

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**JULIANA HAIDÉE PALHETA TAVARES**

**CARACTERÍSTICAS GEOMECÂNICAS DE SOLO: ANÁLISE DE MÉTODOS E  
CONFIABILIDADE DOS RESULTADOS**

**CAÇAPAVA DO SUL  
2023**

**JULIANA HAIDÉE PALHETA TAVARES**

**CARACTERÍSTICAS GEOMECÂNICAS DE SOLO ANÁLISE DE MÉTODOS E  
CONFIABILIDADE DOS RESULTADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Geologia da  
Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título de  
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. José Waldomiro  
Jiménez Rojas

CAÇAPAVA DO SUL  
2023

## JULIANA HAIDÉE PALHETA TAVARES

### CARACTERÍSTICAS GEOMECÂNICAS DE SOLO ANÁLISE DE MÉTODOS E CONFIABILIDADE DOS RESULTADOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Geologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 14 de julho de 2023.

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. José Waldomiro Jimenez Rojas  
Orientador  
Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Igor Magalhães Clemente  
Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Vicente Guilherme Lopes  
Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA

Universidade Federal do Pampa



Assinado eletronicamente por **JOSE WALDOMIRO JIMENEZ ROJAS, Diretor(a) Campus Caçapava do Sul**, em 20/07/2023, às 09:42, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **VICENTE GUILHERME LOPES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/07/2023, às 10:14, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **IGOR MAGALHAES CLEMENTE, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/07/2023, às 11:32, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1190907** e o código CRC **6E5F2731**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

CAÇAPAVA DO SUL  
2023

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

T231c Tavares , Juliana Haidée Palheta  
Características Geomecânicas de Solo Análise de Métodos e  
Confiabilidade dos Resultados / Juliana Haidée Palheta Tavares

.  
44 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, GEOLOGIA, 2023.

"Orientação: José Waldomiro Jimenez Rojas ".

1. Geotecnia. 2. Solo. I. Título.

" Não se apresse em achar que fracassou. Há vitórias que só o tempo pode nos revelar. Não se limite ao que está sob o alcance dos olhos. O jogo vai além do que enxergamos. A vida surpreende-nos"

Pe. Fábio de Melo

## RESUMO

A investigação das características geomecânicas do solo desempenha um papel crucial no planejamento e execução de projetos de engenharia civil. É fundamental compreender o comportamento do solo para garantir a estabilidade e segurança das estruturas construídas sobre ele. Nesse sentido, a precisão e confiabilidade dos métodos empregados para a análise geotécnica são indispensáveis.

A pesquisa emprega diversos ensaios para caracterizar o solo. Os ensaios de composição química identificam os minerais presentes, fornecendo informações sobre sua composição. A análise granulométrica avalia a distribuição das partículas, permitindo classificar o solo e analisar sua resistência. Os limites de liquidez e plasticidade são determinantes para entender o comportamento do solo em relação à umidade, enquanto a análise de permeabilidade mede sua capacidade de drenagem. Os resultados obtidos na pesquisa são confrontados com a bibliografia de solos da mesma região, e essa comparação confirma que os métodos utilizados forneceram os resultados esperados. Essa validação demonstra que os ensaios foram conduzidos de forma precisa e adequada, resultando em informações realistas e satisfatórias sobre as características geomecânicas do solo estudado.

Em conclusão, o estudo das características geomecânicas do solo através dos ensaios de composição química, análise granulométrica, limites de liquidez e plasticidade, e permeabilidade mostrou-se eficiente e confiável. A consistência dos resultados reforça a importância desses métodos para a geotecnia e engenharia civil, fornecendo subsídios essenciais para a elaboração de projetos seguros e sustentáveis. Além disso, a pesquisa contribui para a validação dos métodos de análise de solos, impulsionando o avanço do conhecimento geotécnico e sua aplicação prática na engenharia.

Palavras-Chave: características geomecânicas; solo; precisão; confiabilidade; ensaio

## **ABSTRACT**

The investigation of geomechanical characteristics of soil plays a crucial role in the planning and execution of civil engineering projects. Understanding the soil's behavior is essential to ensure stability and safety of structures built upon it. In this regard, the precision and reliability of the methods employed for geotechnical analysis are indispensable.

The research employs various tests to characterize the soil. Chemical composition tests identify the minerals present, providing information about its composition. Granulometric analysis assesses particle distribution, allowing for soil classification and analysis of its strength. Liquidity and plasticity limits are decisive in understanding soil behavior concerning moisture, while permeability analysis measures its drainage capacity.

The research results are compared with soil literature from the same region, and this comparison confirms that the methods used yielded the expected results. This validation demonstrates that the tests are conducted accurately and appropriately, resulting in realistic and satisfactory information about the geomechanical characteristics of the studied soil.

In conclusion, the study of soil geomechanical characteristics through tests such as chemical composition, granulometric analysis, liquidity, plasticity, and permeability has proven efficient and reliable. The consistency of the results reinforces the importance of these methods in geotechnical and civil engineering, providing essential insights for the development of safe and sustainable projects. Furthermore, the research contributes to the validation of soil analysis methods, promoting the advancement of geotechnical knowledge and its practical application in engineering.

**Keywords:** geomechanical characteristics, soil, precision, reliability, test

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que estiveram ao meu lado durante esta jornada de conclusão do meu curso. Portanto, é com imensa alegria que dedico este agradecimento especial à minha mãe, Dulce, meu namorado Ayrton, meu filho, Ravi e minha filha de quatro patas, Maya.

Ayrton, palavras não são suficientes para expressar o quanto sou grata por todo o seu apoio ao longo desses anos. Você foi meu porto seguro, meu maior incentivador e meu melhor amigo. Sua paciência (quase inesgotável), compreensão e amor, foram essenciais para que eu me mantivesse determinada em concluir mais esta etapa. Obrigada por estar ao meu lado, por acreditar em mim e por sempre me encorajar a seguir em frente.

Meu querido filho, Ravi, você é minha maior inspiração. Sua presença ilumina meus dias e me dá forças para enfrentar todos os desafios. Mesmo nos momentos em que eu estava cansada ou desanimada, você sempre trouxe alegria e amor para a minha vida. Sou grata por ter a oportunidade de ser sua referência. Obrigada por ser minha motivação constante.

À minha mãe, você é a pessoa mais importante na minha vida. Sua dedicação, amor incondicional e sacrifícios são coisas que jamais conseguirei agradecer o suficiente. Sempre estive ao meu lado, me apoiando em todas as decisões que tomei. Seu encorajamento e presença constante foram fundamentais para que eu persistisse nos momentos mais difíceis. Agradeço por todo o apoio e por acreditar em mim. Você é meu modelo de força e determinação.

Aos meus amigos, desde os que dividiram experiências desde o início da faculdade, até os mais recentes e presentes nos melhores e piores momentos. Gostaria de agradecer especialmente ao Will (Gabriel Smith) e Guto, que além de amigos, companheiros de casa e conselheiros nas horas vagas (que são poucas), nunca mediram esforços para se fazerem presentes. Vocês também são minha família.



Cada um de vocês desempenhou um papel crucial em minha vida, e sou eternamente grata. Sem o amor, apoio e compreensão de vocês, não teria sido possível concluir este trabalho.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de Localização.....	17
Figura 2 Área de coleta – Zona Urbana de Caçapava do Sul.....	18
Figura 3 Coleta da amostra.....	23
Figura 4 (A) Secagem dos materiais em estufa; (B) Materiais secos e ainda na forma de torrões; (C) Materiais destorroados.....	25
Figura 5 (A) Cilindros de 3mm - Limite de plasticidade; (B) Aparelho de Casagrande com amostra – Limite de liquidez.....	27
Figura 6 (A) Pesagem do Picnômetro; (B) Retirada do ar interno.....	28
Figura 7 (A) Cilindro preenchido e compactado; (B) Cilindro pequeno .....	29
Figura 8 Preparação da amostra.....	30
Figura 9 Permeâmetro .....	31
Figura 10 Curva Granulométrica .....	44
Figura 11 Diagrama trilinear (Triângulo de Feret).....	45
Figura 12 Diagrama trilinear de Feret .....	45
Figura 13 Carta de plasticidade de Casagrande .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Análise de composição química.....	46
Tabela 2 Comparação de parâmetros: Solo Caçapavano x Argila Bentonítica.....	47

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CCL – Compacted Clay Liner

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

DRX – Difractometria de Raios-X

E/S-Estabilização/Solidificação GCL – Geocomposto argiloso

IGS – International Geosynthetics Society

NBR – Norma Brasileira

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

XRF – Fluorescência de Raios-

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>1. OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
1.1. Objetivos gerais .....	17
1.2. Objetivos específicos .....	17
<b>2.JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>18</b>
<b>3. ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>18</b>
<b>4. OBJETO DE ESTUDO.....</b>	<b>21</b>
<b>5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
5.1 Técnicas de encapsulamento geotécnico.....	21
5.2 Geossintéticos.....	22
5.3 Ensaio determinantes de características físicas do solo .....	22
5.3.1 Composição química.....	22
5.3.2 Determinação de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade .....	23
5.3.4 Coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável .....	23
5.3.5 Ensaio de compactação .....	23
<b>6 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>24</b>
6.1 Pesquisa.....	24
6.2 Visita à área de coleta de amostras.....	24
6.3 Coleta do material .....	24
6.4 Ensaio de caracterização de solo.....	25
6.4.1 Análise granulométrica por sedimentação e peneiramento .....	26
6.4.2 Limites de Liquidez e Plasticidade.....	28
6.4.3 Peso específico dos sólidos.....	29
6.4.5 Compactação de solo.....	30
6.4.6 Ensaio de permeabilidade.....	32
<b>7 PLANEJAMENTO.....</b>	<b>34</b>

<b>8</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>34</b>
8.1	Análise granulométrica por sedimentação e peneiramento .....	34
8.2	Limites de Liquidez e Plasticidade (Limites de Atterberg) .....	36
8.3	Peso específico dos sólidos .....	37
8.4	Compactação de solo .....	37
8.5	Ensaio de permeabilidade.....	37
8.6	Composição química.....	37
<b>9</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>38</b>
<b>10</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>40</b>

## INTRODUÇÃO

A Geomecânica é uma área fundamental da geotecnia que se concentra no estudo das propriedades mecânicas e comportamento dos solos e rochas sob diferentes condições de carga e umidade. A investigação das características geomecânicas do solo é essencial para a engenharia civil, pois fornece informações críticas para o planejamento, projeto e construção de infraestruturas como estradas, pontes, fundações de edifícios, barragens e túneis.

Através dos ensaios de caracterização de solos mencionados anteriormente, os engenheiros podem obter dados sobre a composição do solo, sua distribuição granulométrica, plasticidade, permeabilidade e outras propriedades físicas. Essas informações são essenciais para determinar o tipo de solo presente em um determinado local e, conseqüentemente, escolher os materiais e técnicas de construção adequados para garantir a segurança e a estabilidade das estruturas.

Por exemplo, ao projetar uma fundação para um edifício, é crucial conhecer a capacidade de suporte do solo, que pode variar de acordo com sua composição e compactação. A análise granulométrica também é vital para determinar a porosidade do solo e sua capacidade de drenagem, evitando problemas como a erosão ou a liquefação do solo em caso de fortes chuvas ou terremotos.

Os ensaios de limite de liquidez e plasticidade permitem entender como o solo responde às variações de umidade, influenciando diretamente nas técnicas de compactação durante a construção. Além disso, a análise da permeabilidade é fundamental para projetos de drenagem, como sistemas de esgoto, evitando o acúmulo de água e o conseqüente enfraquecimento do solo.

Com base nos resultados obtidos dos ensaios e na comparação com a bibliografia regional, os engenheiros podem realizar uma análise confiável e embasada, adaptando projetos às condições específicas do solo em questão. Isso minimiza riscos, custos e a possibilidade de falhas estruturais.

A evolução dos métodos de ensaios de caracterização de solos tem permitido uma melhor compreensão do comportamento geomecânico dos solos em diferentes situações. Além disso, a utilização de tecnologias avançadas, como a instrumentação geotécnica e a modelagem computacional, complementam as informações obtidas nos ensaios, proporcionando um entendimento mais abrangente do comportamento do solo em determinado contexto.

Em resumo, a investigação das características geomecânicas do solo é de extrema importância para a engenharia civil, pois fornece subsídios essenciais para projetar e construir estruturas sólidas, seguras e duráveis. Através dos ensaios de caracterização, os engenheiros podem tomar decisões embasadas, minimizando os riscos e garantindo o sucesso de projetos de engenharia.



## **1. OBJETIVOS**

### 1.1. Objetivos gerais

Avaliar a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos a partir dos ensaios geomecânicos realizados, visando garantir que as informações geotécnicas obtidas sejam consistentes e representativas das características reais do solo ou rocha em análise.

### 1.2. Objetivos específicos

1. Realizar ensaios de caracterização geomecânica do solo.
2. Comparar os resultados obtidos nos ensaios, com as características conhecidas através da bibliografia.
3. Definir através da comparação de resultados, se o solo apresenta comportamento e resultados condizentes com a bibliografia dos solos da região.

## **2.JUSTIFICATIVA**

A justificativa para a realização de estudos sobre as características geomecânicas do solo, baseia-se na importância essencial que essas informações têm para a engenharia civil e a segurança das estruturas construídas. O solo é a base de toda infraestrutura, e compreender seu comportamento é essencial para garantir a estabilidade, durabilidade e eficiência das construções.

A variabilidade dos solos em diferentes regiões e ambientes pode resultar em respostas distintas sob as mesmas condições de carga e umidade. Portanto, a investigação geomecânica é indispensável para entender as peculiaridades de cada solo e adequar os projetos de acordo com suas características específicas.

Através dos ensaios de caracterização de solos, é possível obter dados precisos e confiáveis sobre suas propriedades físicas e mecânicas. Essas informações são utilizadas para determinar os parâmetros de projeto, escolher as técnicas construtivas mais adequadas e realizar análises de estabilidade. Dessa forma, é possível minimizar riscos e evitar falhas estruturais, contribuindo para a segurança das edificações e a proteção de vidas humanas.

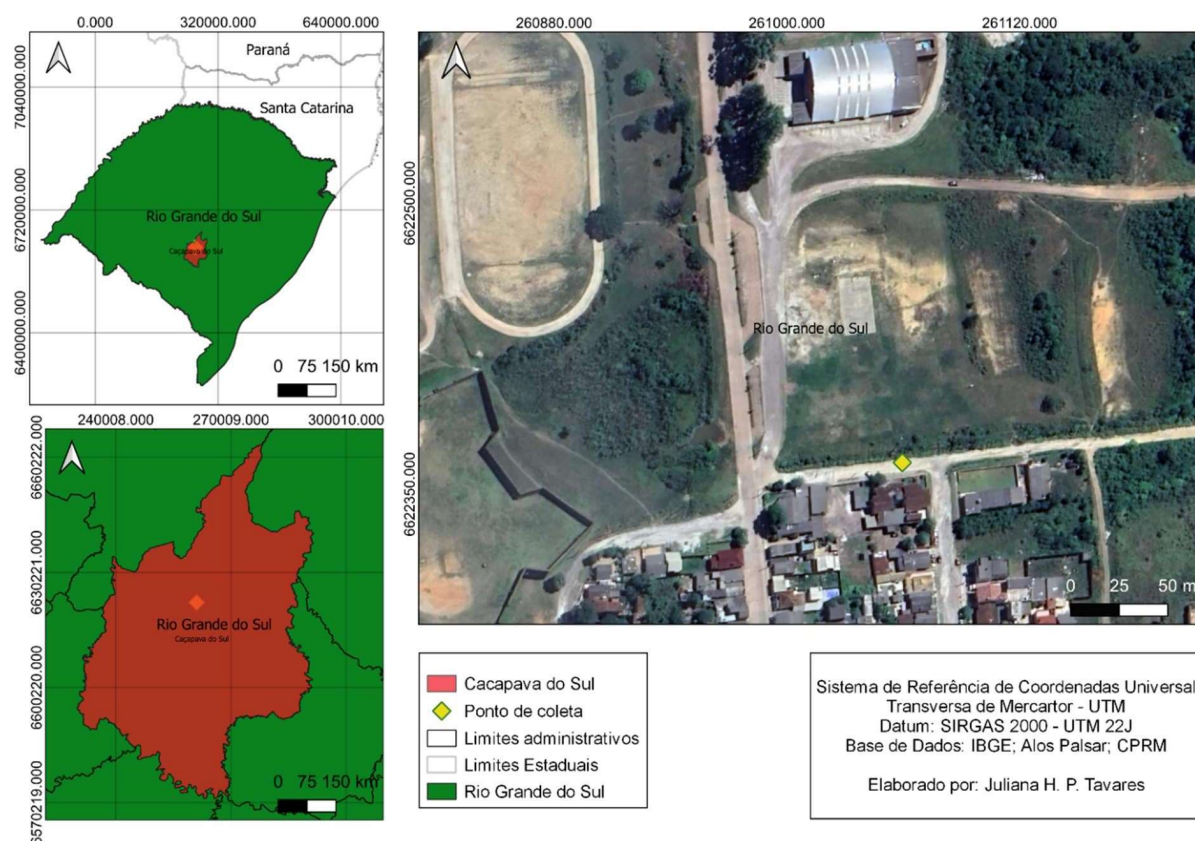
## **3. ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo consiste basicamente na área de coleta do solo investigado e está situada na região central do estado do Rio Grande do Sul, no município de Caçapava do Sul, podendo ser acessado pela rodovia federal BR-392. O município de Caçapava do Sul está localizado a aproximadamente 260 km da capital do estado, Porto Alegre. A partir da capital, se faz necessário percorrer 245km pela BR-290, em direção ao interior do estado e em seguida, acessar a rodovia BR-392 sentido Bagé. Após percorrer cerca de 16 km na direção oeste, encontra-se a entrada da cidade à direita

A área de coleta na cidade de Caçapava do Sul, fica localizada no Escudo Sul Rio-grandense (ESRG). O Escudo Sul Rio-grandense tem sua gênese como resultado de processos de geração e deformação da crosta continental, principalmente durante os ciclos orogênicos Brasileiro e Transamazônico. A região é composta por terrenos rochosos formados desde o Pré-Cambriano até o início do Paleozoico, com predominância de rochas ígneas graníticas intrusivas em um conjunto de rochas metamórficas como xistos e mármore e também de depósitos Vulcano-sedimentares (ALMEIDA e HASUI, 1984).

A amostra de solo foi coletada no centro da cidade de Caçapava do Sul, mais precisamente na rua Alter Cintra de Oliveira na altura do número 130, em frente a delegacia da Polícia Civil na localidade do Campo das Nações, como o local é conhecido pelos munícipes. Na figura abaixo, é possível visualizar uma imagem do local através do mapa.

Figura 1. Mapa de Localização



Fonte: Autora, 2023

Á área de coleta, por se tratar de uma localidade urbana, passou por diversos processos que descaracterizaram sua paisagem natural e provavelmente, também sua vegetação, dificultando o processo de associar o solo encontrado no local, com os descritos na bibliografia relacionada.

### 3.1 Contexto Pedológico

O Estado do Rio Grande do Sul tem doze tipos de solos definidos por Streck et al (2008), sendo eles: Argissolo, Cambissolo, Chernossolo, Espodossolo, Gleissolo, Latossolo, Luvisolo, Neosolo, Nitossolo, Organossolo, Planossolo, Plintossolo e Vertissolo.

Na área de estudo, segundo a bibliografia, deve-se encontrar solo do tipo Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico. De acordo com Lemos (1973), esses solos ocorrem em relevos suaves ondulados até relevos fortemente ondulados, especialmente, formados por coxilhas suaves e morros. Apresentam baixa fertilidade natural, devido à sua alta acidez e saturação por alumínio, necessitando de correção e fertilização para que possa ser utilizado como lavoura. Streck et al (2008), descrevem a gênese desse solo como solos, geralmente profundos, bem drenados e oriundos dos mais diversos tipos de rochas, como basaltos, granitos e rochas sedimentares.

**Figura 2.** Área de coleta – Zona Urbana de Caçapava do Sul



**Fonte:** Autora, 2023

#### **4. OBJETO DE ESTUDO**

Investigação da confiabilidade dos ensaios geomecânicos para a determinação das características mecânicas de um solo caçapavano.

#### **5. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

##### 5.1 Técnicas de encapsulamento geotécnico

O encapsulamento geotécnico, também conhecido como estabilização/solidificação (E/S) vem se tornando uma importante alternativa de tratamento para a disposição de resíduos perigosos em aterros e controle de áreas contaminadas, pois pode auxiliar na melhoria das características físicas e toxicológicas do resíduo e/ou do solo, facilitando o seu gerenciamento de forma segura e eficaz (ROJAS et al, 2007).

A solidificação é uma tecnologia que não decompõe os contaminantes, mas constitui um tratamento permanente que promove sua imobilização e encapsulamento. É caracterizada pela adição de agentes ligantes ao solo contaminado, promovendo sua imobilização e retenção em uma matriz sólida. A estabilização é caracterizada pela alteração do contaminante para um estado quimicamente imóvel (não lixiviável) (USEPA, 2009). O confinamento de uma área contaminada é obtido pela construção conjunta de cobertura de superfície para evitar lixiviação, barreiras verticais nos limites da área contaminada e barreiras horizontais de fundo para impedir o deslocamento da pluma de contaminação. As barreiras devem possuir permeabilidade consideravelmente inferior a do solo natural e devem ser compatíveis com os contaminantes. A contenção hidráulica, tem como objetivo impedir o deslocamento de uma pluma de contaminantes através das águas subterrâneas. Trata-se de uma contenção física por paredes de baixa permeabilidade (BOSCOV, 2008).

Apesar de a contenção física do solo contaminado frear a contaminação, não se extingue a necessidade de tratar as águas de aquíferos contaminados. Esse procedimento pode ser feito através de bombeamento, tratamento da água contaminada e reintrodução no solo, ou, descarte definitivo caso essa água não esteja em condições de voltar para o aquífero (BOSCOV, 2008).

## 5.2 Geossintéticos

Os geossintéticos foram uma das primeiras tentativas de reforçar o solo, utilizando técnicas com materiais diferentes do próprio solo. As ideias iniciais consistiam em promover maior estabilidade para solos pantanosos, utilizando materiais como galhos, troncos e componentes de origem orgânica, com suas primeiras utilizações remontando de 3000 a.C (VERTEMATTI, 2015).

Segundo a Associação Brasileira de Geossintéticos (IGS, 2007), geossintéticos são materiais industrializados confeccionados com componentes sintéticos ou naturais, que foram desenvolvidos para utilização em obras geotécnicas com funções principais de reforço, filtração, drenagem, proteção, separação impermeabilização e controle de erosão superficial, sendo que alguns geossintéticos podem cumprir mais de uma função ao mesmo tempo, sendo utilizados em contato com o solo ou como proteção de outros materiais.

## 5.3 Ensaio determinantes de características físicas do solo

A norma ABNT NBR 6457/2016, estabelece os padrões de preparação de amostras para a realização de uma série de ensaios como análises granulométricas, determinação de limites de liquidez e plasticidade, massa e absorção de água por sedimentos finos que passam pela peneira de 4,8 mm, por exemplo.

Esses são alguns dos ensaios fundamentais para que a pesquisa possa se desenvolver de uma forma assertiva e possa obter resultados padronizados e confiáveis.

### 5.3.1 Composição química

A determinação da composição química é realizada via fluorescência de raios-X (XRF) e as amostras devem ser preparadas de acordo com as instruções do fabricante do equipamento a ser utilizado para a aferição. A composição química está diretamente relacionada à composição mineralógica da amostra e também contribui para a investigação de comportamentos físicos do solo.

### 5.3.2 Análise granulométrica

A caracterização granulométrica deve ser realizada a fim de se identificar os tamanhos de partículas das amostras de argila que serão testadas. Para a realização dos ensaios de granulometria, devem ser como base os testes descritos na ABNT NBR 7181/2018, com peneiramento e sedimentação para o material fino.

### 5.3.3 Determinação de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade

A determinação do limite de liquidez é realizada através dos parâmetros pré definidos pela ABNT NBR 6459/2017. Esse ensaio precisa ser realizado para que se possa delimitar os limites de consistência do solo e o grau de ligação entre as partículas dos mesmos quando em contato com a água.

O limite de plasticidade, está diretamente ligado ao limite de liquidez, onde sua análise também é realizada baseando-se na quantidade de água presente em determinada quantidade de solo e analisando qual o ponto em que a amostra passa de um comportamento plástico, para um comportamento onde está seco o suficiente para começar a se dividir em pequenos pedaços.

### 5.3.4 Coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável

Como descrito na ABNT NBR 14545/2021, este ensaio se baseia na lei de Darcy, pressupondo que exista uma relação proporcional direta entre a velocidade de percolação e os gradientes hidráulicos. Ainda, considera-se que o escoamento continue após a saturação do corpo de prova sem alterar o volume de solo durante o ensaio.

### 5.3.5 Ensaio de compactação

Este ensaio, é normatizado pela ABNT NBR 7182/2016, sendo um método utilizado para a determinação da relação teor de umidade versus massa específica aparente seca de solos. Em função destas características, os geocompostos argilosos e liners de argila, possuem especificações de uso e instruções para uma correta aplicação e desempenho máximo, de acordo com as condições do ambiente de utilização.

Como descrito na ABNT NBR 14545/2021, este ensaio se baseia na lei de Darcy, pressupondo que exista uma relação proporcional direta entre a velocidade de percolação e os gradientes hidráulicos. Ainda, considera-se que o escoamento continue após a saturação do corpo de prova sem alterar o volume de solo durante o ensaio.

## **6 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **6.1 Pesquisa**

O trabalho teve início com o processo de pesquisa de produções bibliográficas relativas ao tema, através de buscas por palavras-chave como solos e características geomecânicas, com o intuito de conhecer melhor os trabalhos já realizadas nesta área, definir o objeto de pesquisa e fundamentar melhor as expectativas quanto aos resultados do trabalho prático.

### **6.2 Visita à área de coleta de amostras**

Após a leitura da bibliografia relacionada e conversa com moradores locais, foi realizada a visita à possível área de interesse. Na rua Alter Cintra de Oliveira, localizada no Campo das Nações no centro de Caçapava do Sul. No local existe uma valeta com material argiloso muito endurecido, compactado e de difícil manuseio. Analisando à olho nu um torrão retirado desta valeta, definiu-se que a granulometria daquele material possuía características condizentes com um solo argiloso e assim, definiu-se que aquele seria o objeto de estudo do trabalho.

### **6.3 Coleta do material**

As amostras de solo foram coletadas no dia 2 de dezembro de 2022 e para a realização da coleta, foram utilizados uma pá de corte, cedida pela Unipampa e 2 sacos para o armazenamento (Figura 3). O material encontrava-se bastante endurecido e consolidado, dificultando o processo de amostragem.

A partir das quantidades especificadas nas NBRs de todos os ensaios necessários, estimou-se que a quantidade necessária de amostras coletadas seria



deaproximadamente 40kg.

Após a coleta do material, as amostras foram expostas ao sol para que pudessem secar e estarem adequadas para as análises laboratoriais seguintes.

**Figura 3.** Coleta da amostra



**Fonte:** Autora, 2022

#### 6.4 Ensaios de caracterização de solo

Foram conduzidos diversos ensaios com o objetivo de realizar a caracterização física e química do solo. A coleta do material para a realização

desses ensaios foi feita seguindo as normas ABNT referentes a cada ensaio específico. Os ensaios foram realizados em parceria com o Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da Universidade Federal de Santa Maria e também com o Laboratório de Tratamento de Minérios (LATRAM) da Universidade Federal do Pampa.

O material após chegada no laboratório, passou por um segundo processo de secagem em uma estufa por onde ficou por 24h. Em seguida, o material passou por um britador para o processo de destorroamento e desagregação da amostra (Figura 4).

**Figura 4.** (A) Secagem dos materiais em estufa; (B) Materiais secos e ainda na forma de torrões; (C) Materiais destorroados.



Fonte: Autora, 2022

#### 6.4.1 Análise granulométrica por sedimentação e peneiramento

Para a realização da análise, foram utilizadas como modelo os procedimentos descritos na NBR 7181/84, que são divididos entre as etapas de sedimentação e peneiramento. O ensaio de sedimentação foi realizado para determinar a distribuição granulométrica da fração fina do solo. Utilizou-se o método da velocidade de queda das partículas sólidas em meio líquido, baseado na lei de Stokes. A parte do solo com

diâmetro superior a 0,075 mm foi analisada por peneiramento, enquanto a fração com diâmetro igual ou inferior a 0,075 mm foi submetida ao ensaio de sedimentação.

O material coletado foi colocado em recipientes distintos e então alocado em uma estufa a 25°C para secagem durante 24 horas. Após esse processo, o material foi colocado em um almofariz e triturado utilizando uma mão de gral. Em seguida, o material foi peneirado com uma peneira de 2mm, e a fração que passou pela peneira foi coletada para a realização dos ensaios.

Para realização do ensaio de sedimentação, foram utilizados cerca de 100g de amostra em um copo béquer e em seguida, adicionou-se 125ml de defloculante hexametáfostato. Após esse preparo, a mistura ficou em repouso por um período de 24h. Passado o tempo determinado, a mistura foi transferida para o aparelho de dispersão e, com o auxílio de água destilada, foi removido todo o material decantado no fundo do copo béquer.

Com todo conteúdo no recipiente, o aparelho dispersor foi ligado, permanecendo em funcionamento por 15 minutos.

Após a ação do dispersor, o material foi transferido para uma proveta de vidro e com auxílio de água, a mesma foi preenchida até completar 1 litro. A boca da proveta foi vedada e o conteúdo foi agitado manualmente durante 3 minutos. Finalizado o processo de agitação, a proveta foi colocada sobre uma bancada, anotando-se o horário inicial do ensaio com o material já em repouso e as medidas apresentadas em intervalos pré-estabelecidos de tempo com o auxílio de um bulbo inserido dentro da proveta. Foram registradas leituras em: 30 segundos, 1, 2, 4, 8, 15 e 30 minutos, 1, 2, 4, 8 e 24 horas.

Após a última leitura, em uma pia, todo material de dentro da proveta foi transferido para uma peneira nº200 (0,075mm) e com o auxílio do jato de água de uma piceta, foi removido o conteúdo retido na parede da proveta. O material então retido na peneira foi colocado em um recipiente e levado para a estufa em temperatura de 50°C durante 24 horas. Após a secagem do material, o mesmo foi peneirado nas peneiras de 1,2, 0,6, 0,42, 0,25 e 0,075mm e o conteúdo retido em cada uma delas foi anotado.

#### 6.4.2 Limites de Liquidez e Plasticidade

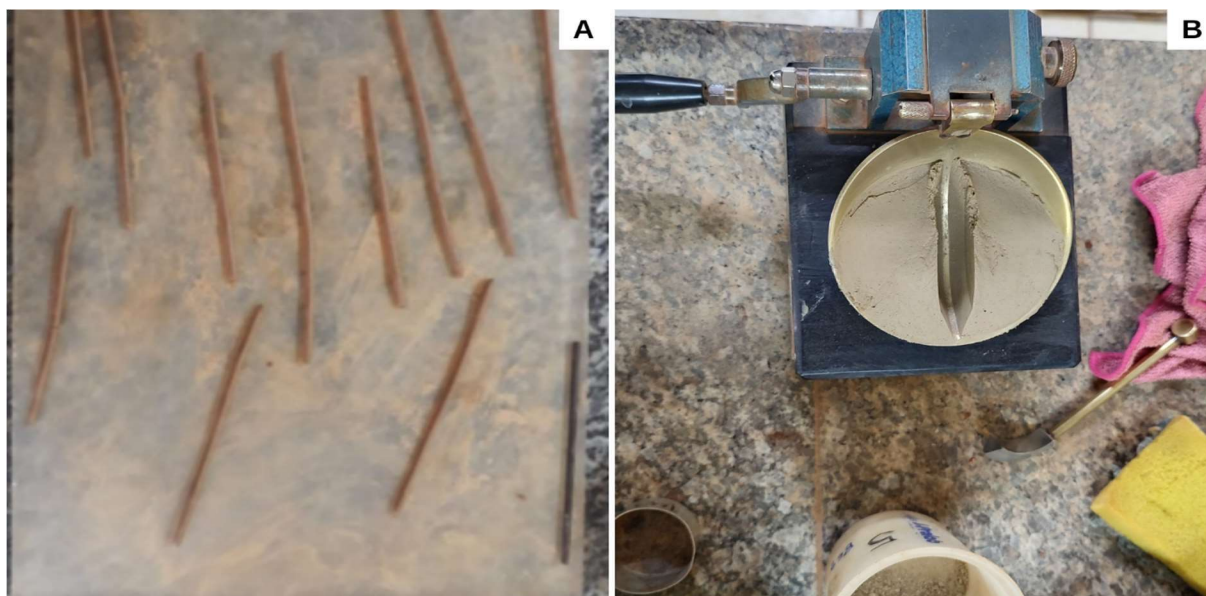
Utilizando como base as NBRs 6459/84 e 7180/84, foram realizados os ensaios de limites de liquidez e plasticidade, também conhecidos como Limites de Atterberg. Para a realização dos ensaios, o conteúdo utilizado deve ter granulometria igual ou inferior a 0,42mm, passantes na peneira 40.

Para a realização do ensaio, foi separada uma porção da amostra com cerca de 200g adicionado água aos poucos, até que o solo estivesse com uma consistência pastosa e homogênea.

Todo o processo realizado até atingir a consistência ideal do material, levou aproximadamente 30 minutos. Após esse processo, foi tomada uma pequena porção da amostra para que fosse modelada em forma de cilindro de aproximadamente 3mm de diâmetro e 10 cm de comprimento (Figura 5<sup>a</sup>). Após isso, o cilindro fragmentado por perda de umidade é transferido para uma cápsula e passa por secagem para a determinação da umidade conforme a ABNT 6457.

O ensaio de limite de liquidez foi realizado de acordo com a norma ABNT NBR 6459/84. Antes de iniciar o procedimento, o aparelho de Casagrande foi devidamente calibrado. O ensaio consistiu em adicionar água destilada a uma pequena porção de solo em um recipiente de porcelana até obter uma pasta homogênea e semiflúida. Uma vez alcançadas essas características, o conteúdo foi colocado no equipamento de Casagrande (Figura 5-B), seguindo as recomendações da norma. Durante a execução do ensaio, as amostras foram homogeneizadas adicionando-se quantidades adicionais de água de 1,5 ml por vez. Durante o ensaio, os valores foram registrados em uma tabela, sendo o valor do Limite de Liquidez (LL) determinado pela umidade correspondente a 25 golpes do equipamento.

**Figura 5.** (A) Cilindros de 3mm – Limite de plasticidade; (B) Aparelho de Casagrande com amostra – Limite de liquidez.



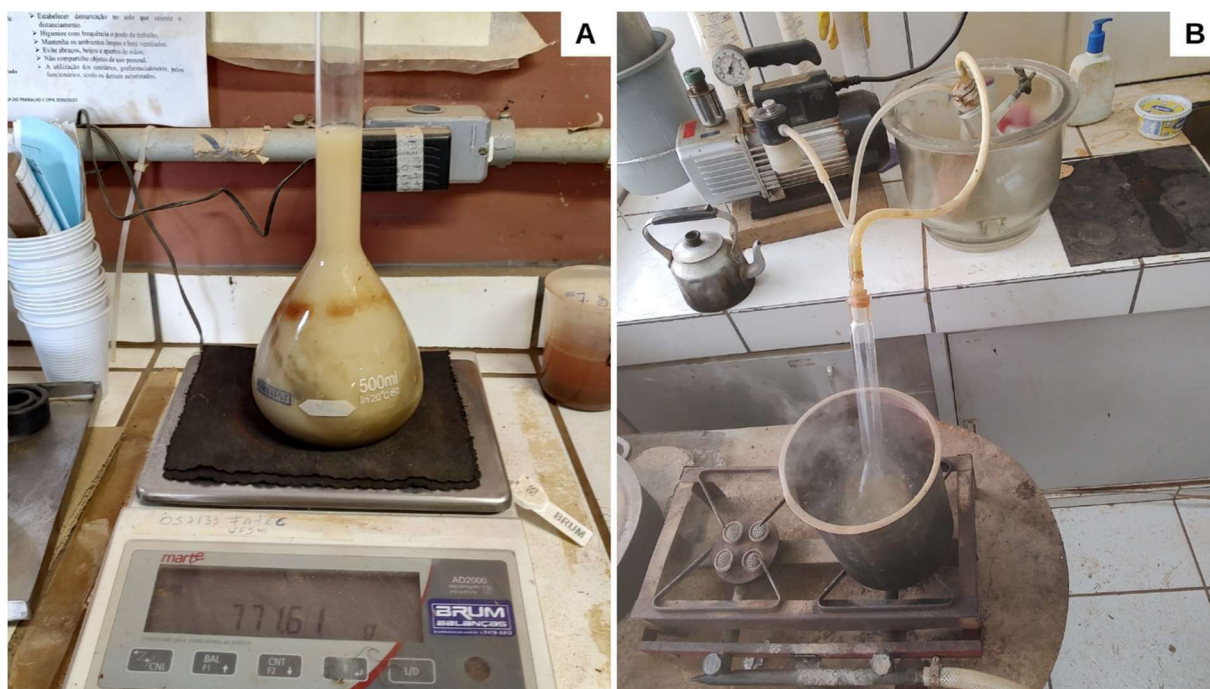
**Fonte:** Autora, 2022

#### 6.4.3 Peso específico dos sólidos

O ensaio do peso específico real dos grãos foi realizado de acordo com a norma ABNTNBR 6508/84 através do método do picnômetro. A sequência de figuras a seguir apresenta registros do procedimento realizado no dia.

A figura abaixo mostra a pesagem do funil acoplado ao picnômetro e também ilustra o processo de retirada de ar do recipiente com o auxílio de uma bomba de vácuo.

**Figura 6.** (A) Pesagem do Picnômetro; (B) Retirada do ar interno.



**Fonte:** Autora, 2023

#### 6.4.5 Compactação de solo

No ensaio de compactação de solo, também conhecido como ensaio de compactação de Proctor, a preparação da amostra foi realizada de forma condizente com a especificada na NBR 6457/2016, com secagem prévia até a umidade higroscópica. Com todo o material tendo passado na peneira 4,8mm e fazendo o reuso desse material, utilizou-se o cilindro pequeno (Figura 7 B ) e uma quantidade de 3 kg de amostra.

Para o preenchimento do cilindro, a quantidade de amostra adicionada foi dividida em 3 partes, sendo que entre cada uma delas, era necessário a compactação (Figura 7 A) com o 26 golpes com o soquete pequeno, de uma altura de 30,5 cm. O procedimento foi repetido 5 vezes, todas as vezes com adição de 60 ml de água (Figura 8). A cada repetição, com uma nova quantidade de água adicionada, o conjunto de cilindro + amostra era pesado e tinha o valor da balança anotado.

**Figura 7.** (A) Cilindro preenchido e compactado; (B) Cilindro pequeno.



**Fonte:** Autora, 2022

**Figura 8.** Preparação da amostra



**Fonte:** Autora, 2022

#### 6.4.6 Ensaio de permeabilidade

O método de ensaio consiste em manter a taxa de fluxo constante enquanto se variamos incrementos de gradiente hidráulico.

O permeâmetro foi preenchido com carga constante de 9,258g (molde + solo + água), como pode ser visto na (Figura 9) abaixo. Em seguida foi aplicado vácuo para remover o ar e após a saturação do corpo de prova, ajustaram-se as válvulas manométricas para verificar o equilíbrio do sistema. Quando o sistema entrou em equilíbrio, foi aplicada uma variação de gradiente e realização de medidas de vazão, temperatura e diferença de altura manométrica entre a base e o topo do corpo de prova durante 4 dias, anotando-se valores como altura inicial e final d'água e a temperatura do ensaio.



**Figura 9.** Permeâmetro



**Fonte:** Autora, 2022

## 7 PLANEJAMENTO

O planejamento do um teste geomecânico de solos requer alguns passos essenciais para obter resultados precisos e confiáveis.

O primeiro passo foi a escolha do local, dentro da área urbana da cidade para facilitar o acesso à área de coleta. A seleção cuidadosa do local é fundamental para garantir que as características do solo testado sejam adequadas para a finalidade do estudo.

Os procedimentos de coleta seguiram as melhores práticas para evitar contaminação ou alteração das características do solo e após a coleta e as amostras foram preparadas adequadamente para o teste em laboratório. Isso incluiu a remoção de materiais indesejáveis, a homogeneização e a padronização das amostras.

Antes de iniciar os testes, foi importante definir as condições do ensaio, como a taxa de aplicação de carga, a umidade das amostras e a temperatura do ambiente. Esses parâmetros podem afetar os resultados e, portanto, devem ser cuidadosamente controlados.

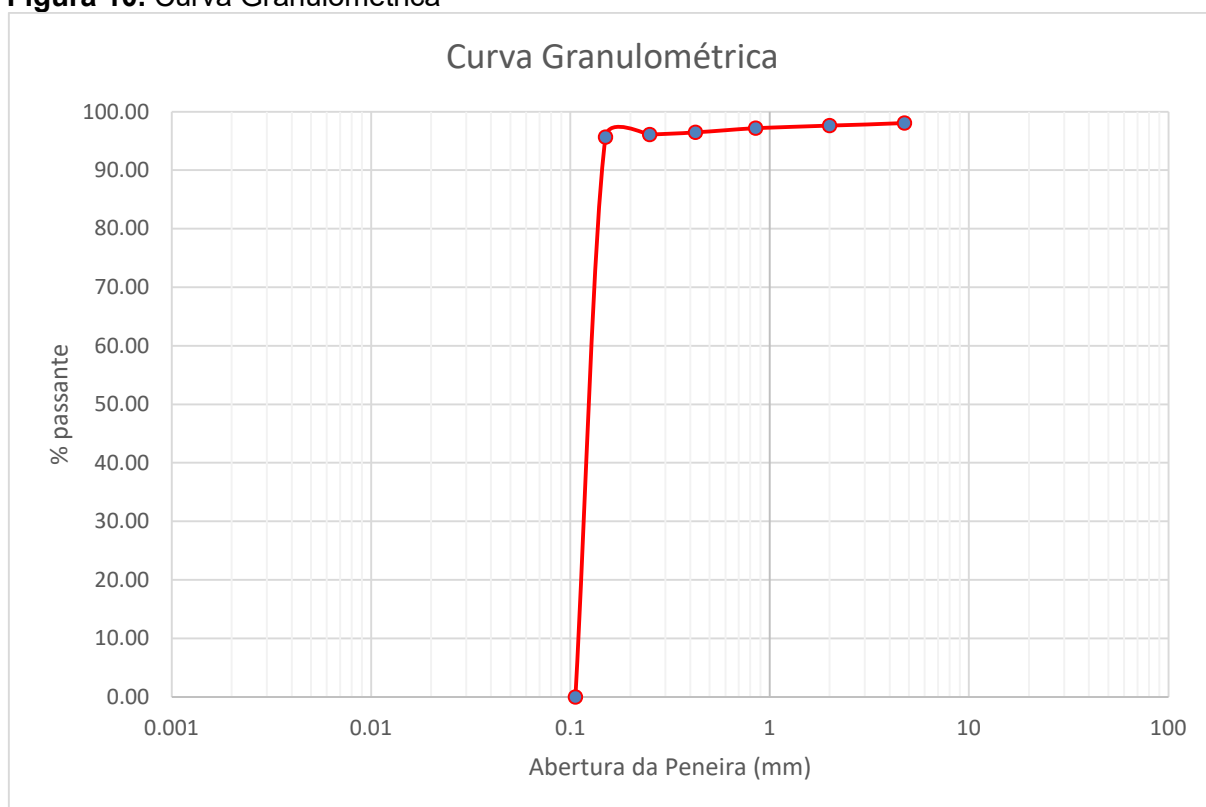
Com os testes realizados, os resultados foram analisados de acordo com os objetivos do estudo. É fundamental comparar os dados obtidos com valores de referência ou critérios previamente estabelecidos para uma correta interpretação dos resultados.

## 8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico, serão discutidos os resultados dos ensaios realizados.

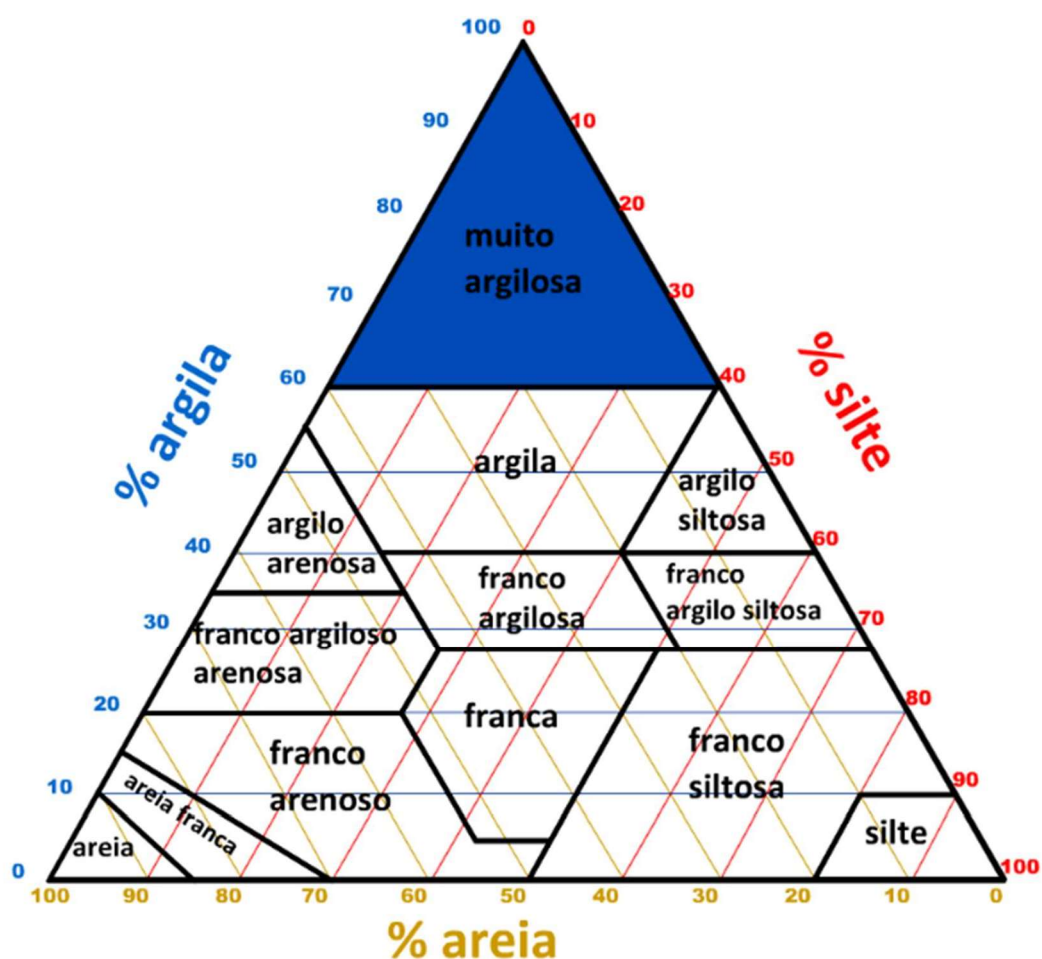
### 8.1 Análise granulométrica por sedimentação e peneiramento

A análise granulométrica revelou os seguintes resultados em ordem crescente: pedregulho 1%, areia fina 6%, silte 28,44% e argila 64,56%. Com base nesses resultados, verificou-se que a fração de argila é predominante, seguida pelo silte e pela areia fina, indicando que o solo pode ser classificado como argila, como confirmam o gráfico da curva granulométrica (Figura 10) e o diagrama ternário (Figura 11), abaixo. A análise tátil-visual realizada no campo confirmou esses resultados, corroborando com a análise laboratorial.

**Figura 10.** Curva Granulométrica

**Fonte:** Autora, 2023

**Figura 11.** Diagrama trilinear (Triângulo de Feret).



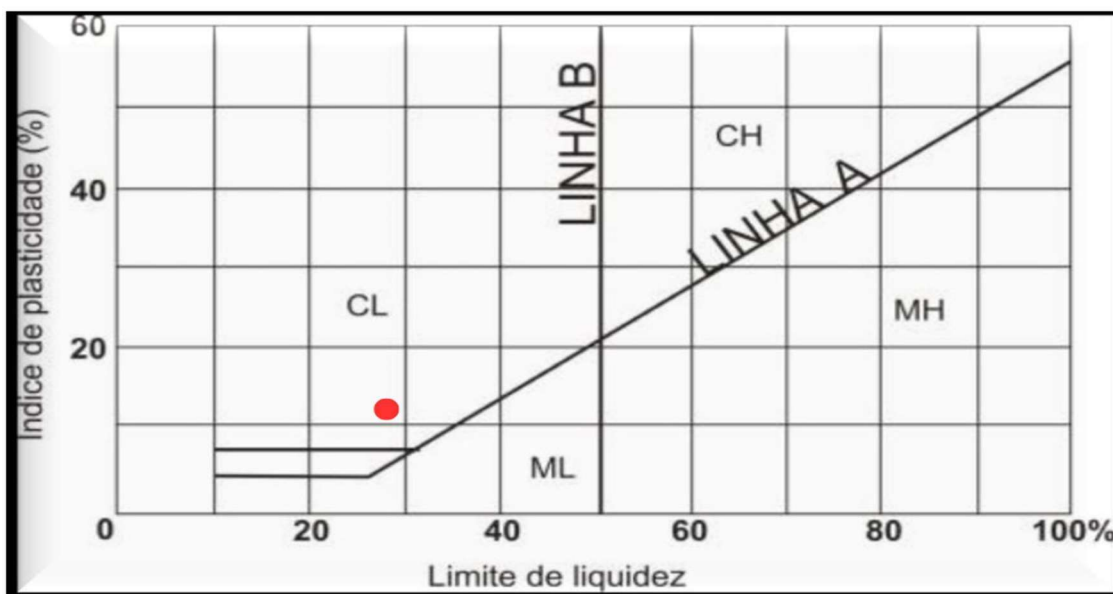
**Fonte:** Autora, 2023

### 8.2 Limites de Liquidez e Plasticidade (Limites de Atterberg)

O solo foi classificado com base nos limites de Atterberg, conforme apresentado na figura abaixo. O limite de liquidez (LL) através dos cálculos obtidos com os resultados dos ensaios foi igual 28%, enquanto o limite de plasticidade (LP) foi igual a 11%, números que resultam em um Índice de Plasticidade (IP) igual a 17%, o que significa que este solo permanece em estado plástico por uma maior variação de teores de umidade, indicando uma maior plasticidade do solo, a partir da classificação de Jenkins, onde:  $1 < IP < 7$ : solos fracamente plásticos;  $7 < IP < 15$ : solos medianamente plásticos;  $IP > 15$ : solos altamente plásticos.

Quando plotado na carta de plasticidade de Casagrande (Figura 15), o solo pode ser caracterizado como um solo argiloso (C) e de baixa compressibilidade (L).

**Figura 12.** Carta de plasticidade de Casa Grande



Fonte: Adaptado de Research Gate, 2023

### 8.3 Peso específico dos sólidos

O resultado do peso específico dos sólidos, a partir das análises, foi de 2,699 g/cm<sup>3</sup>. Esse valor é consistente com a mineralogia dos solos encontrados na região, como o predomínio de quartzo, feldspato, muscovita e biotitas, característicos de um solo proveniente de um granito.

### 8.4 Compactação de solo

O resultado obtido para a compactação de solo através dos testes, indicou que a densidade máxima aparente da amostra é igual a 1652 kg/m<sup>3</sup> e que sua umidade ótima se encontra no valor de 18,3%.

### 8.5 Ensaio de permeabilidade

O ensaio de permeabilidade, padronizado pela NBR 14545/2000, realizado com o solo amostrado, gerou um resultado de permeabilidade igual a  $1,89 \times 10^{-8}$  cm/s para tensões superiores a 196 kPa.

### 8.6 Composição química

Através das análises de Raio-x realizada no LATRAM (Unipampa), pode-se obter, após 3 leituras distintas, os resultados representados na figura abaixo, onde estão destacados os elementos de maior relevância para o estudo.

**Tabela 1** Análise de composição química

Type	Duration	Mg	Al	Si	K	Fe
Leitura 1	120,80	3,47	17,10	42,50	1,63	3,01
Leitura 2	120,80	1,79	16,80	42,40	1,62	2,98
Leitura 3	120,70	2,90	17,20	42,80	1,66	3,04

**Fonte:** Autora, 2023

As medições realizadas pelo equipamento de Raio-x se mostram condizentes com os resultados esperados, por apresentarem elementos químicos muito característicos do solo da região.

## 9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando comparados os resultados laboratoriais adquiridos após a análise da amostrado solo de interesse com os da bibliografia relacionada à argila bentonítica, sendo ela cálcica, sódica ou mista, percebemos que os valores da principal característica de interesse dessa argila, no caso a permeabilidade, são muito inferiores aos valores encontrados para o solo analisado. A bentonita apresenta um índice de permeabilidade de aproximadamente  $9 \times 10^{-10}$  cm/s, enquanto a permeabilidade do solo amostrado se encontra próximo ao valor de  $1,89 \times 10^{-8}$  cm/s, indicando que a permeabilidade da argila bentonítica se mostra cerca de 21 vezes menor que a do solo caçapavano.

Com relação as demais características como composição química, ambos apresentam elementos parecidos em sua composição, possuindo quantidades significativas de elementos como Mg, Fe e Al. Apesar de os elementos químicos do solo estarem diretamente relacionados com a sua mineralogia, a análise química não reflete de maneira precisa os minerais formadores deste solo, podendo este ser constituído por diversos minerais compostos pelos elementos químicos indicados, sem estes apresentarem características expansivas como as argilas 2:1, por exemplo.

**Tabela 2** Comparação de parâmetros: Solo Caçapavano x Argila Bentonítica

	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	Limite de Liquidez (LL)	Limite de Plasticida de (%)	Índice de Plasticida de (IP) (%)	Permeabi- lidade
Bentonita (sódica)	1048	505	80	425	9 x 10-10
Solo Caçapavano	2699	28	11	17	1,8 x 10-8

**Fonte:** Autora, 2023

Diante dessa comparação, pode-se concluir que o solo amostrado na localidade do Campo das Nações em Caçapava do Sul, não é um solo com características interessantes para ser usado como um liner de argila.

Como o estudo de Lemos (1973) sugere, esse solo, se corrigido utilizando aditivos adequados devido a sua alta concentração de alumínio e consequente acidez, poder ser utilizado como lavoura para a produção de alimentos se mostrando ainda útil, mesmo que não como material impermeabilizante.

## 10 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E.F.M. & HASUI, Y. **O Pré-Cambriano do Brasil**. São Paulo, Blücher, p. 378, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:**

**Classificação de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro, p. 1-2. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14545: Solo — Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15849: **Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180:**

**Determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182: Solo – Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419:**

**Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992.



BORGATTO, A. V. Z. **Estudo do efeito fibra e da morfologia na estabilidade de aterros de resíduos sólidos urbanos**. 2006. 174 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

BOSCOV, Maria Eugenia Gimenez. **Geotecnia Ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 248 p.

BOUAZZA, A. **Geosynthetic Clay Liners. Geotextiles and Geomembranes**, v. 20, p. 3-17. 2002. apud SOBIESIAK, E. C., 2017. **Geocomposto argiloso: estudo comparativo do liner de argila compactada em impermeabilização de fundo de aterro sanitário**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017. 74p.

CARRA, T. A; CONCEIÇÃO, F. T; TEXEIRA, B. B; 2013 **Indicadores para a gestão de resíduos sólidos em aeroportos e sua aplicação no Aeroporto Internacional de Viracopos, Campinas, São Paulo**. Engenharia Sanitária Ambiental, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 131-138, jun. 2013

**CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA DE APTIDÃO À URBANIZAÇÃO DA ZONA DE EXPANSÃO E DA ZONA DE BAIXA OCUPAÇÃO DA CIDADE DE MANAUS**. - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-522-Carta-de-plasticidade-de-Casagrande-onde-CArgiloso-MSilte-argiloso-L\\_fig7\\_348630222](https://www.researchgate.net/figure/Figura-522-Carta-de-plasticidade-de-Casagrande-onde-CArgiloso-MSilte-argiloso-L_fig7_348630222) [accessed 10 Jul, 2023]

COELHO, A. C. V. **Estrutura Cristalina dos Argilominerais- Parte 5 / 6**.

DAGNINO, R. S. **Um olhar geográfico sobre a questão dos materiais recicláveis em Porto Alegre: sistemas de fluxos e a (in)formalidade, da coleta à comercialização**. 2004. 133 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

DAGNINO, R. S., 2006. **Resíduos Sólidos: Lixo ou Matéria-prima?** Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Dagnino/publication/233381815\\_Residuos\\_Solidos\\_Lixo\\_ou\\_Materia-prima/links/592edeb2aca272fc55c8fe79/Residuos-Solidos-Lixo-ou-Materia-prima.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ricardo-Dagnino/publication/233381815_Residuos_Solidos_Lixo_ou_Materia-prima/links/592edeb2aca272fc55c8fe79/Residuos-Solidos-Lixo-ou-Materia-prima.pdf)> Acesso em 18/07/2022. DANIEL, D.E.; KOERNER, R.M. **Waste Containment Facilities: Guidance for construction, quality assurance and quality control of liner and cover systems**. 2. ed. New York:

ASCE.2007. 352p.

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL - Pós-graduação - Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro. 2011. **Argilominerais, propriedades e aplicações - Classificação estrutural dos Argilominerais**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://ecivilufes.files.wordpress.com/2011/08/argilominerais-propriedades-e-aplicac3a7c3b5es.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2022.

e-Aulas - Portal de Videoaulas da Universidade de São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://eaulas.usp.br/portal/video?idItem=19564>>. Acesso em: 21 jul. 2022

FARACE, B. L.; SILVEIRA, F. M. R.; GUEDES, F. N. de J. **A argila bentonítica atuando como impermeabilizante em base de aterros sanitários**. Revista Engenharia de Interesse Social, [S. l.], v. 1, n. 1, 2016. DOI: 10.35507/25256041/reis.v1i1.1439. Disponível em: <https://revista.uemg.br/index.php/reis/article/view/1439>. Acesso em: 27 jul. 2022.

JIMÉNEZ ROJAS, José Waldomiro; CONSOLI, Nilo Cesar; SALVAGNI HEINECK, Karla. **APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ENCAPSULAMENTO EM UM SOLO CONTAMINADO COM BORRA OLEOSA ÁCIDA**. Revista de Estudos Ambientais, [S.l.], v. 9, n. 2, p. 6-15, maio 2008. ISSN 1983-1501. Disponível em: <<https://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/721>>. Acesso em: 27 jul. 2022. doi: <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2007v9n2p6-15>.

LEMOS, R, C. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul**. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa 123 Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Recife, 1973. 431 p. (Boletim Técnico nº 30)

LUZ, A. B; OLIVEIRA, C. H.. **Rochas e Minerais Industriais** - CETEM/2008 2° Ed. Capítulo 11 Argila - Bentonita. 2008.

**Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas**. São Paulo: CETESB, 2001.

MEUNIER, A; BORTOLUZZI, E. C; MEXIAS, A. S. **Le Monde Des Argiles**. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2016. 256p.

PÉREZ, C. A. GOBBI, MARCOS, J. L. N.; PADUANI, C.; J. D. ARDISSON, J. D., 2004. **Caracterização de argilas encontradas em solos de Terras Indígenas do RS com o auxílio da espectroscopia Mössbauer de <sup>57</sup>Fe**, In: **Cerâmica**, Volume:

50, Número: 313, Publicado: 2004.

PREVETI, L. S; LAVOIE, F, L.,2017. **Estudo do comportamento da bentonita utilizada em CGL's (geosynthetic clay liners) para aplicação em bases de aterros de resíduos.** Disponível em: < [https://maua.br/files/122017/estudo-do-comportamento-bentonita-utilizada-gcls-\(geosynthetic-clay-liners\)-para-aplicacao-bases-aterros-residuos-261743.pdf](https://maua.br/files/122017/estudo-do-comportamento-bentonita-utilizada-gcls-(geosynthetic-clay-liners)-para-aplicacao-bases-aterros-residuos-261743.pdf)> Acessado em 10 jul 2023

RODRIGUES, M. C. **Tratamento eletrolítico de lixiviado de aterro sanitário.**

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

SANTOS, C. B. **Caracterização do impacto na qualidade das águas subterrâneas, causado pela disposição dos resíduos sólidos urbanos no aterro municipal da cidade de Feira de Santana - BA.** 188 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, 2004.

SANTOS, L. R. R; SILVA L. C. A. F. M. **Aplicações de geossintéticos na Geotecnia ambiental: análise de publicações brasileiras nos últimos 20 anos(1999 a 2018).**

2019. 17 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO, 2019.

SOCIEDADE INTERNACIONAL DE GEOSSINTÉTICOS (International

Geosynthetic Society – IGS). Disponível em: <<https://igsbrasil.org.br/>>. Acesso em: 21 julho. 2022.

SOUTO, G.B.; POVINELLI, J. **Características de lixiviados de aterros sanitários no Brasil**. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, 2007.

STRECK, E. V. et al. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2008.

USEPA, 2009. U.S. Environmental Protection Agency EPA/600/R-09/148 November 2009. **Technology Performance Review: Selecting and Using Solidification/Stabilization**. Disponível em:<<https://dokumen.tips/documents/technology-performance-review-selecting-and-using-solidification-stabilization.html?page=1>>. Acesso em: 21/07/2022.

Tonin, Fábio. **Plasticidade e consistência de solos. Faculdade do Sudoeste Paulista** - Engenharia civil. Disponível em:

<<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/05/apostila-plasticidade.pdf>>. Acesso em 10 jul. 2023

VELDE, B. B; MEUNIER, A. **The Origin of Clay Minerals in Soils and Weathered Rocks**. Poitiers: Springer- Verlag, 2008. 406 p.

VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. São Paulo: Blucher, 2015.