10,96	11,22	10,97
Peso Cápsula + Solo Úmido (g)	35,40	27,66	30,37	30,13	35,02
Peso Cápsula + Solo Seco (g)	34,56	26,9	29,15	28,45	32,52
Peso da Água (g)	0,84	0,76	1,22	1,68	2,50
Peso do Solo Úmido (g)	24,57	16,68	19,41	18,91	24,05
Peso do Solo Seco (g)	23,73	15,92	18,19	17,23	21,55
W - Teor de Umidade (%)	3,54	4,77	6,71	9,75	11,60
Umidade Adotada (%)	3	5	7	9	11

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 45 - Curva de compactação Amostra D2.



Fonte: Autoria própria (2024).

A umidade ótima adotada para início de ensaio foi de 10%, portanto, as adições de água iniciaram com 5% e seguiram aumentos de 2% até se atingir redução no valor de μ . Graficamente, a umidade ótima do solo (Wot) encontra-se em aproximadamente 8,4%, onde se dá o pico da parábola.

A densidade do solo seco é de $1,92 \text{ g/cm}^3$, média aritmética entre os valores apresentados na Figura 45.

Portanto, com os valores resultantes da análise gráfica e matemática, o solo classifica-se como arenoso, correspondente ao citado o subtópico 2.3 quanto a compactação.

4.9 Amostra D3

Análise granulométrica foi realizada conforme descrito no item 3.8.2. Os resultados são apresentados na Tabela 45 e a representação gráfica da curva granulométrica pode ser observada na Figura 46.

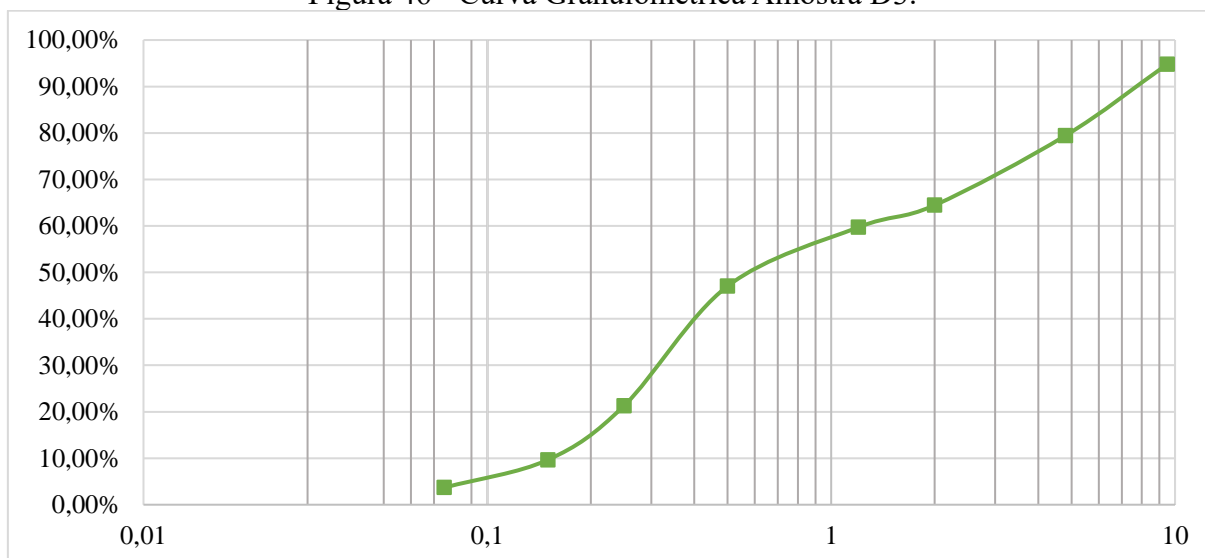
Tabela 45 - Granulometria da Amostra D3.

GRANULOMETRIA			
Abertura das peneiras (mm)	Massa de solo retido (g)	Percentual de solo retido (%)	Percentual de solo passante (%)
9,5	25,90	5,18%	94,82%
4,8	76,87	15,39%	79,43%
2,0	74,80	14,97%	64,45%
1,2	23,70	4,74%	59,71%
0,5	63,20	12,65%	47,06%
0,25	128,60	25,74%	21,31%
0,15	58,20	11,65%	9,66%
0,075	29,86	5,98%	3,68%
Fundo	18,4	3,68%	0,00%
TOTAL	499,53	100,00%	0,00%

Fonte: Autoria própria (2024).

Utilizando a escala de classes de textura do solo (Figura 3) e analisando que o percentual de solo passante nas peneiras reduz ao atingir a abertura de 0,25mm, pelo sistema de classificação adotado, quanto a sua granulometria o material da amostra D3 classifica-se como uma areia fina.

Figura 46 - Curva Granulométrica Amostra D3.



A partir de análise visual, utilizando a Figura 2 como referência, o solo é avaliado como bem graduado, ou seja, suas partículas menores preenchem os vãos deixados pelas partículas maiores.

O ensaio de teor de umidade seguiu o apresentado no item 3.4.2 e os valores obtidos estão presentes na Tabela 46.

Tabela 46 - Teor de Umidade Amostra D3.

TEOR DE UMIDADE			
Cápsula	28	29	30
Cápsula + Solo Úmido (g)	78,63	80,62	79,04
Cápsula + Solo Seco (g)	78,13	80,23	78,75
M3 - Peso da Cápsula (g)	28,15	30,23	28,81
M1 - Solo Úmido (g)	50,48	50,39	50,23
M2 - Solo Seco (g)	49,98	50	49,94
Teor de Umidade (%)	1,00%	0,78%	0,58%

Fonte: Autoria própria (2024).

Calculando a média aritmética dos teores obtidos, descartando o valor da cápsula 28 para os cálculos devido sua variação com os demais, de acordo com a normativa, o teor de umidade da amostra seria de 0,68%. O resultado obtido para teor de umidade natural do solo será descartado na análise, pois apresentou um valor que não permite uma avaliação adequada.

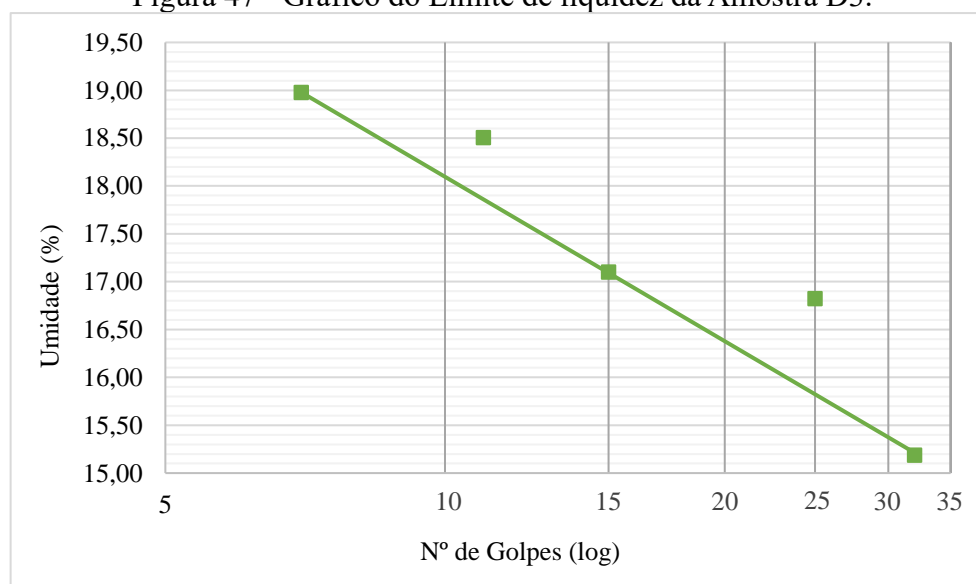
Os limites de liquidez foram determinados conforme o descrito no item 3.6.2. São apresentados os valores obtidos no procedimento na Tabela 47, com o número de golpes e teores de umidade, é traçado o gráfico do limite de liquidez do solo, apresentado na Figura 47.

Tabela 47 - Limites de liquidez da Amostra D3.

LIMITE DE LIQUIDEZ					
Cápsula	41	42	43	44	45
Cápsula + Solo Úmido (g)	15,49	18,45	16,71	14,58	17,29
Cápsula + Solo Seco (g)	14,89	17,39	15,79	13,96	16,25
Peso da Cápsula (g)	10,94	11,09	10,41	10,61	10,77
Peso Água (g)	0,6	1,06	0,92	0,62	1,04
Solo Úmido (g)	4,55	7,36	6,3	3,97	6,52
Solo Seco (g)	3,95	6,3	5,38	3,35	5,48
Nº de Golpes	32	25	15	11	7
Teor de Umidade (%)	15,19%	16,83%	17,10%	18,51%	18,98%

Fonte: Aatoria própria (2024).

Figura 47 - Gráfico do Limite de liquidez da Amostra D3.



Fonte: Aatoria própria (2024).

Por definição normativa, NBR 6459, o teor de umidade do solo correspondente a 25 golpes é o limite de liquidez do solo, portanto $LL = 16,83\%$.

O limite de plasticidade da amostra não pode ser determinado, uma vez que o solo não possuía moldabilidade para atingir espessura de 3mm e comprimento de 1cm, segundo previsto na NBR 7180. A Figura 48 apresenta algumas tentativas de realizar o ensaio. Sendo assim, o solo é não plástico.

Figura 48 - Plasticidade da Amostra D3.



Fonte: Autoria própria (2024).

Os valores obtidos no ensaio de densidade real, descrito no item 3.5.2, são apresentados na Tabela 48.

Tabela 48 - Densidade real da Amostra D3.

DENSIDADE REAL			
Picnômetro	4	5	6
P1 - Peso do picnômetro vazio (g)	33,75	34,92	33,44
P2 - Peso do picnômetro + amostra (g)	43,83	45,41	43,75
t1 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P3 - Peso do picnômetro + amostra + água (g)	139,32	145,09	140,33
t2 - Temperatura do banho (°C)	25	25	25
P4 - Peso do picnômetro + água (g)	133,1	138,63	133,87
Densidade Real à Temperatura de ensaio	2,611	2,603	2,678
Fator de Correção (k20)	0,9989	0,9989	0,9989
Densidade Real Corrigida (20°C)	2,609	2,600	2,675
Densidade Real		2,604	

Fonte: Autoria própria (2024).

O valor da densidade real do solo é determinado pela média entre dois dos valores obtidos em ensaio, portanto, foram considerados os valores dos picnômetros 4 e 5, resultando na densidade real igual a 2,604. Com base no que foi apresentado no subtópico 2.3, solos grossos tendem a ter densidade maior, portanto, o valor obtido comprova a classificação pela granulometria de que o solo da amostra se enquadra como uma areia.

Finalizando as análises da primeira etapa, baseia-se a classificação nas informações contidas no Quadro 2. Portanto, o solo se enquadra no grupo A -1b, classificado como areia grossa bem graduada sem plasticidade.

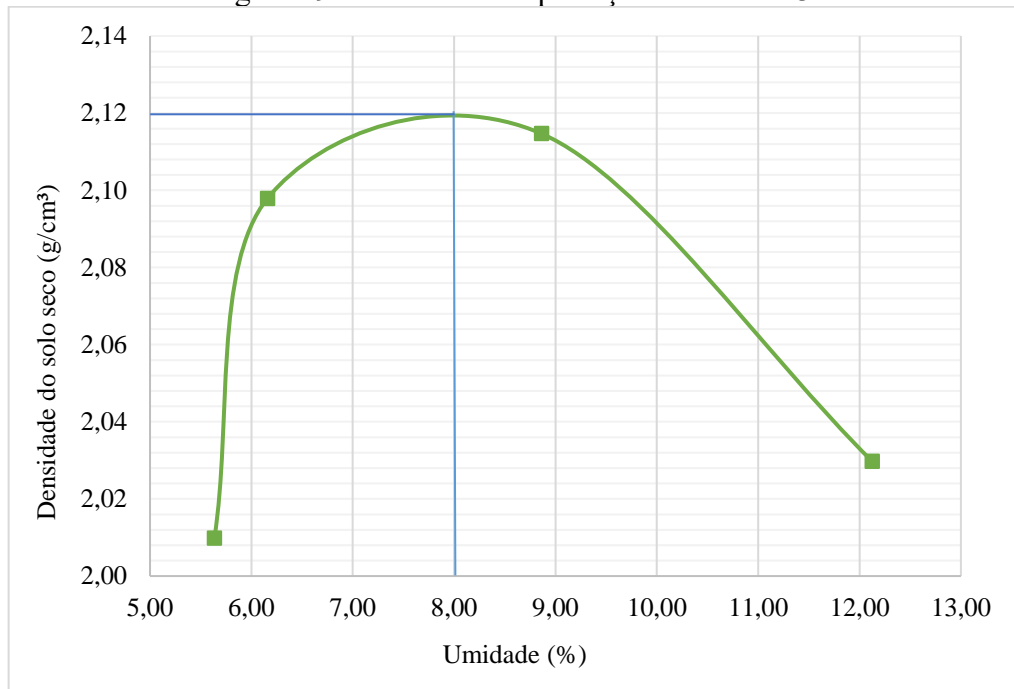
Por classificar-se na primeira etapa como um solo arenoso, foi realizada com a amostra a segunda etapa das análises laboratoriais. Para tal, o ensaio de compactação seguiu o descrito no item 3.9.2. Os resultados são apresentados na Tabela 49 e na Figura 49.

Tabela 49 - Compactação Amostra D3.

COMPACTAÇÃO				
Peso do Cilindro (g)	2337,2	2337,2	2337,2	2337,2
Volume do Cilindro (cm ³)	931,12	931,12	931,12	931,12
Água Acrescentada (g)	150	60	60	60
Mu - Peso do Cilindro + Solo Úmido (g)	4320,3	4418,8	4497,7	4487,9
Peso do Solo Úmido (g)	1983,1	2081,6	2160,5	2150,7
Densidade do Solo Úmido (g/cm ³)	2,13	2,24	2,32	2,31
Densidade do Solo Seco (g/cm ³)	2,01	2,10	2,11	2,03
Determinação da Umidade				
Cápsula	36	37	38	39
Peso da Cápsula (g)	10,87	10,67	11,36	10,53
Peso Cápsula + Solo Úmido (g)	25,68	27,39	30,77	29,95
Peso Cápsula + Solo Seco (g)	24,89	26,42	29,19	27,85
Peso da Água (g)	0,79	0,97	1,58	2,10
Peso do Solo Úmido (g)	14,81	16,72	19,41	19,42
Peso do Solo Seco (g)	14,02	15,75	17,83	17,32
W - Teor de Umidade (%)	5,63	6,16	8,86	12,12
Umidade Adotada (%)	5	7	9	11

Fonte: Autoria própria (2024).

Figura 49 - Curva de compactação Amostra D3.



Fonte: Autoria própria (2024).

A umidade ótima adotada para início de ensaio foi de 10%, portanto, as adições de água iniciaram com 5% e seguiram aumentos de 2% até se atingir redução no valor de μ . Graficamente, a umidade ótima do solo (W_{ot}) encontra-se em aproximadamente 8,0%, onde se dá o pico da parábola.

A densidade do solo seco é de $2,06 \text{ g/cm}^3$, média aritmética entre os valores apresentados na Figura 49.

Portanto, com os valores resultantes da análise gráfica e matemática, o solo classifica-se como arenoso, correspondente ao citado o subtópico 2.3 quanto a compactação.

4.10 Comparação dos resultados das amostras

Entre os objetivos traçados para o projeto, destaca-se a comparação dos resultados obtidos das amostras entre cada ponto de coleta. Para tanto, a partir da granulometria, as amostras, em geral, são de solos bem graduados, ou seja, seus grãos se dividem de maneira uniforme e as partículas menores preenchem bem os vãos deixados entre os grãos maiores. A *Tabela 50* exhibe um resumo dos resultados obtidos por meio dos ensaios de granulometria das amostras.

Tabela 50 - Resultados obtidos por granulometria.

GRANULOMETRIA		
Amostra	Classificação	Graduação
A1	Areia	Bem graduado
A2	Areia	Bem graduado
A3	Areia	Bem graduado
B1	Areia	Bem graduado
B2	Areia fina	Bem graduado
B3	Areia	Bem graduado
C3	Areia	Bem graduado
D2	Areia	Bem graduado
D3	Areia fina	Bem graduado

Fonte: Autoria própria (2024).

De acordo com os limites de liquidez e plasticidade, os solos, em sua maioria, não apresentam plasticidade, com exceção das amostras B1, B2 e C3, que possuem plasticidade leve ou moderada. Com relação a amostra B2, é válido ressaltar que a presença de matéria orgânica no solo pode elevar o valor do LP, sem elevar simultaneamente o do LL, resultando em baixos valores de IP. Para melhor visualização dos resultados obtidos, a *Tabela 51* apresenta, para cada amostra, os valores dos limites e a classificação conforme o índice de plasticidade.

Tabela 51 - Resultados obtidos para limites de liquidez e plasticidade.

LIMITE DE LIQUIDEZ E PLASTICIDADE			
Amostra	Limite de liquidez (%)	Limite de plasticidade (%)	Classificação quanto ao índice de plasticidade
A1	15,73	N/A	Não plástico
A2	19,77	N/A	Não plástico
A3	19,20	N/A	Não plástico
B1	22,75	20,83	Levemente plástico
B2	24,86	16,40	Moderadamente plástico
B3	19,10	N/A	Não plástico
C3	28,36	34,64	Levemente plástico
D2	19,78	N/A	Não plástico
D3	16,83	N/A	Não plástico

Fonte: Autoria própria (2024).

A classificação por meio do sistema AASTHO permite a verificação final das classes de solo obtidas com os índices físicos. Mesmo com presença de materiais finos em algumas amostras, a Tabela 52 permite visualizar que as amostras se enquadram no grupo A do sistema

classificatório. Portanto, enquadram-se como arenosos, granulares ou de granulação grossa que contêm 35% ou menos de material passando na peneira nº 200, abertura de 0,075 mm. Não apresentam percentual elevado de silte ou argila, com exceção da amostra B2.

Tabela 52 - Resumo classificação AASHTO.

CLASSIFICAÇÃO AASHTO		
Amostra	Grupo	Classificação
A1	A-1b	Areia grossa, bem graduada e sem plasticidade
A2	A-1b	Areia grossa, bem graduada e sem plasticidade
A3	A-3	Areia fina sem silte ou argila
B1	A1-a	Areia grossa, bem graduada com pouca plasticidade
B2	A2-4	Areia fina siltosa de baixa compressibilidade
B3	A-1b	Areia grossa, bem graduada e sem plasticidade
C3	A-3	Areia fina sem silte ou argila
D2	A-1b	Areia grossa, bem graduada e sem plasticidade
D3	A-1b	Areia grossa, bem graduada e sem plasticidade

Fonte: Autoria própria (2024).

Com relação aos resultados obtidos pela densidade real, os solos apresentam, densidades de solos granulares, classificando-se como areias. A densidade da amostra B2 foi descartada devido a inconsistência de resultado. Na *Tabela 53* são expostos os valores obtidos para a densidade real das amostras.

Tabela 53 - Resultados obtidos para densidade real.

DENSIDADE REAL		
Amostra	Densidade	Classificação
A1	2,477	Areia
A2	2,671	Areia
A3	2,622	Areia
B1	2,629	Areia
B2	N/A	N/A
B3	2,676	Areia
C3	2,614	Areia
D2	2,645	Areia
D3	2,604	Areia

Fonte: Autoria própria (2024).

Os ensaios de teor de umidade foram realizados em mesma data, com horário próximo, para todas as amostras, podem ter apresentado erro devido a fatores como desligamento da estufa no período de 24h em que o solo ficou em secagem, e/ou recuperação parcial da umidade enquanto era aguardado resfriamento da capsula para pesagem. Também, erros na balança utilizada podem ter contribuído. Os demais ensaios podem apresentar erros por leitura da balança e outras questões relacionadas ao ambiente e equipamentos, tendo em vista a dimensão das parcelas de análise.

Para amostras em que se constatou a ausência de siltes, argilominerais e matéria orgânica, foi realizada a segunda etapa com o ensaio de compactação, os resultados obtidos são exibidos na Tabela 54. A amostra B2, além de conter silte em sua composição, apresentava elevada quantidade de matéria orgânica, percebida visualmente durante os trabalhos desenvolvidos.

Tabela 54 - Resultados dos ensaios de compactação.

COMPACTAÇÃO				
Amostra	Umidade ótima (%)	Peso específico aparente seco (g/cm ³)	Densidade do solo seco (g/cm ³)	Classificação
A1	8	4,55	2,14	Arenoso
A2	9,5	4,38	1,92	Arenoso
A3	8	4,45	2,01	Arenoso
B1	8,3	4,47	2,08	Arenoso
B2	N/A	N/A	N/A	N/A
B3	7,9	4,20	2,08	Arenoso
C3	6,8	4,41	2,01	Arenoso
D2	6,2	4,32	1,92	Arenoso
D3	6,2	4,47	2,06	Arenoso

Fonte: Autoria própria (2024).

Vale lembrar que o intuito deste trabalho é avaliar a possibilidade de reaproveitamento de material de descarte de desassoreamento na lagoa do Jacaré e, nesse contexto, alguns pontos analisados podem ter maior importância que outros. Estudos paralelos na área de drenagem do bairro, e na posse de levantamento topográfico e batimetria, sugerem que os pontos B1, B2 e D3 sejam prioritários para remoção de material, quer para o desassoreamento, ou para facilitação de escoamento de água pluvial.

Nesse sentido, no que tange a pesquisa, a amostra B1 e D3 apresentam características favoráveis ao seu reaproveitamento, são areias bem graduadas, não plásticas ou de baixa

plasticidade, sendo necessária a análise de sua destinação para definir sua aplicabilidade. A amostra B2, no entanto, apresenta características que foram consideradas desfavoráveis no estudo, resultando em seu descarte caso realizado o desassoreamento da Lagoa do Jacaré. Porém, também se pontua a possibilidade de estabilização do material com relação a sua composição granulométrica por ser uma areia fina siltosa, exigindo maiores estudos quanto a presença de matéria orgânica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A premissa central do desenvolvimento do estudo consistiu em classificar o solo da Lagoa do Jacaré por meio das amostras coletadas, que representam parcialmente o solo total presente no local. O desenvolvimento e as análises foram descritos e documentados nesta pesquisa, os resultados obtidos foram considerados satisfatórios para responder as hipóteses delineadas.

Com relação aos resultados obtidos destaca-se que em relação a suas propriedades físicas, os solos das amostras são, em sua maioria, bem graduados e não plásticos, exceto as amostras B1, B2 e C3, que mostram plasticidade leve a moderada. A classificação AASTHO confirma a predominância de solos arenosos, granulares, com baixo teor de silte e argila. Quanto as características mecânicas, a segunda etapa da pesquisa envolve o ensaio de compactação, especialmente para amostras sem silte, argilas e matéria orgânica, descartando a amostra B2, os resultados apontaram que as amostras são tipicamente de solos arenosos.

De forma geral, os solos amostrados são materiais inertes, sem a presença de argilominerais e, portanto, adequados para seu reaproveitamento, de acordo com sua classificação granulométrica, respondendo as hipóteses levantadas para o desenvolvimento da pesquisa. Também, a estabilização do solo apresenta-se como possibilidade para a amostra B2, em que foi constatada a presença de silte e matéria orgânica em sua composição.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 11682:2009** - Estabilidade de encostas. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **ABNT NBR 6457:2016** - Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **ABNT NBR 6458:2016** - Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm — Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **ABNT NBR 6459:2016** - Solo - Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **ABNT NBR 7180:2016** - Solo - Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **ABNT NBR 7181:2018** - Solo — Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **ABNT NBR 7182:2020** - Solo — Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, ABNT, 2020.

_____. **ABNT NBR 6502:2022** - Solos e rochas — Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

AVANCI, Luiz F. **Caracterização da bacia e estimativa da capacidade de armazenamento da lagoa do jacaré no município de Várzea Grande/MT**. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMT, Cuiabá, 2023. Disponível em: < <https://lagoadojacare.com.br/publicacoes/>>. Acesso em 21 de outubro de 2023.

AZARAFZA, Mohammad et al. **Discontinuous rock slope stability analysis by limit equilibrium approaches** – a review. *International Journal of Digital Earth*, v. 14, n. 12, p. 1918-1941, 2021.

BAKSA, Patrik et al. **An Evaluation of Marine Sediments in Terms of their usability in the Brick Industry: Case Study Port of Koper**. *Journal of Sustainable Development of Energy Water and Environment Systems*, v. 6, n. 1, pág. 78-88, 2018. Disponível em: < <https://www.sdewes.org/jsdewes/pid5.0183>>. Acesso em: 20 dez 2023.

BICOSKI, Fernanda da Silva; POLETO, Cristiano. **Análise da gestão de sedimentos provenientes de desassoreamento de recursos hídricos urbanos municipais**. In: Congresso Latinoamericano de Hidráulica (30.: 2022: [Foz do Iguaçu]). *Anales del XXX Congreso Latinoamericano de Hidráulica 2022: volúmen 6: água, ambiente y sociedad del conocimiento [recurso eletrônico]*. Madrid: IAHR, 2023. 2023. Disponível em: < <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/254604/001161626.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 24 nov. 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 454, de 1º de novembro de 2012**. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2012/res_conama_454_2012_materiaisdragadoemaguasjurisdicionaisbrasileiras.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, DF: Presidência da República, [2012]. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 26 jul. 2023.

BUENO, Rafael Ivens da Silva. **Aproveitamento da areia gerada em obra de desassoreamento-caso: Rio Paraibuna/SP**. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3134/tde-18112010-124317/en.php>>. Acesso em: 28 ago. 2023.

CAPUTO, Homero Pinto, et al.; **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 7. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME – 093:94 - Solos – Determinação da densidade real**. 1994.

_____. **DNER ME 041:94 - Solos preparação de amostras para ensaios de caracterização**. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT – Manual de Pavimentação**. 3. ed. rio de janeiro, 2006. 274p.

DUCMAN, Vilma; et al. **Evaluation of Sediments from the River Drava and Their Potential for Further Use in the Building Sector**. Materials (Basel), v. 4303, 18 p. Junho, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/ma15124303>>. Acesso em: 03 set. 2023.

FERREIRA, Willian José; TARGA, Marcelo dos Santos; CATELANI, Celso de Souza. **Temporal evolution of suspended solids in the management of medium-sized watersheds in the Metropolitan Region of Paraíba Valley**. Revista Ambiente & Água, v. 18, p. e2945, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2945>>. Acesso em: 11 jan. 2024.

FIGUEIREDO, D. M.; NUNES, S. S.; DE PAES, R. P. 2023. **Processo de ocupação e restauração de uma área úmida urbana**: aplicação do conceito de território hidrossocial em microescala. Revista Geoaraguaia, 2023. Aprovado para publicação.

FIORI, Alberto Pio; CARMIGNANI, Luigi. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas**. 2ed., Curitiba: Ed. UFPR, 2009, 602p.

FONTES, Andréa Regina Martins; BARBASSA, Ademir Paceli. **Diagnóstico e prognóstico da ocupação e da impermeabilização urbanas**. Revista Brasileira de recursos hídricos, v. 8, n. 2, p. 137-147, 2003.

GERSCOVICH, Denise MS. **Estabilidade de Taludes** (2ª edição). Oficina de textos, 2016.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. Editora Edgard Bliicher Ltda., S. Paulo, SP, 194p, 1983.

HEINRICH, Alessandra; et al. **Gerenciamento de sedimentos do desassoreamento do Rio Belém na área urbana de Curitiba: um estudo de caso**. Revista Brasileira de. Ciência do Solo, v. 39, 626-636 p. Março, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/QC4sVFmJkv9z9TsGkmrBKYH/?lang=pt>>. Acesso em: 28 ago. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS. COORDENAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS E ESTUDOS AMBIENTAIS. **Manual técnico de pedologia**. IBGE, 2015. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades e Estados – Várzea Grande**. IBGE, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mt/varzea-grande.html>>. Acesso em: 04 out. 2023.

JUNAKOVA, Natália; BALINTOVA, Madalena. **O estudo das características dos sedimentos de fundo como material para reutilização benéfica**. Engenharia química, v. 39, pág. 637-642, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Natalia-Junakova/publication/282323791_The_Study_of_Bottom_Sediment_Characteristics_as_a_Material_for_Beneficial_Reuse/links/560bc43808ae914928bd8abc/The-Study-of-Bottom-Sediment-Characteristics-as-a-Material-for-Beneficial-Reuse.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2023.

KOŚ, Karolina; GRUCHOT, Andrzej; ZAWISZA, Eugeniusz. **Bottom Sediments from a Dam Reservoir as a Core in Embankments — Filtration and Stability: A Case Study**. Sustainability, v. 13, n. 3, p. 1221, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/3/1221>>. Acesso em: 17 nov. 2023.

LUVAI, Alloys; et al. **Physicochemical Properties of Bottom Sediments in Maruba Dam Reservoir, Machakos, Kenya**. Ciência Aplicada e Ambiental do Solo, v. 2, 9 p. Junho, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2022/2382277>>. Acesso em: 24 nov. 2023.

MENDES, Amanda. **Distribuição granulométrica, mineralogia e geoquímica dos sedimentos de fundo do Rio Paraúna – MG**. 2021. 140 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Programa de Pós-graduação em Geologia, Diamantina, 2021.

MENEZES, Paulo Henrique Bretanha Junker. **Avaliação do efeito das ações antrópicas no processo de escoamento superficial e assoreamento na bacia do lago Paranoá**. 2010. 117 p. Dissertação de mestrado – Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

NUNES, Selma S. **Aplicação do método VERAH como ferramenta de Educação Ambiental no ensino médio em uma microbacia do município de Várzea Grande – MT**. 2017. 92 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

PAVINATO, Paulo Sérgio, et al. **Disponibilidade de nutrientes no solo** – decomposição e liberação Formação, Classificação e Cartografia dos Solos de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 3, p. 911-920. 2008

PEREIRA, Marcos Gervasio et al. **Formação e caracterização de solos**. 2019. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202369/1/Formacao-e-caracterizacao-de-solos-2019.pdf>>. Acesso em: 22 fev. 2024.

PHAM, Khanh et al. **Ensemble learning-based classification models for slope stability analysis**. *Catena*, v. 196, 2021.

PINTO, Carlos de Souza. **Curso básico de Mecânica dos Solos**. 3.ed., rev. e ampl. Oficina de Textos, 2016.

PORT, Roseli. **Impacto ambiental pela ocupação irregular da área de preservação permanente urbana: “Lagoa do Jacaré”** município de Várzea Grande, MT, um estudo de caso. 2012. 52 p. Monografia (Especialização em Direito Ambiental) - Instituto de Biociências, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2012. Disponível em: <<https://lagoadojacare.com.br/publicacoes/>>. Acesso em 15 de julho de 2023.

PRASS, Adrielle Souza et al. **Estudo comparativo de diferentes sistemas de classificações geotécnicas aplicadas a solos do município de Alta Floresta – MT**. Anais 33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, Camboriú, SC. 2019. Disponível em: <https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Infraestrutura/Solos%20e%20Concreto%20I/6_695_AC.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2024.

PROJETO LAGOA DO JACARÉ. **Local do Projeto, UFMT e PPGRH**, 2021. Disponível em: <<https://lagoadojacare.com.br>>. Acesso em: 15 jul. 2023.

REINERT, Dalvan José; et al. **Propriedades físicas do solo**. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

RODRIGUES, Gabriel. **Caracterização geológica e ambiental do entorno da Lagoa de Garopaba, município de Garopaba, Santa Catarina**. 2019. 93 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro de Filosofia e Ciências Humanas - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

ROIG, Henrique Llacer. **Modelagem e Integração de processos erosivos e do transporte de sedimentos** – O caso da Bacia do Rio Paraíba do Sul. 2005. 251p. Tese de Doutorado. IGUnB, Brasília, 2005.

SANTOS, Adailde do Carmo et al. **Intemperismo e pedogênese de rochas máficas na Mata Atlântica brasileira**. *Revista Sul-Americana de Ciências da Terra*, v. 111, p. 103452, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0895981121002996?via%3Dihub>>. Acesso em: 22 fev. 2024.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5.ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1094003>>. Acesso em: 22 fev. 2024.

SILVA, Aline dos Santos et al. **Implicações ambientais decorrentes das atividades antrópicas na bacia hidrográfica do Córrego Pirapitinga em Ituiutaba/MG**. 2019. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto de Ciências Humanas do Pontal - Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2019.

SMITH, W. S; SILVA, F. L.; BIAGIONI, R. C. **Desassoreamento de rios: quando o poder público ignora as causas, a biodiversidade e a ciência**. Ambient. soc. [online]. vol.22, 2019. ISSN 1809- 4422. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/asoc/v22/pt_1809-4422- asoc-22-e00571.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2023.

SOBHAN, Khaled et al. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. São Paulo: Thomson Learning, p. 561, 2014.

TEIXEIRA, Paulo César et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>>. Acesso em: 19 jan. 2024.

TENÓRIO, Eduardo Antonio Guimarães et al. **Comparação entre a análise de estabilidade de taludes por método determinístico e probabilístico**. Anais do III CONAPESC, 2018.

TRINDADE, Tiago Pinto da et al. **Compactação de solos: fundamentos teóricos e práticos**. Viçosa: Editora UFV, 2011.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **National Soil Survey Handbook**. Washington, 2023. 892p. Disponível em: <<https://directives.sc.gov.usda.gov/49659.wba>>. Acesso em: 13 mar. 2024.

VÁRZEA GRANDE (MT). Secretaria de Meio Ambiente e Agricultura. **Relatório Técnico de Vistoria nº 309/2010**. Disponível em: <https://lagoadojacare.com.br/wp-content/uploads/2021/10/Relatorio-de-Vistoria_Lagoa-do-Jacare_20101.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2023.

WANG, Guangjin et al. **Intelligent prediction of slope stability based on visual exploratory data analysis of 77 in situ cases**. International Journal of Mining Science and Technology, v. 33, n. 1, p. 47-59, 2023.

XAVIER, FA da S. **Solo-definição e importância**. 2021. Disponível em: <cap1-livro-RecomendacaoCalagemAdubacao-AnaLuciaBorges-AINFO.pdf (embrapa.br)>. Acesso em: 18 mar. 2024.