

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
*CAMPUS CAJAZEIRAS*

ANA RUTE GONÇALVES DE SOUSA

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESIDÊNCIAS A  
PARTIR DA CARACTERIZAÇÃO DO SOLO EM ICÓ-CE**

Cajazeiras-PB  
2025

ANA RUTE GONÇALVES DE SOUSA

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESIDÊNCIAS A  
PARTIR DA CARACTERIZAÇÃO DO SOLO EM ICÓ-CE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-*Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Gastão Coelho de Aquino Filho.

Coorientadora: Eng. Damiana Andreia Tavares Soares.

IFPB / Campus Cajazeiras  
Coordenação de Biblioteca  
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva  
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

S725a Sousa, Ana Rute Gonçalves de.

Análise das manifestações patológicas em residências a partir da caracterização do solo em Icó-CE / Ana Rute Gonçalves de Sousa. – Cajazeiras, 2025.

56f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2025.

Orientador(a): Prof. Me. Gastão Coelho de Aquino Filho.

Coorientador: Eng. Damiana Andreia Tavares Soares.

1. Construção civil. 2. Fundação. 3. Análise de solo. 4. Manifestação patológica. I. Instituto Federal da Paraíba. II. Título.

IFPB/CZ

CDU: 624.1(043.2)

ANA RUTE GONÇALVES DE SOUSA

**ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM RESIDÊNCIAS A  
PARTIR DA CARACTERIZAÇÃO DO SOLO EM ICÓ-CE**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à  
Coordenação do Curso de Bacharelado em  
Engenharia Civil do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba,  
*Campus* Cajazeiras, como parte dos  
requisitos para a obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 13 de março de 2025.

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **GASTÃO COELHO DE AQUINO FILHO**  
Data: 18/03/2025 15:14:36-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Gastão Coelho de Aquino Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Orientador

Documento assinado digitalmente  
 **DAMIANA ANDREIA TAVARES SOARES**  
Data: 18/03/2025 17:50:07-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Damiana Andreia Tavares Soares – Terra Sol Engenharia  
Coorientadora

Documento assinado digitalmente  
 **DANIEL TORRES FILHO**  
Data: 18/03/2025 15:12:21-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Daniel Torres Filho – IFPB-*Campus* Cajazeiras  
Examinador 1

Dedico este trabalho aos meu pais, pois são o alicerce que me permitiu concretizar este sonho.

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por Sua bondade infinita que permitiu chegar até aqui, “pois Dele, por Ele e para Ele são todas as coisas”.

Sou infinitamente grata aos meus pais Vicente e Valnice pelo amor incondicional, a motivação desde o princípio e por serem porto seguro em todos os momentos da minha trajetória. À minha tia Valmira, meu irmão Daniel e meu primo Isaías, por acompanharem de perto e me oferecerem apoio em todo os momentos.

Às minhas amigas Ana Livia, Jamile, Maria Tereza, Paulla, Tácia, Valéria, Jennifer e Evely por todos os momentos e conversas que me deram forças durante esta caminhada. Ao meu amigo Lucas Gonçalves pelo incentivo constante e suporte.

A todos os amigos que fiz durante a minha graduação dividiram comigo a jornada acadêmica entre estudos na biblioteca e conversas no pátio, com a companhia deles tudo se tornou mais leve.

Ao meu orientador Gastão Coelho de Aquino Filho e à minha coorientadora Damiana Andreia Tavares Soares, por toda a paciência, dedicação e confiança que me motivaram a seguir nessa pesquisa. Seus conhecimentos e experiência foram fundamentais para que esse projeto fosse desenvolvido.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para esse trabalho, gratidão.

## RESUMO

O solo é a base para a construção civil, pois é sobre ele que todas as edificações são construídas. Este material possui características particulares a depender da sua origem, localização, profundidade, dentre outros aspectos. É importante que haja a investigação do subsolo onde as fundações serão colocadas, bem como a escolha adequada do tipo de fundação, responsável pelo suporte das cargas transmitidas pela estrutura da edificação. Quando não há o estudo prévio do subsolo ou quando a fundação escolhida é inadequada para o tipo material, pode ocorrer o aparecimento de patologias durante a vida útil da construção. Este trabalho teve como objetivo caracterizar um solo da Cidade de Icó, no Ceará, e relacionar suas propriedades com as manifestações patológicas de residências no Bairro Conjunto Delta. Para tanto, foram coletadas amostras deformadas e indeformadas, possibilitando seu estudo em laboratório. O solo encontrado possui uma grande parcela de finos, silte e argila, apresentando alto índice de plasticidade. Dessa forma foi possível caracterizá-lo como expansivo, devido a quantidade de argilominerais presentes em sua composição, sendo este um fator que contribui para o recalque diferencial em edificações e, conseqüentemente, surgimento de trincas, fissuras e rachaduras.

**Palavras-chave:** solo; manifestações patológicas; construção civil.

## ABSTRACT

The soil is the foundation for civil construction, as all buildings are constructed upon it. This material has characteristics depending on its origin, location, depth, and other factors. It is important to investigate the subsoil where the foundations will be placed, as well as choosing the appropriate type of foundation, responsible for supporting the loads transmitted by the building structure. When there is no prior study of the subsoil, or when the chosen foundation is unsuitable for the soil type, issues can arise during the building's lifespan. This study aimed to characterize a soil from the city of Icó, in Ceará, and correlate its properties with the pathological manifestations observed in homes in the Conjunto Delta neighborhood. To this end, both disturbed and undisturbed samples were collected for laboratory analysis. The soil found has a significant number of fines, silt, and clay, presenting a high plasticity index. Therefore, it was characterized as expansive due to the amount of clay minerals in its composition, which is a factor contributing to differential settlement in buildings and, consequently, the emergence of cracks, fissures, and fractures.

**Keywords:** soil; pathological manifestations; civil construction; soil characterization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curvas granulométricas de diferentes solos.....	20
Figura 2 - Exemplo de <i>slickenside</i> de um solo no Município de Manga - MG.....	24
Figura 3 - Resultados de ensaio SPT realizado pela empresa Terra Sol Engenharia. ....	27
Figura 4 - Poço de coleta de amostras e amostra indeformada moldada <i>in loco</i> .....	28
Figura 5 - Desenho esquemático do corpo de prova utilizado no ensaio de adensamento.....	29
Figura 6 - Curva de altura do corpo de prova para cálculo do coeficiente de adensamento pelo Processo de Casagrande.....	31
Figura 7 - Curva de índice de vazios em função do logaritmo da pressão. ....	32
Figura 8 - Processo de Pacheco e Silva para obtenção da tensão de pré-adensamento.....	33
Figura 9 - Deformações em paredes portantes e seus efeitos. ....	34
Figura 10 - Mapa de Localização do Município de Icó-CE. ....	35
Figura 11 - Mapa de localização da coleta de amostras. ....	36
Figura 12 - Coleta de amostra deformada acondicionada e etiquetada. ....	37
Figura 13 - Coleta de amostra indeformada cúbica e acondicionamento.....	37
Figura 14 - Análise tátil visual do solo.....	39

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva granulométrica da amostra 1. ....	41
Gráfico 2 - Curva granulométrica da amostra 2. ....	41
Gráfico 3 - Curva granulométrica da amostra 3. ....	42
Gráfico 4 - Limite de liquidez da amostra 1. ....	43
Gráfico 5 - Limite de liquidez da amostra 2. ....	43
Gráfico 6 - Limite de liquidez da amostra 3. ....	43
Gráfico 7 - Relação entre índice de vazios e pressão aplicada na amostra 1. ....	46
Gráfico 8 - Relação entre índice de vazios e pressão aplicada na amostra 2. ....	46

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos principais componentes dos solos.....	17
Quadro 2 - Classificação TRB.....	19
Quadro 3 - Classificação SUCS.....	19
Quadro 4 - Características dos solos expansivos e colapsíveis. ....	21
Quadro 5 - Métodos de identificação de solos expansivos.....	25
Quadro 6 - Classificação do grau de expansão dos solos de acordo com o Limite de Liquidez (LL) e Índice de Plasticidade (IP).....	25
Quadro 7 - Normas utilizadas para caracterização do solo. ....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3 - Critérios de identificação de solo colapsível.....	23
Tabela 2 - Teor de umidade higroscópico.....	39
Tabela 3 - Resultado do ensaio de massa específica.....	40
Tabela 4 - Massa específica dos sólidos de cada amostra.....	40
Tabela 5 - Porcentagens das frações de solo de cada amostra.....	42
Tabela 6 – Limite de Plasticidade para cada amostra de solo.....	44
Tabela 7 - Índice de Plasticidade para cada amostra de solo.....	44
Tabela 8 - Resultados do ensaio de adensamento para a amostra 1.....	45
Tabela 9 - Resultados do ensaio de adensamento para a amostra 2.....	45
Tabela 10 - Resultado da RPA para cada amostra.....	46

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
3.1	ORIGEM E FORMAÇÃO DO SOLO.....	17
3.2	CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS .....	18
3.2.1	Solos Não Saturados .....	21
3.2.2	Solos Coesivos .....	22
3.2.3	Solos Colapsíveis .....	22
3.2.4	Solos Expansivos .....	23
3.3	INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO .....	25
3.4	ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL .....	28
3.5	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES .....	33
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>35</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	35
4.2	PROCESSO DE RETIRADA DAS AMOSTRAS DE SOLO .....	36
4.3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	37
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>39</b>
5.1	ANÁLISE TÁTIL VISUAL .....	39
5.2	TEOR DE UMIDADE HIGROSCÓPICO.....	39
5.3	MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS.....	40
5.4	GRANULOMETRIA.....	40
5.5	LIMITES DE ATTERBERG .....	42
5.6	ENSAIO DE ADENSAMENTO .....	44

5.7 PROPRIEDADES DO SOLO ASSOCIADAS ÀS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS .....	47
<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>48</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>49</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>52</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>55</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso fundamental para a construção civil, pois é sobre ele que todas as obras projetadas na engenharia são edificadas (Pinto, 2006). Conhecer as propriedades do solo torna-se crucial para garantir o bom desempenho da edificação ao longo de sua vida útil, proporcionando segurança enquanto suporta as cargas da fundação. Para Caputo (2015), num cronograma de investigações eficiente, é necessário considerar não apenas as características do terreno como propriedades, disposição das camadas e presença de água, como também o tipo de estrutura que este solo receberá.

“A estrutura do solo é definida como o arranjo ou a disposição geométrica das partículas de um solo entre si” (Das; Sobhan, 2015, p. 87). Solos mais argilosos, alteram seu comportamento na presença de água, provocando efeitos adversos. Esse tipo de solo é caracterizado por partículas finas que possuem uma força de aderência e atrito denominada coesão. Além disso, os vazios desse solo são muito pequenos fazendo com que possuam alta resistência à percolação e baixa permeabilidade (Zorzan *et al.*, 2019).

Ao submeter um carregamento de uma edificação em um solo com maior coesão, há um risco de ocorrer manifestações patológicas no futuro devido a possíveis recalques diferenciais. Alguns dos problemas decorrentes do recalque são fissuras e, em casos mais graves, rachaduras, causadas pela falta de investigação no solo e pela execução inadequada ou ausência de elementos de fundações, especialmente em solos com alto teor de argila.

De acordo com Milititsky, Consoli e Schnaid (2015) é possível identificar a ocorrência de solos colapsíveis e expansíveis ainda em fase preliminar, de forma a entender seu comportamento e influência nas fundações. “Na medida em que o solo é o meio que suporta as cargas, sua identificação e caracterização são essenciais para a solução de qualquer problema.” (Milititsky; Consoli; Schnaid, 2015, p. 27).

Observa-se que em um bairro da Cidade de Icó, no Ceará, há a ocorrência de manifestações patológicas devido ao recalque diferencial no solo. Algumas residências exibem pequenas fissuras, enquanto outras já apresentam rachaduras, muitas vezes exigindo intervenção dos moradores, mesmo que, em alguns casos, isso se limite a uma tentativa de mascarar o problema, visto que as fissuras tendem a reaparecer com o tempo.

Por este motivo, essa pesquisa foi idealizada com o objetivo de estudar a relação da ocorrência dessas manifestações patológicas com o perfil de solo presente na região a partir da análise geotécnica. Esse trabalho se faz necessário para que, conhecendo esta relação, possa

haver um embasamento futuro para o uso de técnicas construtivas adequadas para esse tipo de solo, resultando em edificações com maior segurança e conforto para os moradores da comunidade.

## **2 OBJETIVOS**

Nesse capítulo delinea-se os objetivos do Trabalho de Conclusão do Curso.

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Compreender a relação entre as características de um solo e as manifestações patológicas em edificações localizadas do Bairro Conjunto Delta, Cidade de Icó, Ceará.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para atingir o objetivo geral, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- obter a caracterização física do solo a partir da coleta de amostras e ensaios de laboratório;
- analisar a resposta do solo a solicitações relacionadas a deformações verticais a partir do ensaio de adensamento;
- comparar as características do solo com as manifestações patológicas presentes nas edificações.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Para Santos Neto (2018) o solo é todo material natural encontrado na crosta terrestre de origem definida e desmonte fácil, podendo ser escavado tanto com trator ou escavadeira, como com ferramentas manuais, como enxada ou pá. Sendo, dessa forma, um material acessível e amplamente utilizado de formas distintas, principalmente na construção civil.

Oliveira Junior (2022) define o solo como um sistema trifásico, com componentes diversos organizados para que, em conjunto, executem importantes funções. O autor considera um sistema dividido em três fases, sendo elas: a) líquida (solução do solo), b) gasosa (ar do solo) e, c) sólida (material orgânico e material mineral). O Quadro 1 descreve os principais componentes do solo.

Quadro 1 - Descrição dos principais componentes dos solos.

FASE	COMPONENTE	DESCRIÇÃO
SÓLIDA	Matéria Mineral	Minerais primários das rochas ígneas e metamórficas
		Minerais secundários da alteração dos minerais primários
	Matéria Orgânica	Matéria viva: raízes, microrganismos, fauna do solo
		Matéria morta: restos de animais e vegetais
LÍQUIDA	Solução	Água do solo mais íons orgânicos e inorgânicos em solução
GASOSA	Ar	O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , vapor de água e outros gases

Fonte: Adaptado de Oliveira Junior (2022)

#### 3.1 ORIGEM E FORMAÇÃO DO SOLO

De acordo com Oliveira Junior (2022) os solos são formados por intemperismo físico, intemperismo químico ou intemperismo biológico. O autor afirma que o intemperismo físico se dá a partir da expansão ou contração da rocha, de acordo com a temperatura. “Outros agentes físicos que ajudam a desintegrar as rochas são as geleiras glaciais, o vento, a água corrente de riachos ou rios e as ondas do mar” (Das; Sobhan, 2015, p. 14).

O intemperismo químico, por sua vez, ocorre quando a água, em grande quantidade e em altas temperaturas, atinge os minerais que compõem as rochas, fazendo com que a sua constituição mineralógica seja modificada (Santos Neto, 2018).

Segundo Oliveira Junior (2022) o intemperismo biológico acontece a partir das interações entre a rocha, a fauna e a flora. O autor considera este tipo de intemperismo mais complexo, pelo fato de que, a forma e intensidade que essas ações alteram a rocha, são difíceis de dimensionar.

Chioffi (2013) afirma que a importância do intemperismo se encontra na destruição das

rochas, que tem como consequência a produção de outros materiais, que constituirão os solos, os sedimentos e as rochas sedimentares. “Elas [as rochas] são o acúmulo do produto da decomposição e desintegração de todas as rochas presentes na crosta terrestre” (Chiossi, 2013, p. 39).

“Os solos, sendo produto da natureza, apresentam geralmente grande variabilidade tanto de ocorrência como de propriedades” (Milititsky; Consoli; Schnaid, 2015, p. 57). Ao passar pelos processos de intemperismo e receber a ação de diversos agentes, as características de várias rochas definem o aspecto do solo após sua formação. “É verdade conhecida que, em se tratando de solos e rochas, a heterogeneidade é a regra, a homogeneidade, a exceção” (Caputo, 2015).

### 3.2 CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS

As classificações dos solos dependem de diferentes aspectos. Os variados tipos de solos que possuem propriedades semelhantes podem ser classificados em grupos a partir do seu comportamento (Das; Sobhan, 2015). Os autores afirmam que “os sistemas de classificação fornecem uma linguagem comum para expressar, de modo conciso as características gerais de solos, que são infinitamente variadas, sem descrições detalhadas” (Das; Sobhan, 2015, p. 95).

A classificação granulométrica secciona os tipos de solo de acordo com o tamanho de seus grãos. Segundo Chiossi (2013), o comportamento do solo está ligado, de certa forma, ao tamanho das partículas que o compõem.

No Manual do DNIT (2006) os solos são divididos em grupos e subgrupos de acordo com sua granulometria, limites de consistência e índice de grupo. Essa classificação é chamada de TRB (*Transportation Research Board*) apresentada na Quadro 2.

Além da classificação TRB, existe ainda a classificação granulométrica de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) que classifica os solos em Solos Grossos, Solos Finos e Altamente Orgânicos. O solo é representado por duas letras divididos em duas grandes classes: grossos e finos como mostrado na Quadro 3.

Pertile (2017) aponta a importância de conhecer de conhecer as graduações do solo, sendo elas: bem-graduado, graduação aberta, graduação contínua e mau-graduado. O solo bem graduado possui uma distribuição granulométrica proporcional de maneira que os grãos menores preenchem os vazios deixados pelos grãos maiores (Pertile, 2017).

Quadro 2 - Classificação TRB.

Classificação Geral	Solos Granulares Pp #200 < 35%							Materiais Siltosos e Argilosos Pp #200 > 35%			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
Pp #10	≤ 50										
Pp #40	≤ 30	≤ 50	≥ 50								
Pp #200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 35	> 35	> 35	> 35
LL (%)	≤ 6	≤ 6	N.P.	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40
IP (%)				≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10
Índice de grupo (IG)	0	0	0	0	0	≤ 4	≤ 4	≤ 8	≤ 12	≤ 16	≤ 20
Tipos de Materiais Predominantes	Pedra Britada, Pedregulho e Areia Grossa, sem finos		Areia Fina	Pedregulhos e Areias Siltosas ou Argilosas				Solos Siltosos		Solos Argilosos	
Comportamento como Subleito	Excelente a bom							Regular a Mau			

Fonte: DNIT (2006)

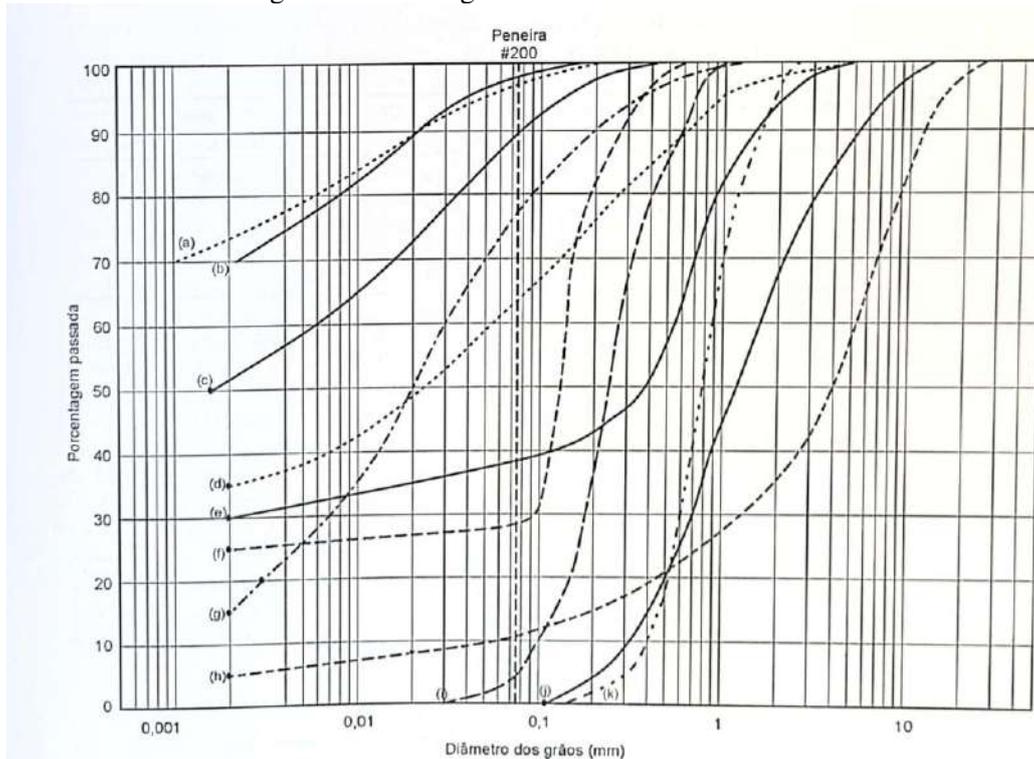
Quadro 3 - Classificação SUCS.

SOLO GROSSO Pp <sub>200</sub> < 50%	Pp <sub>4</sub> < 50%	<b>GW</b>	Pp <sub>200</sub> ≤ 5%	CNU ≥ 4; 1 ≤ CC ≤ 3
		<b>GP</b>	Pp <sub>200</sub> ≤ 5%	Não Satisfaz as Exigências do GW
		<b>GM</b>	Pp <sub>200</sub> > 12%	Abaixo da Linha A ou IP < 4
		<b>GC</b>	Pp <sub>200</sub> > 12%	Acima da Linha A com IP > 7
	Pp <sub>4</sub> ≥ 50%	<b>SW</b>	Pp <sub>200</sub> ≤ 5%	CNU ≥ 6; 1 ≤ CC ≤ 3
		<b>SP</b>	Pp <sub>200</sub> ≤ 5%	Não Satisfaz as Exigências do SW
		<b>SM</b>	Pp <sub>200</sub> > 12%	Abaixo da Linha A ou IP < 4
		<b>SC</b>	Pp <sub>200</sub> > 12%	Acima da Linha A com IP > 7
SOLO FINO Pp <sub>200</sub> ≥ 50%	LL ≤ 50%	<b>CL</b>		
		<b>ML</b>		
		<b>OL</b>		
	LL > 50	<b>CH</b>		
		<b>MH</b>		
		<b>OH</b>		
<b>Pt</b>	Solos Turfosos de Alta Compressibilidade, Altamente Orgânicos			

Fonte: Adaptado de Pastore e Fontes (1998)

Os solos de graduação aberta, por outro lado, não possuem grãos finos suficientes para preencher todos os vazios presentes no solo. A graduação uniforme é definida por um solo de grãos com tamanho constante, onde as todas as partículas têm praticamente o mesmo diâmetro. Por fim, o solo mau-graduado que é um tipo de material onde não há proporcionalidade entre as frações (Pertile, 2017). Todos os tipos de graduação podem ser identificados através de sua representação em uma curva granulométrica como apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Curvas granulométricas de diferentes solos.



Fonte: Pinto (2006)

Os solos podem, ainda, ser classificados em residuais, sedimentares e de formação orgânica (Caputo, 2015). O autor afirma que os solos residuais, são aqueles que permanecem no local da rocha-mãe, onde observa-se uma gradual transição entre a rocha e o solo. “A sua composição vai depender do tipo e da composição mineralógica da rocha original que lhe deu origem” (Chiossi, 2013, p. 82).

Os solos sedimentares, por sua vez, são os que sofreram a ação de agentes transportadores. De acordo com Santos Neto (2018) existem quatro principais agentes transportadores: a gravidade, que forma o solo coluvionar; a água, que forma o solo aluvionar; o vento que forma o solo eólico; e as geleiras que formam o solo glacial.

Os solos de formação orgânica, são os de origem essencialmente orgânica, proveniente de plantas ou animais (Caputo, 2015).

A classificação do solo pode se dar, ainda, por meio do exame tátil visual, onde podem ser obtidas informações sobre o material como granulometria principal e secundária, cor e origem (ABNT, 2020).

### 3.2.1 Solos Não Saturados

De acordo com Lima e Rodrigues (2023), as propriedades físicas dos solos não saturados compreendem a estrutura, textura, porosidade, cor e consistência desse solo. Para conhecer os seus mecanismos de funcionalidade, é necessário entender as suas propriedades de forma quantitativa e qualitativa, através da física dos solos. Dessa forma, é possível fazer o uso e manejo desse material de maneira apropriada.

“O comportamento dos solos não saturados está diretamente ligado ao estado hídrico e de porosidade em que ele se encontra” (Carvalho *et al.*, 2023, p. 1029). Segundo Lima e Rodrigues (2023), a composição químico-mineralógica e a estrutura do solo estão diretamente relacionadas à interação entre as suas propriedades mecânicas e características hidráulicas.

Carvalho *et al.* (2023) explicita, ainda, a relação entre as propriedades físico-químicas dos minerais e a retenção de água do solo, ressaltando a importância do estudo da mineralogia e do comportamento hidromecânico dos solos não saturados.

“Uma característica inerente aos solos não saturados é a tendência a sofrer variações de volume quando se lhes altera o teor de umidade sob tensões praticamente constantes” (Ferreira; Vilar, 2023, p. 559). Dessa forma, os solos podem ser colapsíveis ou expansivos a depender da sua resposta a essas tensões. As características desses solos são apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Características dos solos expansivos e colapsíveis.

<b>SOLOS EXPANSIVOS</b>	<b>SOLOS COLAPSÍVEIS</b>
Solos não saturados	Solos não saturados
Solos com minerais argílicos: montmorilonitas ou vermiculita; Contrações e expansões com aparecimento de superfícies de fricção	Solos com estrutura porosa ou instável, com partículas interligadas por argila, óxido de ferro, alumínio ou carbonatos
Solos com drenagem baixa e atividade alta, derivados de rochas ígneas, basicamente, basalto, diabásios e gabros e de rochas sedimentares basicamente: folhelhos, margas e calcários	Solos de origem recente e de fácil drenagem de regiões tropicais úmidas com lixiviação dos horizontes superficiais;
Solos em regiões onde a evapotranspiração excede a precipitação, regiões semiáridas de clima tropical e temperado	Solos em regiões onde a evapotranspiração excede a precipitação, regiões de alternância de estações secas e chuvas intensas e concentradas.

Fonte: Adaptado de Ferreira e Vilar (2023)

### 3.2.2 Solos Coesivos

Santos Neto (2018) afirma que solos coesivos são aqueles capazes de se manterem em formato de blocos ou torrões ou de serem cortados em formas variadas e se manterem nesse formato. Essa característica se dá pela quantidade de finos, como os argilominerais, presentes na estrutura desse solo.

Para Carvalho *et al.* (2023), os argilominerais podem apresentar anisotropia de comportamento hidromecânico, visto que são, em sua grande maioria, na forma de placas onde o seu comprimento e largura são muito maiores que a espessura.

Segundo Chioffi (2013), as argilas são formadas por partículas muito finas de silicatos hidratados de alumínio. Essas substâncias, na presença de água, apresentam comportamento plástico e, quando secas, adquirem rigidez.

Schubert (2020) define um solo argiloso como um material composto por grãos microscópicos, com cores vivas e grande impermeabilidade. O autor ainda diferencia este solo da areia, pois, ao contrário desta, o solo argiloso possui uma grande capacidade de aglutinação.

Dessa forma, a compressibilidade e a rigidez nos solos coesivos, que são majoritariamente compostos por argilominerais, depende não apenas do nível de deformação apresentado, mas também de fatores com tensões no solo, velocidade de carregamento e de dissipação da poro-pressão (Schnaid, 2000, p. 24)

### 3.2.3 Solos Colapsíveis

Os solos denominados colapsíveis são aqueles com propensão ao colapso. Esse fenômeno acontece quando o aumento de umidade no solo causa a redução dos contatos inter partículas, o que resulta em um rearranjo estrutural e uma nova condição de equilíbrio sob carga atuante, bem como outro teor de umidade e sucção (Ferreira; Vilar, 2023).

Solos com porosidade extremamente elevada são chamados de solos porosos e, para Caputo (2015), este tipo de solo é colapsível. Segundo o autor, eles são assim considerados por, em determinadas condições de umidade, ter sua estrutura quebrada dando origem a elevados recalques em obras que se assentem sobre eles.

Ferreira e Vilar (2023) afirmam, ainda, que os solos são considerados verdadeiramente colapsíveis quando o colapso é proveniente apenas do peso próprio, e são considerados condicionalmente colapsíveis quando o colapso é proveniente de sobrecargas adicionais.

Alguns critérios são usados para a identificação dos solos colapsíveis como demonstrado na Tabela 3.

Segundo Ferreira e Vilar (2023), técnicas de melhoramento podem ser aplicadas para evitar ou minimizar os efeitos da variação de volume dos solos nas construções, e consistem em conferir ao solo uma estrutura estável considerando os estados de tensão atuais e posteriores, assim como impedir ou reduzir a variação de umidade no solo. Os autores mencionam, ainda, que as técnicas a serem utilizadas dependem das características do solo, do tipo de obra, viabilidade econômica e tempo de execução.

Tabela 1 - Critérios de identificação de solo colapsível.

EXPRESSÃO	LIMITES
$K = \frac{e_1}{e_0}$	0,5 < K < 0,75, altamente colapsível K = 1, não colapsível 1,5 < K < 2, não colapsível
$K1 = \frac{\left(\frac{w_0}{S_0}\right) - w_p}{w_1 - w_p}$	Se $S_0 > 80\%$ e $K1 > 0,85$ , o solo é colapsível
$Kd = \frac{w_1 - w_0}{w_1 - w_p}$	$Kd < 0$ , altamente colapsível, $Kd > 0,5$ , colapsível e $Kd > 1$ , expansivo
$R = \frac{w_{sat}}{w_1}$	$R > 1$ , colapsível
$K = \gamma_d \times w$	$K < 15$ , colapsível
Cascalho fino	$Sr < 6\%$ , colapsível $Sr > 10\%$ , não colapsível
Areia fina	$Sr < 50\%$ , colapsível $Sr > 60\%$ , não colapsível
Silte argiloso	$Sr < 90\%$ , colapsível $Sr > 95\%$ , não colapsível
$CI = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0}$ $Sr < 80\%$	Ocorre colapso para: $1\% \leq w_p \leq 10\%$ , $CI < 0,1$ $10\% \leq w_p \leq 14\%$ , $CI < 0,17$ $14\% \leq w_p \leq 22\%$ , $CI < 0,24$
$\sigma_{VI}$ - tensão de inundação no ensaio edométrico; $e_1$ - índice de vazios (amolgado) correspondente ao limite de liquidez; $Sr$ - grau de saturação; $e_0$ - índice de vazios natural; $\gamma_d$ - peso específico seco; $w$ , $w_0$ - umidade natural; $w_p$ - limite de plasticidade; $w_L$ - limite de liquidez; $K$ - coeficiente de subsidência; $K1$ - coeficiente de colapsibilidade; PC - potencial de colapso	

Fonte: Adaptado de Ferreira e Vilar (2023)

### 3.2.4 Solos Expansivos

“Os solos expansivos são não saturados que contêm argilominerais de estrutura laminar do tipo 2:1, como as montmorilonitas e as vermiculitas” (Ferreira; Vilar, 2023, p. 560). Os autores afirmam que os fenômenos de expansão decorrem, normalmente, da presença de minerais de natureza expansiva, como a esmectita.

“A presença de argilominerais expansivos em solos argilosos é responsável por grandes

variações de volume destes materiais, decorrentes de mudanças do teor de umidade” (Milititsky; Consoli; Schnaid, 2015, p. 43). Sendo assim, a expansão do solo depende ainda da estrutura da argila presente, pois segundo Ferreira e Vilar (2023), nem todos os materiais argilosos apresentam modificações volumétricas.

Segundo Ferreira e Ferreira (2009 *apud* Ferreira; Oliveira; González. 2023), os solos expansivos possuem variação de volume tendo como uma de suas principais características os *slickensides*, que são resultado do processo de contração e fissuração com a redução de umidade e a expansão com aumento da umidade. Os *slickensides* são “fendas profundas na época seca e evidências de movimentação da massa do solo, sob a forma de superfície de fricção” (Zaroni; Santos, 2021). A Figura 2 é um exemplo de slickenside encontrado no Município de Manga em Minas Gerais.

Figura 2 - Exemplo de *slickenside* de um solo no Município de Manga - MG



Fonte: Zaroni e Santos (2021)

Para Ribeiro (2019), um agravante dos solos expansivos é a sua não identificação através de ensaio de sondagem de simples reconhecimento, exigindo ensaios específicos e de conhecimento técnico maior do responsável. Conseqüentemente, as edificações são construídas sobre solo expansível e essa característica só é identificada com o surgimento das patologias associadas a ela.

Alguns métodos que podem ser utilizados para a identificação de solos expansivos são descritos no Quadro 5.

Ferreira e Vilar (2023) afirmam, ainda, que as características de expansão e colapso dos solos dependem da tensão, estrutura, variação de umidade, vazão de inundação e fluido permeante. Dessa forma, os ensaios são a forma de medir as deformações de expansão ou colapso.

O grau de expansão dos solos pode, ainda ser relacionado com valores de Limite de Liquidez (LL) e Índice de Plasticidade (IP) de acordo com a Quadro 6.

Quadro 5 - Métodos de identificação de solos expansivos.

MÉTODOS	SUBDIVISÕES	CRITÉRIOS
INDIRETOS	Identificativos	Difração e raio-X, Microscopia eletrônica de varredura, Análise termodiferencial e Adsorção de etilenoglicol e glicerina
		Físico-químico
	Orientativos	Granulometria, Consistência e Índices físicos e Classificação Geotécnica
	Qualitativos	Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Identificação visual.
DIRETOS	Avaliativos	Ensaio de Expansão de Lambe
	Quantitativos	Expansão livre e Tensão de expansão, Ensaio Edométrico Duplos e Simples, Placa, Expansocolapsômetro
		Ensaio Edométrico de sucção controlada

Fonte: Adaptado de Ferreira e Vilar (2023)

Quadro 6 - Classificação do grau de expansão dos solos de acordo com o Limite de Liquidez (LL) e Índice de Plasticidade (IP).

GRAU DE EXPANSÃO	CHEN (1965)	SEED <i>et al.</i> (1962)	DAKSANAMURTHY & RAMAN (1973)
Muito Alto	$LL > 60$	$IP > 35$	$LL > 70$
Alto	$40 < LL \leq 60$	$20 < IP \leq 35$	$50 < LL \leq 70$
Médio	$30 \leq LL \leq 40$	$10 \leq IP \leq 20$	$35 < LL \leq 50$
Baixo	$LL < 30$	$< 10$	$20 \leq LL \leq 35$

Fonte: Adaptado de Ferreira e Vilar (2023)

De acordo com Harris (2005, *apud* Ferreira; Vilar, 2023), a estabilização dos solos expansivos é destinada a neutralizar a expansão, mantendo o solo estável, reduzindo a compressibilidade, melhorando as suas propriedades e limitando a absorção de água. Essa estabilização pode ser um processo físico, físico-químico ou mecânico.

### 3.3 INVESTIGAÇÃO DO SUBSOLO

Os trabalhos de investigação do subsolo visam conhecer as condições geológicas abaixo da superfície, analisar as rochas existentes e sua estrutura, sendo importante ainda para a identificação de jazidas minerais (Chiossi, 2013). Segundo a NBR 6122 (2022), a investigação geotécnica preliminar deve ser feita para qualquer tipo de edificação e deve incluir, no mínimo, sondagens à percussão para determinar a estratigrafia e a classificação dos solos, a localização do nível freático e a medida do índice de resistência à penetração.

Para Caputo (1988, p. 6) “um dos maiores riscos que se pode correr no campo da Engenharia de Construções é iniciar uma obra sem um conhecimento tão perfeito quanto possível do terreno (rocha ou solo) de fundação”.

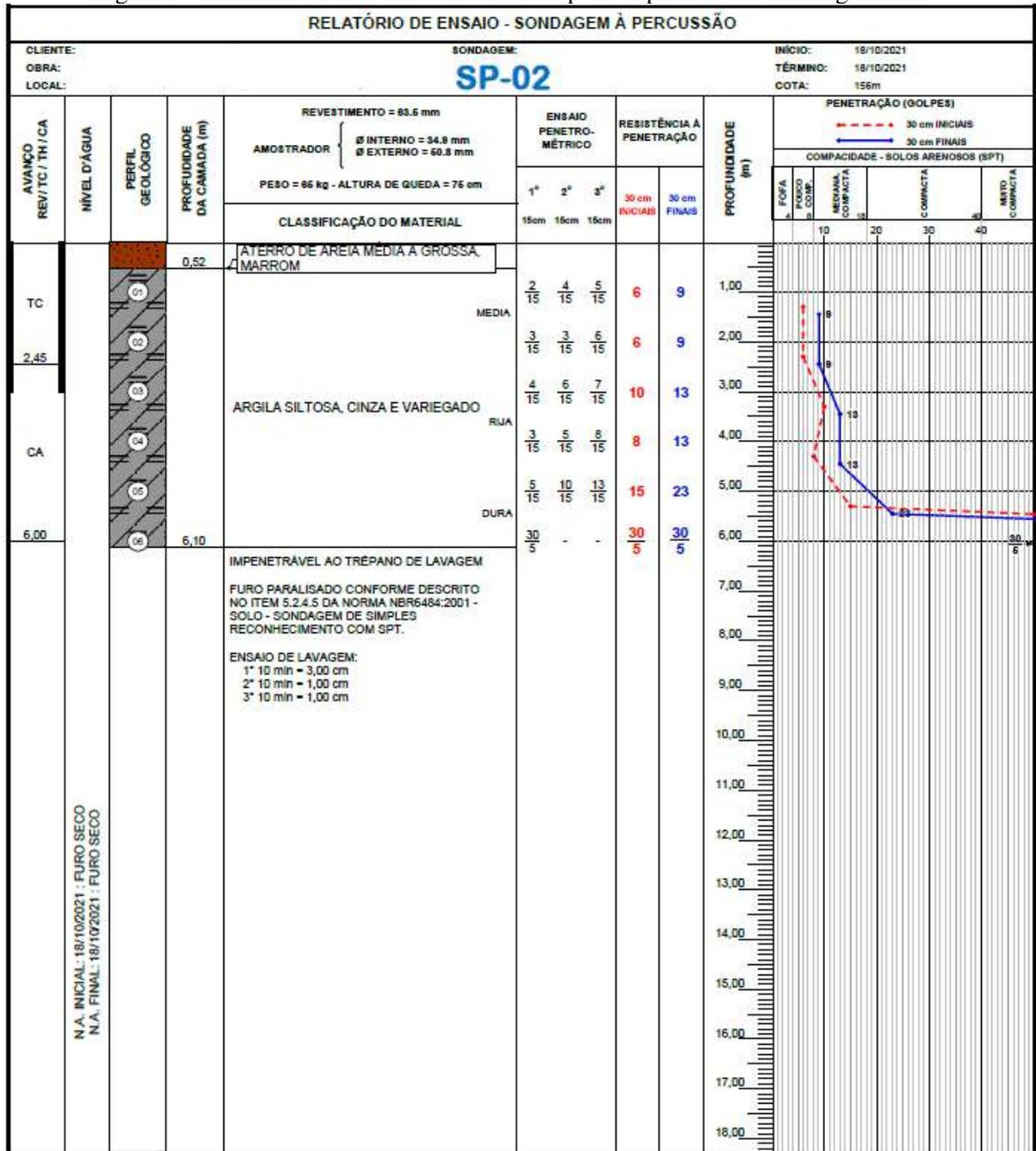
Segundo Ribeiro (2019), o estudo preliminar do solo é bastante negligenciado, sendo assim, causador de diversas patologias. O autor afirma que, por se tratar de um material de grande variação granulométrica, mineralógica, reológica e química, possui um comportamento complexo. Para tanto, são necessários estudos que vão além da resistência à compressão. De acordo com Caputo (2015), nada justifica que tais estudos não sejam feitos no tempo devido e da maneira mais criteriosa possível, visto que apenas por meio deles se consegue uma solução com viabilidade técnica e econômica.

O autor afirma ainda que, para que haja o planejamento de um programa de investigações, devem ser consideradas não apenas as características do terreno como natureza, propriedades, disposição de camadas e presença do nível de água, como também o tipo de estrutura: grande ou pequena, pesada ou leve e rígida ou flexível.

Existem maneiras diversas de realizar a investigação do subsolo, seja por sondagens, poços ou trincheiras. A sondagens podem ser feitas por ensaio Standard Penetration Test (SPT), cone, piezocone, pressiómetro, palheta e dilatômetro, utilizados no Brasil (Schnaid, 2000).

De acordo com o autor, o ensaio SPT é adequado na investigação de solos granulares para obtenção de valores de ângulo de atrito interno, entretanto não possui a mesma eficácia na previsão de resistência não-drenada de depósitos de argila mole. Para este caso, os ensaios recomendados são os de palheta e piezocones (Schnaid, 2000). A Figura 3 demonstra um perfil de solo obtido pela realização de ensaio SPT.

Figura 3 - Resultados de ensaio SPT realizado pela empresa Terra Sol Engenharia.



Fonte: Terra Sol Engenharia (2021)

Os poços e trincheiras, por outro lado, permitem a análise das camadas do solo, através da observação de suas paredes, tornando possível a identificação, além de permitir a coleta de amostras deformadas e indeformadas (Chiossi, 2013).

Por meio da coleta de amostras proveniente de poços e trincheiras, são feitos ensaios de laboratório que permitem a identificação da granulometria, índices de consistência e massa específica de um solo. A Figura 4 mostra a escavação de um poço (Figura 4a) e a moldagem de um bloco de amostra indeformada para coleta (Figura 4b).

Figura 4 - Poço de coleta de amostras e amostra indeformada moldada *in loco*.



Fonte: Porto (2012)

### 3.4 ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL

Segundo Caputo (2015), uma das principais causas de recalque é a redução volume do solo sob cargas aplicadas, chamada de compressibilidade do solo. O autor afirma que essa situação condiciona os recalques por adensamento ou recalques por consolidação.

O aumento de tensão causado no solo pela construção de elementos de fundação ou advinda de outras cargas, causa compressão na camada de solo, que se dá pelo deslocamento das partículas e expulsão da água ou do ar dos espaços vazios (Das; Sobhan, 2015). Os autores expõem a divisão do recalque causado por cargas em três categorias: recalque elástico ou imediato; recalque por adensamento primário e recalque por adensamento secundário.

Dessa forma, de acordo com Das e Sobhan (2015), o recalque total da fundação pode ser determinado por meio da Equação 01.

$$S_T = S_c + S_s + S_e \quad (01)$$

Onde:

$S_T$  = recalque total;

$S_c$  = recalque de adensamento primário;

$S_s$  = recalque de adensamento secundário;

$S_e$  = recalque elástico.

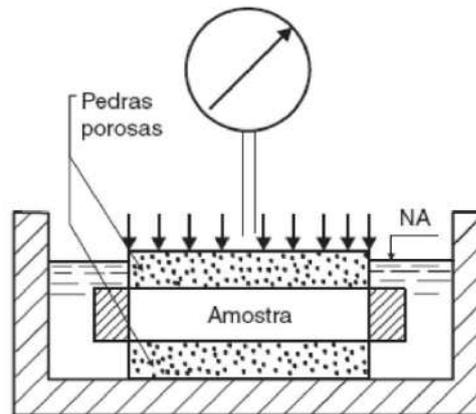
Das e Sobhan (2015) apresentam o recalque sofrido por solo argiloso em comparação com o solo arenoso. Os autores explicam que, ao submeter uma camada de argila saturada a um aumento de tensão, o recalque elástico é imediato. Isso ocorre pois a condutividade hidráulica da argila é significativamente menor que a da areia, assim, o excesso de poropressão é dissipado gradativamente ao longo do tempo. Portanto, o adensamento da argila pode continuar mesmo

após o recalque elástico, e há a possibilidade de este ser muitas vezes maior que o recalque elástico.

“O ensaio de adensamento tem por objetivo a determinação experimental das características do solo que interessam à determinação dos recalques provocados pelo adensamento.” (Caputo, 1988, p. 98).

O ensaio de adensamento unidimensional é realizado a partir do confinamento de uma amostra, geralmente indeformada, em um anel metálico com duas pedras porosas. O conjunto é inundado e colocado em uma prensa (edômetro), onde são aplicadas cargas por um braço de alavanca e sua compressão é medida por um extensômetro (Das; Sobhan, 2015). A Figura 5 apresenta o desenho esquemático do conjunto usado no ensaio de adensamento.

Figura 5 - Desenho esquemático do corpo de prova utilizado no ensaio de adensamento.



Fonte: Caputo (2015)

“As cargas são gradualmente aumentadas segundo uma progressão geométrica de razão igual a 2” (Caputo, 1988, p. 99). O autor explica que cada estágio de carga deve obedecer a intervalos predeterminados (15 s; 30 s; 60 s; 120 s e daí por diante) e no final de cada estágio, que ocorre geralmente após 24 horas, as pressões são efetivas.

Cada estágio possibilita a plotagem de um gráfico que relaciona o tempo com a variação de altura verificada no extensômetro, que, usualmente é expressa de acordo com a variação do índice de vazios (Caputo, 2015). Ao final, é necessário analisar a alteração no índice de vazios do corpo de prova. A NBR 16853 (ABNT, 2020) apresenta as etapas de cálculo para a obtenção do gráfico que relaciona o índice de vazios com a tensão aplicada.

A primeira etapa consiste no cálculo da massa específica aparente seca inicial  $\rho_{d(i)}$ , usando a Equação 02.

$$\rho_{d(i)} = \frac{100 * \rho_{u(i)}}{100 + w(i)} \quad (02)$$

Onde:

$\rho_{d(i)}$  = massa específica aparente seca inicial (g/cm<sup>3</sup>);

$\rho_{u(i)}$  = massa específica aparente úmida inicial (g/cm<sup>3</sup>);

$w(i)$  = teor de umidade inicial (%).

A segunda etapa é o cálculo da altura inicial dos vazios  $e_i$  dada pela Equação 03.

$$e_i = \frac{\rho_s}{\rho_{d(i)}} - 1 \quad (03)$$

Onde:  $\rho_s$  = massa específica dos grãos (g/cm<sup>3</sup>).

A terceira etapa é do grau de saturação inicial  $S_i$ , usando a Equação 04.

$$S_i = \frac{w(i) * \rho_s}{e_i * \rho_w} \quad (04)$$

Onde:

$e_i$  = índice de vazios inicial;

$\rho_w$  = massa específica da água (g/cm<sup>3</sup>).

A quarta etapa é o cálculo da altura dos sólidos  $H_s$  a partir da Equação 05.

$$H_s = \frac{H_i}{1 + e_i} \quad (05)$$

Onde:  $H_i$  = altura inicial do corpo de prova (cm).

A quinta etapa é o cálculo do índice de vazios  $e$  ao final de cada estágio de carga pela Equação 06.

$$e = \frac{H}{H_s} - 1 \quad (06)$$

Onde:  $H$  = altura do corpo de prova ao final do estágio (cm).

Por fim, a sexta etapa é o cálculo do grau de saturação final do corpo de prova  $S_f$ , obtido pela Equação 07.

$$S_f = \frac{w_f * \rho_s}{e_f + \rho_w} \quad (07)$$

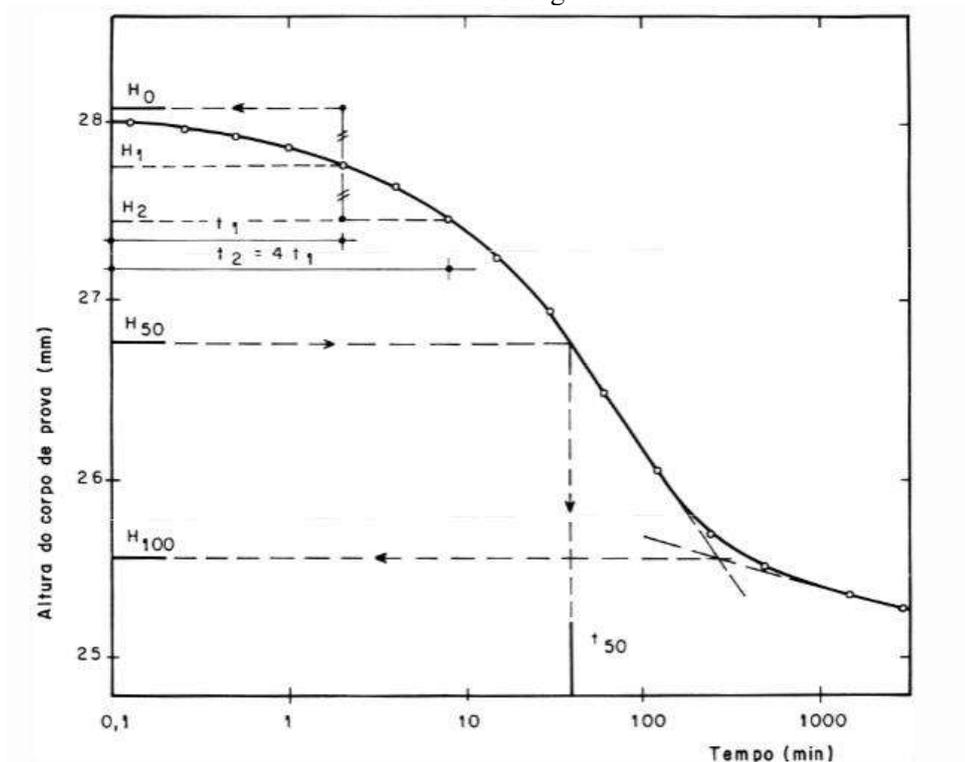
Onde:

$w_f$  = teor de umidade final (%);

$e_f$  = índice de vazios ao final do último estágio de carregamento.

Assim, é possível calcular o coeficiente de adensamento que pode ser obtido pelo Processo de Casagrande ou pelo Processo de Taylor (ABNT, 2020). A Figura 6 demonstra a obtenção do coeficiente de adensamento pelo Processo de Casagrande.

Figura 6 - Curva de altura do corpo de prova para cálculo do coeficiente de adensamento pelo Processo de Casagrande.



Fonte: ABNT (2020)

O índice de compressão é dado pela análise do gráfico. Sendo o trecho virgem retilíneo, o coeficiente de compressão  $C_c$  é dado pela Equação 08.

$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log \sigma_2 - \log \sigma_1} \quad (08)$$

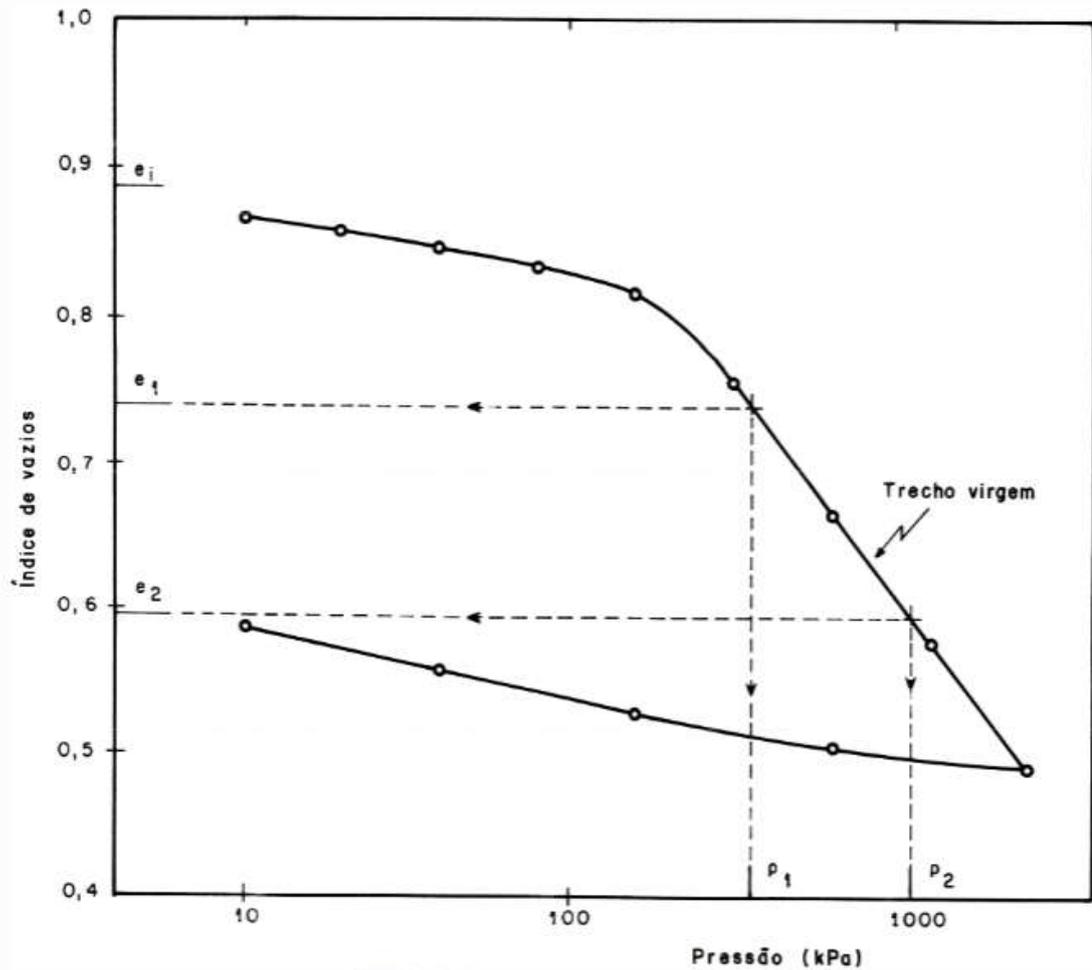
Onde:

$e_1$  e  $e_2$  = índices de vazios correspondentes a dois pontos quaisquer do trecho virgem;

$\sigma_1$  e  $\sigma_2$  = pressões associadas aos índices de vazios  $e_1$  e  $e_2$ .

A Figura 7 apresenta o gráfico de índice de vazios pelo logaritmo da pressão presente na norma NBR 16853 (ABNT, 2020).

Figura 7 - Curva de índice de vazios em função do logaritmo da pressão.



Fonte: ABNT (2020)

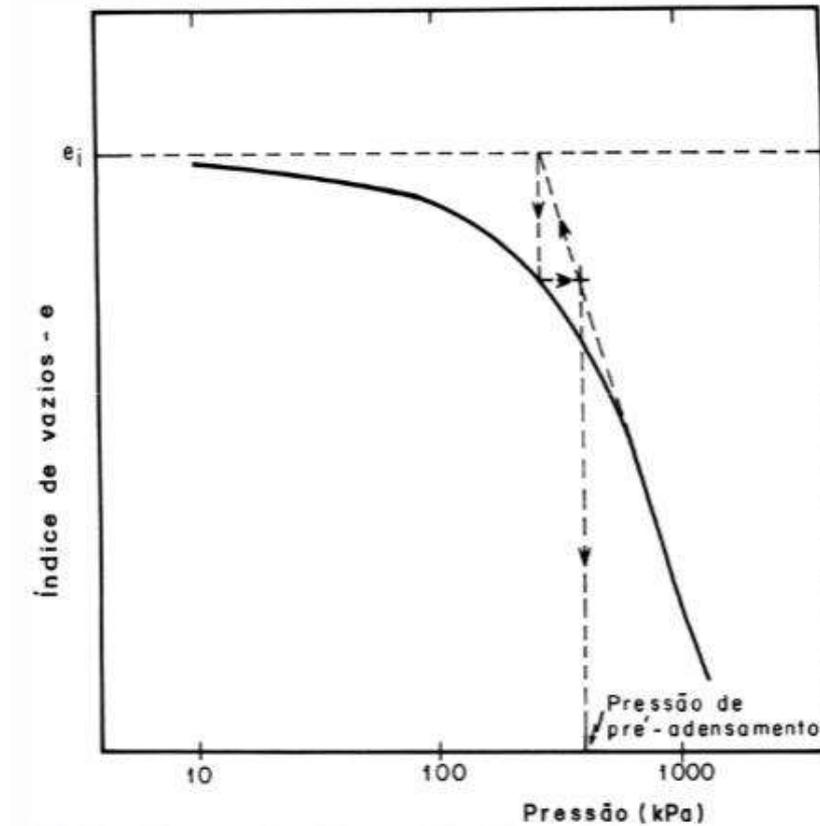
A pressão de pré-adensamento pode ser dada pelo Processo de Casagrande e pelo Processo de Pacheco e Silva (ABNT, 2020). A Figura 8, mostra a determinação da tensão de pré-adensamento pelo Processo de Pacheco e Silva.

De acordo com Santos Neto (2018), a partir da tensão de pré-adensamento ( $\sigma'_{pa}$ ) e a tensão efetiva ( $\sigma'_{v0}$ ), é possível obter a razão de sobreadensamento do solo (RPA) ou *Over Consolidation Ratio* (OCR) a partir da Equação 09.

$$OCR = \frac{\sigma'_{pa}}{\sigma'_{v0}} \quad (09)$$

No caso de a razão ser igual à unidade ( $OCR = 1$ ), o solo é considerado normalmente adensado. Quando a razão é inferior à unidade ( $OCR < 1$ ), o solo é chamado de pré-adensado. Para o caso de a razão ser superior à unidade ( $OCR > 1$ ), o solo é denominado subadensado

Figura 8 - Processo de Pacheco e Silva para obtenção da tensão de pré-adensamento.



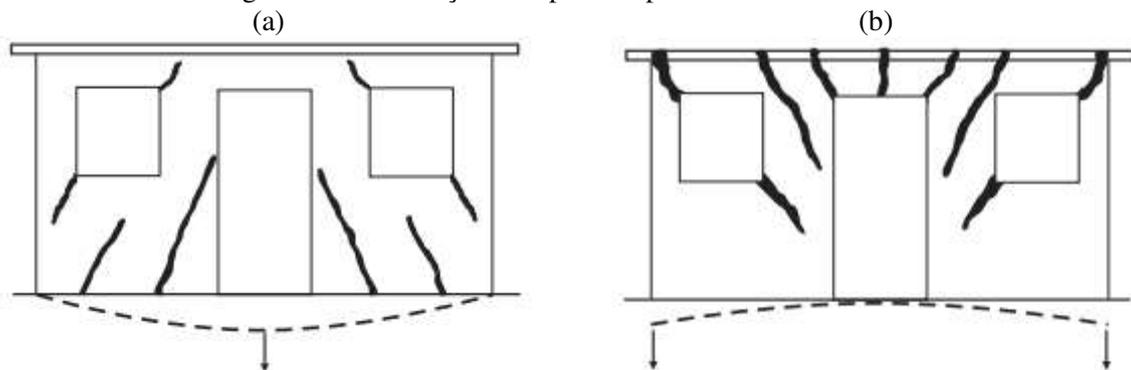
Fonte: ABNT (2020)

### 3.5 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES

De acordo com Caputo (2015), os problemas que surgem tanto no projeto com na execução das fundações e demais obras de terra, podem ser distinguidos em dois tipos fundamentais: os que se referem a deformações do solo e os que se referem à ruptura da massa de solo. O primeiro está relacionado ao estudo dos recalques nas obras, e o segundo envolve as questões relativas à capacidade de carga do solo, estabilidade de maciços terrosos e empuxos de terra.

“Na ocorrência de patologias deve-se caracterizar suas origens e possíveis mecanismos deflagradores, que incluem a monitoração do aparecimento e evolução de fissuras, trincas, desaprumo e/ou desalinhamento” (Milititsky; Consoli; Schnaid, 2015, p.12). A Figura 9 mostra alguns tipos de fissuras (Figura 9a) e trincas (Figura 9b) causados pelo recalque do solo.

Figura 9 - Deformações em paredes portantes e seus efeitos.



Fonte: Milititsky, Consoli e Schnaid (2015)

Os danos causados pelo recalque do solo às edificações, podem ser divididos em três grupos: visuais, danos comprometendo o uso e funcionalidade e danos estruturais (Milititsky; Consoli; Schnaid, 2015). Os danos visuais ou estéticos são aqueles que não oferecem riscos ao usuário, enquanto os danos estruturais comprometem a segurança dos usuários, visto que podem levar ao colapso da edificação.

Os autores afirmam ainda que, o movimento das fundações provoca uma manifestação facilmente reconhecível que é o aparecimento de fissuras nos elementos estruturais. “Toda vez que a resistência dos componentes da edificação ou conexão entre elementos for superada pelas tensões geradas por movimentação, ocorrem fissuras” (Milititsky; Consoli; Schnaid, 2015, p. 24).

A expansividade dos solos é um fator que pode ocasionar danos ainda maiores nas estruturas de pequenas fundações (Rodrigues; Pantoja; Narvaez, 2022). Segundo os autores, esse tipo de edificação de pequeno porte, não transmite tensões suficientes ao solo que possam evitar a sua expansão, “além disso, é válido destacar que a expansividade dos solos pode ocasionar danos ainda maiores nas estruturas de pequenas edificações, pois, na maioria dos casos, não transmite tensões suficientes ao solo de modo a evitar a sua expansão” (Rodrigues; Pantoja; Narvaez, 2022, p. 1).

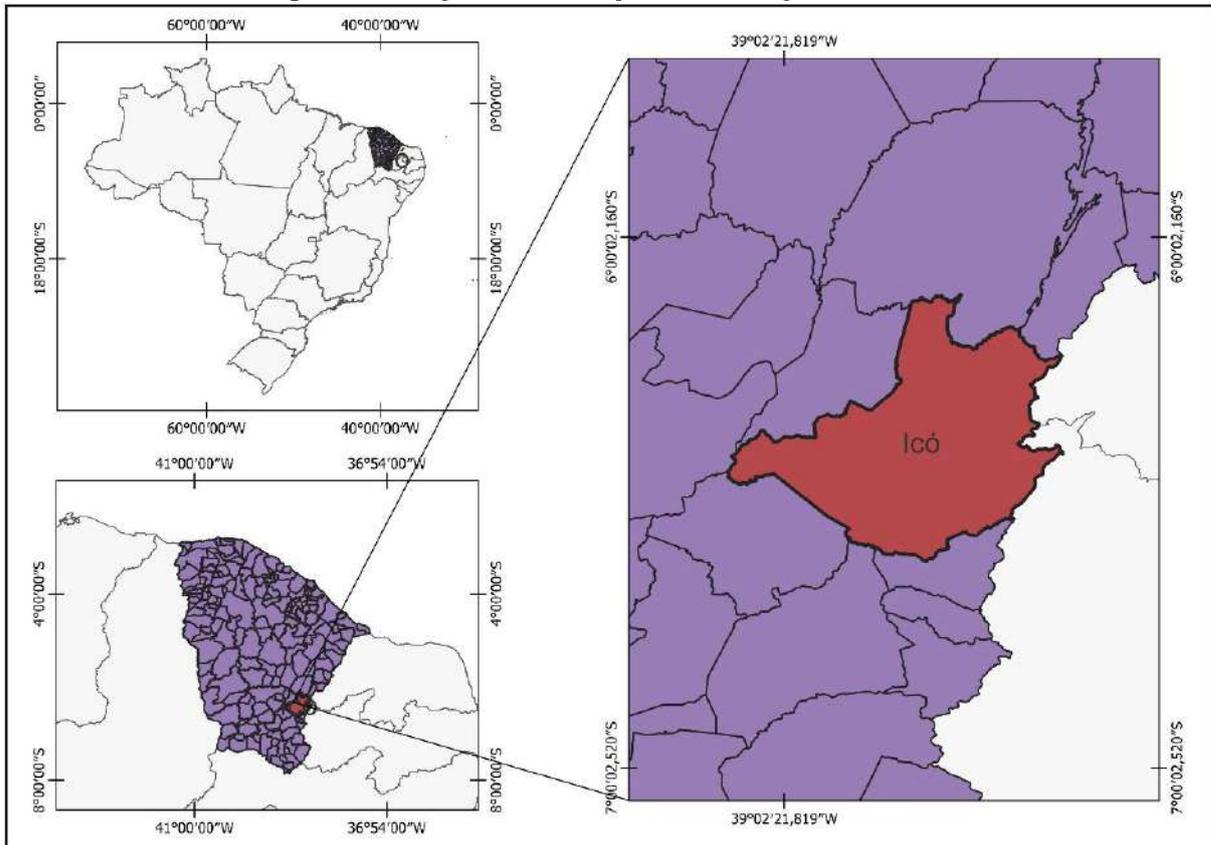
## 4 METODOLOGIA

O presente estudo trata-se de uma pesquisa experimental de caráter quantitativo que contou com as etapas de coleta de amostras, análise em laboratório para caracterização física e mecânica, e comparação com dados já existentes presentes na bibliografia relacionando com a ocorrência de manifestações patológicas na região estudada.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo escolhida foi o Conjunto Delta, na Cidade de Icó-CE. O município está localizado na Região Centro-Sul do Ceará a aproximadamente 360 km da capital Fortaleza, conforme mapa exposto na Figura 10.

Figura 10 - Mapa de Localização do Município de Icó-CE.



Fonte: Autoria Própria (2025)

Foram feitas a coleta de 2 amostras indeformadas e 3 amostras deformadas, a fim de se obter uma maior caracterização do solo. Os locais escolhidos foram dois pontos onde há edificações mais recentes no bairro e um ponto onde há edificações mais antigas. O ponto A de coleta está localizado nas coordenadas 6° 24' 34,1" S e 38° 54' 06,8" W, com altitude de 168m,

o ponto B encontra-se nas coordenadas  $6^{\circ} 24' 33.3''$  S e  $38^{\circ} 54' 04.6''$  W, com altitude de 167 m e o ponto C corresponde às coordenadas  $6^{\circ} 24' 33.1''$  S  $38^{\circ} 54' 15.4''$  W, com altitude de 167 m acima do nível do mar. Nos pontos A e B foram retiradas amostras deformadas e indeformadas, e no ponto C, apenas a amostra do tipo deformada. A Figura 11 mostra os pontos de coleta.

Figura 11 - Mapa de localização da coleta de amostras.



Fonte: Autoria Própria (2025)

#### 4.2 PROCESSO DE RETIRADA DAS AMOSTRAS DE SOLO

As amostras foram coletadas seguindo o procedimento descrito na norma NBR 9604 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2024a). Foram utilizadas ferramentas como: enxada, pá, picareta e espátula.

Foi feita a limpeza do terreno e removida a vegetação e camada superficial de solo com uma enxada. A demarcação do poço foi feita com dimensões de (1,20 x 1,20) m e com picareta e enxada foi escavado até a profundidade de 90 cm. Ao atingir a profundidade, foram extraídas as amostras deformadas. Estas foram colocadas em sacos e devidamente etiquetadas como apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Coleta de amostra deformada acondicionada e etiquetada.



Fonte: Autoria Própria (2025)

As amostras de solo indeformadas foram obtidas a partir da tallagem de blocos de solo de 30 cm, com seu topo sendo o fundo do poço. As amostras indeformadas foram acondicionadas em caixas cúbicas de modo a preservar seu formato e evitar contato direto com o ambiente durante transporte. A Figura 13 mostra o cubo de amostra indeformada moldado *in loco* (Figura 13a) e o acondicionamento em caixa de madeira (Figura 13b).

Figura 13 - Coleta de amostra indeformada cúbica e acondicionamento.

(a)



(b)

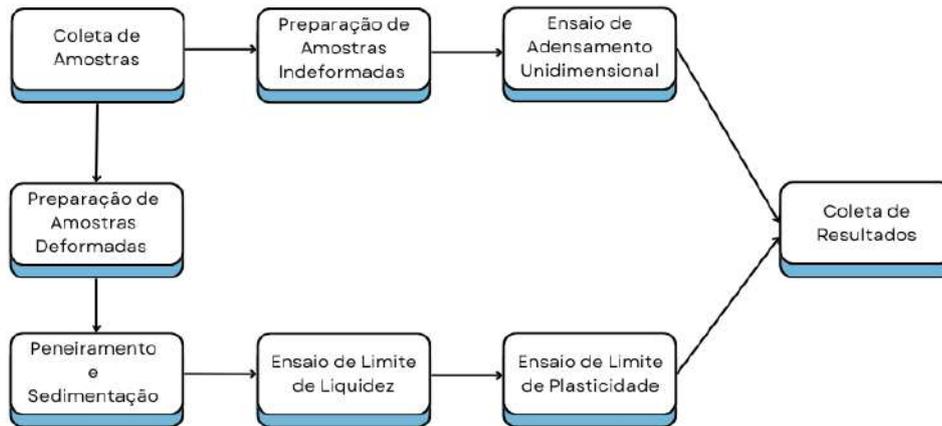


Fonte: Autoria Própria (2025)

### 4.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios utilizados para caracterizar as amostras foram feitos de acordo com as normas ABNT seguindo a sequência do Fluxograma 1.

Fluxograma 1 - Organograma para execução de ensaios.



Fonte: Autoria Própria (2025)

Para a retirada de amostras e execução dos ensaios, foram seguidos os procedimentos descritos nas normas da ABNT apresentadas no Quadro 7.

Quadro 7 - Normas utilizadas para caracterização do solo.

<b>NORMA</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
ABNT NBR 9604 (2024a)	Abertura de poço ou trincheira de inspeção, com retirada de amostras deformadas e indeformadas.
ABNT NBR 6457 (2024b)	Preparação de amostras para ensaios de compactação e caracterização.
ABNT NBR 7181 (2025a)	Análise granulométrica.
ABNT NBR 6458 (2025b)	Determinação da massa específica dos sólidos, da massa específica aparente da absorção de água da fração retida na peneira com abertura de 2,0 mm.
ABNT NBR 6459 (2016a)	Determinação do limite de liquidez.
ABNT NBR 7180 (2016b)	Determinação do limite de plasticidade.
ABNT NBR 16853 (2020)	Ensaio de adensamento unidimensional.

Fonte: Autoria Própria (2025)

## 5 RESULTADOS E ANÁLISES

Nesta seção, apresenta-se os resultados dos ensaios que embasaram as análises da pesquisa.

### 5.1 ANÁLISE TÁTIL VISUAL

Ao realizar a escavação do poço foi feita a análise tátil visual do solo. O material encontrado estava com umidade considerável, possuía coloração escura e aspecto de solo argiloso. Observou-se, ainda, que o solo apresentava slickensides, característica de solos expansivos, que conferem ao solo arestas lisas e escorregadias. A Figura 14 mostra o solo encontrado no local de coleta.

Figura 14 - Análise tátil visual do solo.



Fonte: Autoria própria (2025)

### 5.2 TEOR DE UMIDADE HIGROSCÓPICO

O teor de umidade higroscópico foi dado pela média do teor de umidade de três cápsulas de cada amostra e apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Teor de umidade higroscópico.

Solo	Teor de Umidade (w)
Amostra 1	7,1%
Amostra 2	6,5%
Amostra 3	5,4%

Fonte: Autoria própria (2025)

### 5.3 MASSA ESPECÍFICA DOS SÓLIDOS

A Tabela 3 apresenta os valores de massa específica dos sólidos de cada amostra de solo após ser aplicado um fator de correção para que os resultados obtidos fossem correspondentes à temperatura de 20°C.

Tabela 3 - Resultado do ensaio de massa específica.

Solo	$\rho_{s1}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{s2}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{s3}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{s4}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{s5}$ (g/cm <sup>3</sup> )
Amostra 1	2,564	2,600	2,620	2,669	2,704
Amostra 2	2,081	2,102	2,117	2,104	2,123
Amostra 3	2,094	2,117	2,120	2,106	2,119

Fonte: Autoria própria (2025)

A massa específica dos sólidos de cada amostra foi obtida a partir da média dos valores encontrados nas 5 leituras e é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Massa específica dos sólidos de cada amostra.

Solo	$\rho_s$ média (g/cm <sup>3</sup> )
Amostra 1	2,631
Amostra 2	2,105
Amostra 3	2,111

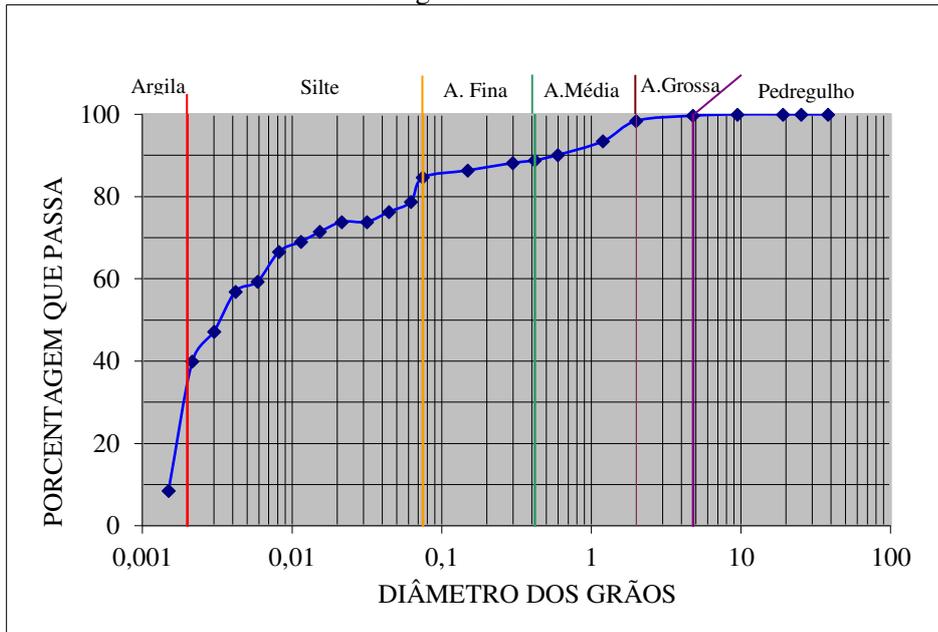
Fonte: Autoria própria (2025)

### 5.4 GRANULOMETRIA

A etapa de granulometria foi feita de forma conjunta, realizando o peneiramento de 1kg de solo de cada amostra na peneira de número 10. A porcentagem retida foi separada para lavagem, secagem e peneiramento grosso, e a porcentagem passante foi usada para sedimentação e peneiramento fino.

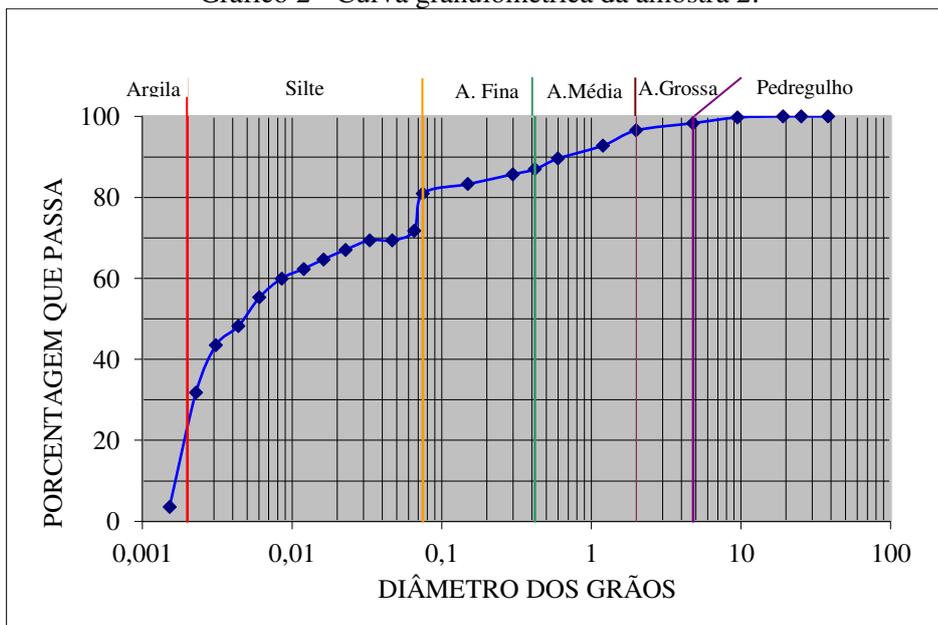
Dessa forma, foi possível obter a curva granulométrica de cada solo conforme mostrado nos Gráficos 1, 2 e 3.

Gráfico 1 - Curva granulométrica da amostra 1.



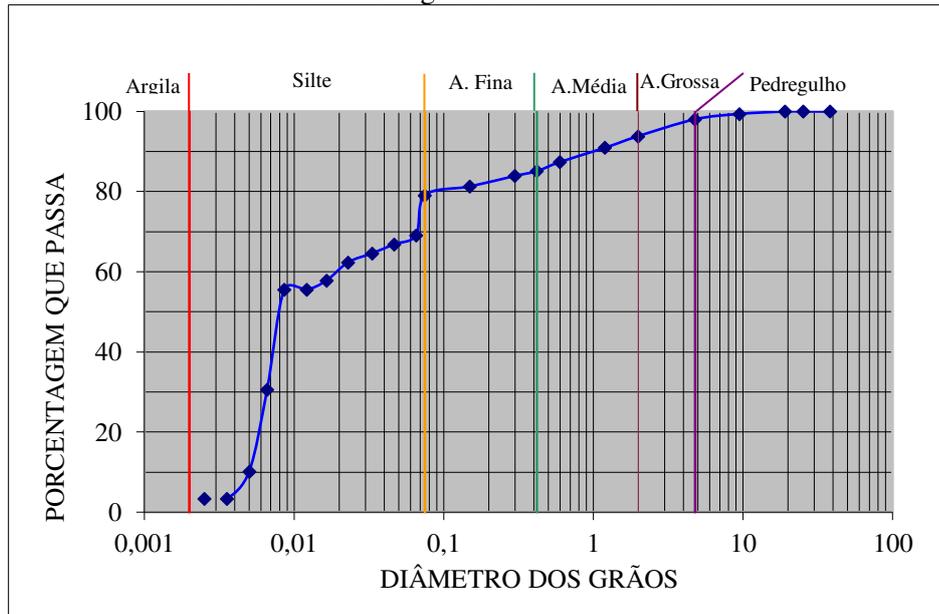
Fonte: Autoria própria (2025)

Gráfico 2 - Curva granulométrica da amostra 2.



Fonte: Autoria própria (2025)

Gráfico 3 - Curva granulométrica da amostra 3.



Fonte Autoria própria (2025)

A partir das curvas granulométricas e dos parâmetros apresentados na norma, foi possível classificar o solo estudado. A Tabela 5 apresenta as porcentagens das frações granulométricas de cada amostra de solo.

Tabela 5 - Porcentagens das frações de solo de cada amostra.

Faixa Granulométrica	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Pedregulho	0,3%	1,7%	1,9%
Areia Grossa	1,3%	1,8%	4,2%
Areia Média	9,6%	9,6%	8,7%
Areia Fina	4,2%	6,0%	6,0%
Silte	38,8%	40,0%	65,7%
Argila	40,0%	31,8%	3,4%

Fonte: Autoria própria (2025)

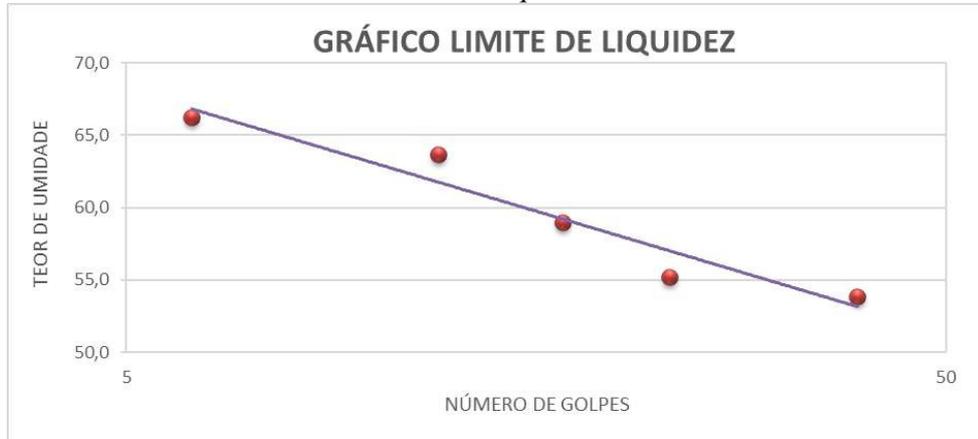
Dessa forma, foi possível perceber que em todas as amostras há uma maior porcentagem de finos. Nas amostras 1 e 2, há frações próximas de silte e argila, já na amostra 3 a maior parcela é de silte.

## 5.5 LIMITES DE ATTERBERG

De acordo com a norma NBR 6459 (ABNT, 2016a), o Limite de Liquidez (LL) corresponde ao teor de umidade no qual a ranhura, feita na concha do Aparelho Casagrande, fecha em 25 golpes. O gráfico do Limite de Liquidez é feito em escala logarítmica onde a reta

horizontal corresponde aos 25 golpes. Os Gráficos 4, 5 e 6 apresentam os resultados das amostras 1, 2 e 3, respectivamente, para o Ensaio Casagrande.

Gráfico 4 - Limite de liquidez da amostra 1.



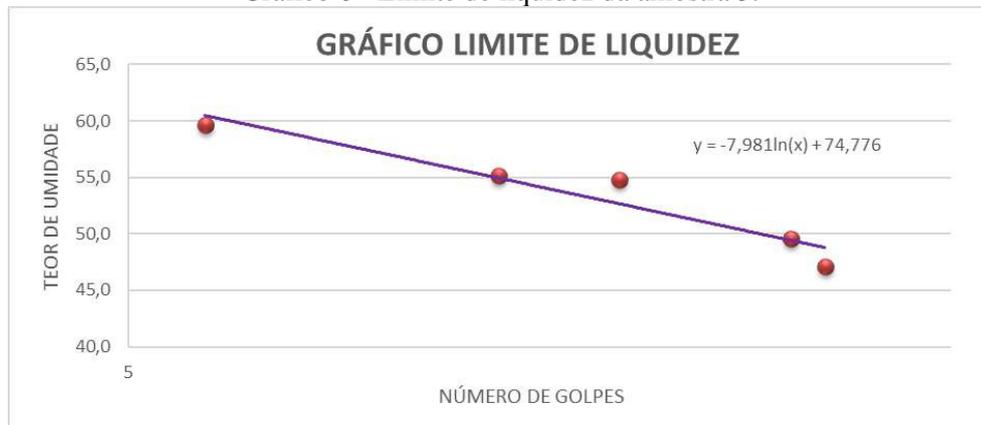
Fonte: Autoria própria (2025)

Gráfico 5 - Limite de liquidez da amostra 2.



Fonte: Autoria própria (2025)

Gráfico 6 - Limite de liquidez da amostra 3.



Fonte: Autoria própria (2025)

O valor do Limite de Plasticidade (LP) é determinado a partir da média do teor de umidade encontrado em, no mínimo, 3 pontos obtidos pelo ensaio descrito na norma NBR 7180

(ABNT, 2016b). A Tabela 6 mostra o resultado da umidade média encontrada em cada uma das amostras, para determinação do LP.

Tabela 6 – Limite de Plasticidade para cada amostra de solo.

Solo	Teor de Umidade Médio (w)
Amostra 1	26%
Amostra 2	28%
Amostra 3	19%

Fonte: Autoria própria (2025)

O Índice de Plasticidade (IP) é dado pela diferença entre o Limite de Liquidez (LL) e o Limite de Plasticidade (LP). A Tabela 7 apresenta os resultados de Índice de Plasticidade para cada uma das amostras.

Tabela 7 - Índice de Plasticidade para cada amostra de solo.

Solo	LL	LP	IP
Amostra 1	57%	26%	31%
Amostra 2	60%	28%	32%
Amostra 3	48%	19%	29%

Fonte: Autoria própria (2025)

Assim, foi possível observar que, em todas as amostras, o Índice de Plasticidade do solo resultou em valores acima de 15. Portanto, o solo é caracterizado como altamente plástico.

A classificação das três amostras de acordo com a SUCS resultou em silte argiloso inorgânico de alta plasticidade. Já segundo a TRB, as amostras foram classificadas em A-4 que descreve solos siltosos e argilosos.

## 5.6 ENSAIO DE ADENSAMENTO

O ensaio de adensamento foi realizado aplicando cargas às duas amostras indeformadas de solo. As cargas aplicadas foram de 0,25 kg; 0,5 kg; 1,0 kg; 2,0 kg e 4,0 kg. Além da realização de uma descarga de 2,0 kg. Os resultados obtidos em cada estágio encontram-se no Apêndice A deste trabalho.

O coeficiente de adensamento em cada estágio foi calculado a partir do Processo de Casagrande, apresentado na NBR 16853 (ABNT, 2020).

As Tabelas 8 e 9 apresentam os coeficientes de adensamento, as leituras iniciais e finais, as alturas iniciais e finais, bem como o índice de vazios para cada estágio de carga.

Tabela 8 - Resultados do ensaio de adensamento para a amostra 1.

Estágio	Carga (kg)	Tensão (kPa)	H50 (cm)	Cv (cm <sup>2</sup> /s)	Ii (mm)	If (mm)	hi (mm)	hf (mm)	ef
1°	0,25	12,29	2,251	5,94E-03	9,000	8,742	22,700	22,442	0,959
2°	0,5	24,59	2,228	6,08E-03	8,742	8,502	22,442	22,202	0,938
3°	1	49,17	2,189	1,87E-03	8,502	8,011	22,202	21,711	0,895
4°	2	98,35	2,118	9,69E-03	8,011	7,194	21,711	20,894	0,824
5°	4	196,69	2,023	4,10E-03	7,194	6,176	20,894	19,876	0,735
6°	2	98,35	-	-	6,176	6,260	19,876	19,961	0,742

Nota: Cv = coeficiente de adensamento; Ii = leitura inicial; If = leitura final;  
Hi = altura inicial; Hf = altura final; ef = índice de vazios final

Fonte: Autoria própria (2025)

Tabela 9 - Resultados do ensaio de adensamento para a amostra 2.

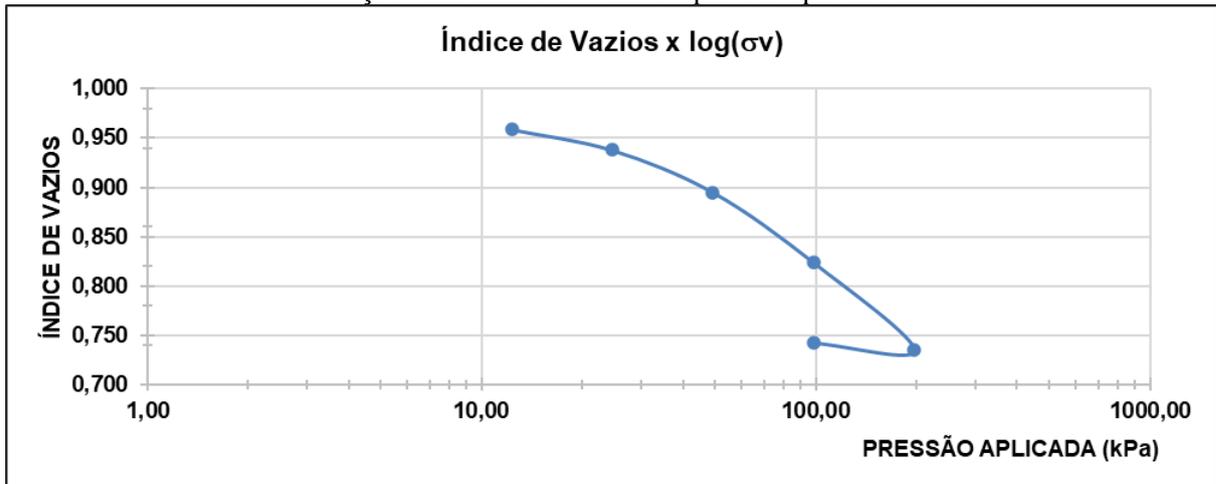
Estágio	Carga (kg)	Tensão (kPa)	H50 (cm)	Cv (cm <sup>2</sup> /s)	Ii (mm)	If (mm)	hi (mm)	hf (mm)	ef
1°	0,25	12,29	2,259	3,49E-03	9,000	8,853	22,700	22,553	0,732
2°	0,5	24,59	2,249	6,29E-03	8,853	8,748	22,553	22,448	0,724
3°	1	49,17	2,226	9,03E-03	8,748	8,430	22,448	22,130	0,699
4°	2	98,35	2,189	1,51E-03	8,430	7,985	22,130	21,685	0,665
5°	4	196,69	2,118	2,45E-03	7,985	7,204	21,685	20,904	0,605
6°	2	98,35	-	-	7,204	7,299	20,904	20,999	0,612

Nota: Cv = coeficiente de adensamento; Ii = leitura inicial; If = leitura final;  
Hi = altura inicial; Hf = altura final; ef = índice de vazios final.

Fonte: Autoria própria (2025)

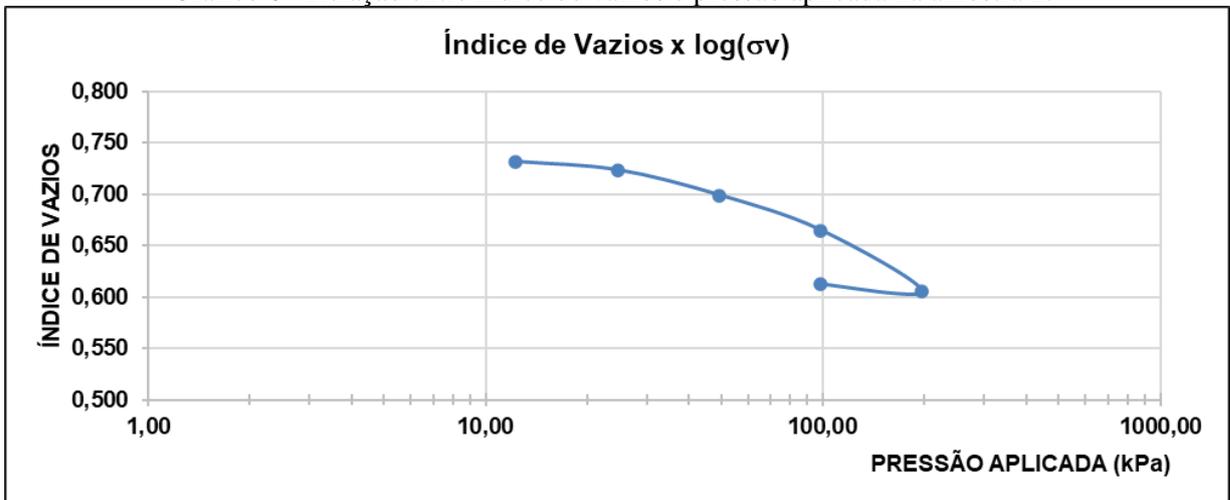
A partir dos resultados de cada estágio, foi possível obter os Gráficos 7 e 8 que relacionam o índice de vazios com o logaritmo da tensão aplicada.

Gráfico 7 - Relação entre índice de vazios e pressão aplicada na amostra 1.



Fonte: Autoria própria (2025)

Gráfico 8 - Relação entre índice de vazios e pressão aplicada na amostra 2.



Fonte: Autoria própria (2025)

A tensão de pré-adensamento ( $\sigma'_{pa}$ ) foi calculada a partir do Processo de Pacheco e Silva (ABNT, 2020). Com a tensão de pré-adensamento ( $\sigma'_{pa}$ ) e a tensão efetiva vertical ( $\sigma'_{v0}$ ) foi possível obter o OCR (*Over Consolidation Ratio*), calculado pela Equação 09.

Os resultados da Razão de Pré-Adensamento para as amostras 1 e 2 são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Resultado da RPA para cada amostra.

Solo	RPA
Amostra 1	2,0
Amostra 2	2,46

Fonte: Autoria própria (2025)

Portanto, conclui-se que o solo é pré-adensado.

## 5.7 PROPRIEDADES DO SOLO ASSOCIADAS ÀS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

A identificação tátil visual do solo demonstrou a presença de superfícies lisas (*slickensides*) que é uma característica de solos expansivos, além da coloração escura e textura argilosa.

A análise granulométrica apresentou, nas três amostras coletadas, solos com grande quantidade de finos, majoritariamente argila e silte. De acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS) o solo é considerado silte argiloso de alta plasticidade quando utilizada a carta de plasticidade. A Classificação TRB define como solo siltoso ou argiloso, enquadrado em um comportamento regular a mau para uso em subleito.

Os limites de Atterberg resultaram em valores de Índice de Plasticidade acima de 15%, configurando um solo altamente plástico. O resultado obtido em laboratório indica solos com grande atividade de argilas conferindo a eles esta característica mais plástica.

O ensaio de adensamento proporcionou o cálculo do OCR para as amostras indeformadas, onde foi identificado, em ambas, um perfil de solo pré-adensado. Por essa característica, é possível afirmar que o solo já sofreu recalques. Esse recalque pode ser considerado diferencial, o que é verificado nas residências analisadas, dado o surgimento de fissuras e rachaduras nas edificações.

Dessa forma, foi possível concluir que o solo analisado é classificado como solo expansivo, devido a sua quantidade considerável de argilominerais e o comportamento destes sob tensão.

Esse tipo de solo possui uma grande propensão a recalques diferenciais principalmente em edificações de pequeno porte, visto que essas não são capazes de evitar sua expansão. Assim, a presença de solo expansivo pode ser um fator influente no aparecimento de manifestações patológicas nas edificações da área estudada.

## 6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados encontrados, foi possível compreender a relação entre as características do solo e as manifestações patológicas encontradas nas residências da área estudada. Foi feita a caracterização física das amostras recolhidas, bem como a análise da resposta deste material às solicitações verticais para a determinação da Razão de Pré Adensamento (RPA).

Por fim, com os resultados encontrados, foi feita a relação entre essas propriedades e as patologias presentes nas edificações, chegando à conclusão de que o solo onde estas foram construídas, é fator influente no surgimento de trincas e rachaduras, visto que é propenso a recalques diferenciais.

Essa pesquisa pode ser usada como base para futuras construções na região, pois torna conhecido o perfil de solo local e oferece parâmetros para o melhor dimensionamento de fundações. Para pesquisas futuras, recomenda-se o cálculo dos recalques.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 9604**: Solo – Abertura de poço ou trincheira de inspeção, com retirada de amostras deformadas e indeformadas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2024a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 6457**: Preparação de amostras para ensaios de compactação, caracterização e determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 2024b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 6122**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 6459**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2016a.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 7181**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16853**: Solo – Ensaio de adensamento unidimensional. Rio de Janeiro, 2020.
- CAPUTO, Homero Pinto, **Mecânica dos solos e suas aplicações**: fundamentos. Volume 1. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.
- CAPUTO, Homero Pinto, **Mecânica dos solos e suas aplicações**: fundamentos. Volume 1. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.
- CARVALHO, José Camapum de; GITIRANA JR, Gilson de F. N.; MACHADO, Sandro Lemos; MASCARENHA, Márcia Maria dos Anjos; SILVA FILHO, Francisco Chagas da; RODRIGUES, Roger Augusto. Considerações sobre as propriedades e comportamentos dos solos não saturados. *In*: CARVALHO, José Camapum de; GITIRANA JUNIOR Gilson de Farias Neves; MACHADO, Sandro Lemos; MASCARENHA, Márcia Maria dos Anjos; SILVA FILHO, Francisco Chagas da; RODRIGUES, Roger Augusto (org.). **Solos não saturados no contexto geotécnico**. 2. ed. São Paulo: ABMS, 2023.
- CHIOSSI, Nivaldo José. **Geologia de engenharia**. 3.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- DAS, Braja M.; SOBHAN, Khaled. **Fundamentos de engenharia geotécnica**. 8.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. DNIT – IPR 719. **Manual de pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006.
- FERREIRA, Silvio Romero de Melo; OLIVEIRA, Joaquim Teodoro Romão de; GONZÁLEZ, Yamile Valencia. Técnicas de amostragem e preparação de amostras. Cap. 8.

*In:* CARVALHO, José Camapum de; GITIRANA JUNIOR Gilson de Farias Neves; MACHADO, Sandro Lemos; MASCARENHA, Márcia Maria dos Anjos; SILVA FILHO, Francisco Chagas da; RODRIGUES, Roger Augusto (org.). **Solos não saturados no contexto geotécnico**. 2. ed. São Paulo: ABMS, 2023.

FERREIRA, Silvio Romero de Melo; VILAR, Orencio Monje. Solos colapsíveis e expansivos. Cap. 17. *In:* CARVALHO, José Camapum de; GITIRANA JUNIOR Gilson de Farias Neves; MACHADO, Sandro Lemos; MASCARENHA, Márcia Maria dos Anjos; SILVA FILHO, Francisco Chagas da; RODRIGUES, Roger Augusto (org.). **Solos não saturados no contexto geotécnico**. 2. ed. São Paulo: ABMS, 2023.

LIMA, Analice; RODRIGUES, Roger Augusto. Terminologia e simbologia. Cap. 2. *In:* CARVALHO, José Camapum de; GITIRANA JUNIOR Gilson de Farias Neves; MACHADO, Sandro Lemos; MASCARENHA, Márcia Maria dos Anjos; SILVA FILHO, Francisco Chagas da; RODRIGUES, Roger Augusto (org.). **Solos não saturados no contexto geotécnico**. 2. ed. São Paulo: ABMS, 2023.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. **Patologia das fundações**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

OLIVEIRA JUNIOR, Jairo Calderari de. **Apostila de pedologia**. DSEA/UFPR. 2022.

PASTORE, E. L.; FONTES, R. M. Caracterização e classificação de solos. *In:* OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de. (ed.). **Geologia de engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998.

PERTILE, Mauricio. **Ensaio geomecânico em solo residual do município de Bento Gonçalves**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017. Disponível em <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/188429>. Acesso em 27 fev. 2025.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PORTO, Marcos. **Fundações: estudos geotécnicos, investigação, instrumentação e monitoramento geotécnico**. Notas de aula. Instituto Brasileiro de Educação Continuada – INBEC, 2012.

RIBEIRO, Victor Holanda. **Estudo de caso de solução para fundação em solo expansível em Sousa-PB**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019. Disponível em <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/17045>. Acesso em 27 fev. 2025.

RODRIGUES, Thiago Luiz F.; PANTOJA, João da Costa; NARVAEZ, Nathaly Sarasty. Patologias decorrentes de solo expansivo: estudo de caso na cidade de Santana do Cariri – CE. *In:* CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE PATOLOGIA E REABILITAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES, 18, 2022, Sakarya – Turquia. Brasília: Editora Cubo, 2022. p. 1-12.

SANTOS NETO, Pedro Murrieta. **Mecânica dos solos**. 1. ed. São Paulo: Elsevier Editora Ltda., 2018.

SCHNAID, Fernando. **Ensaio de campo e suas aplicações à engenharia de fundações**. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

SCHUBERT, Thamires Ferreira. **Fundações e obras de terra**. 1. ed. Indaial: UNIASSELVI, 2020.

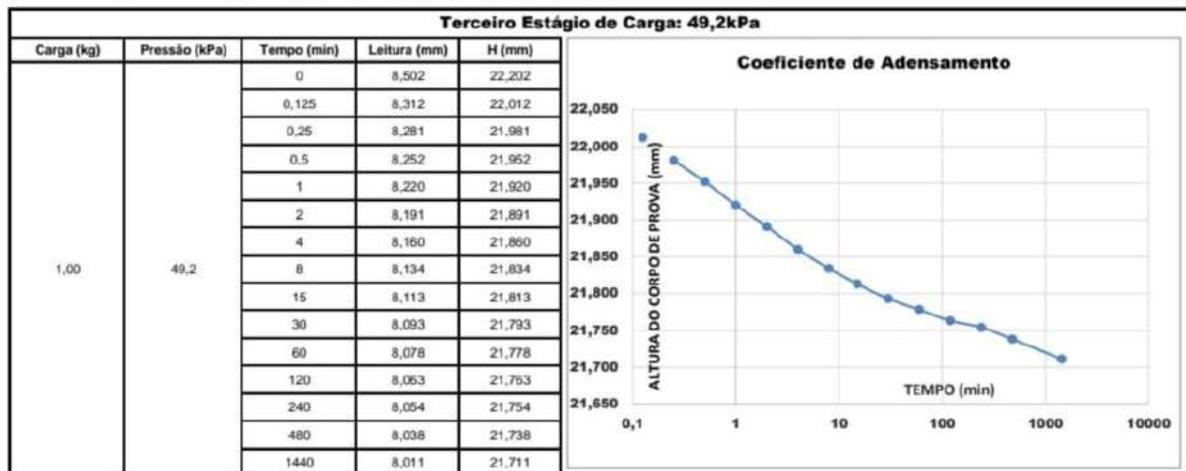
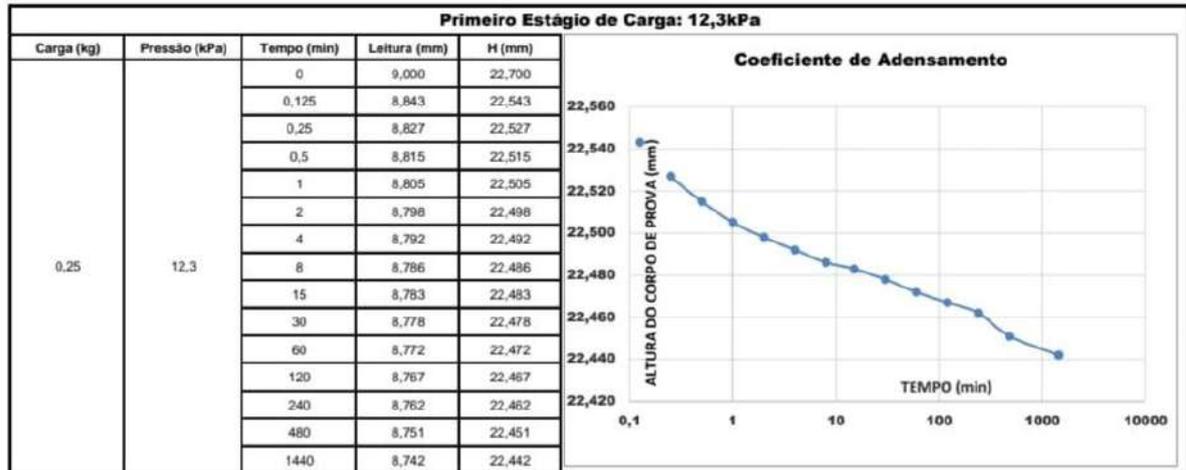
ZARONI, Maria José; SANTOS, Humberto Gonçalves dos. Vertissolos. **EMBRAPA**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/vertissolos>. Acesso em: 12 fev. 2025.

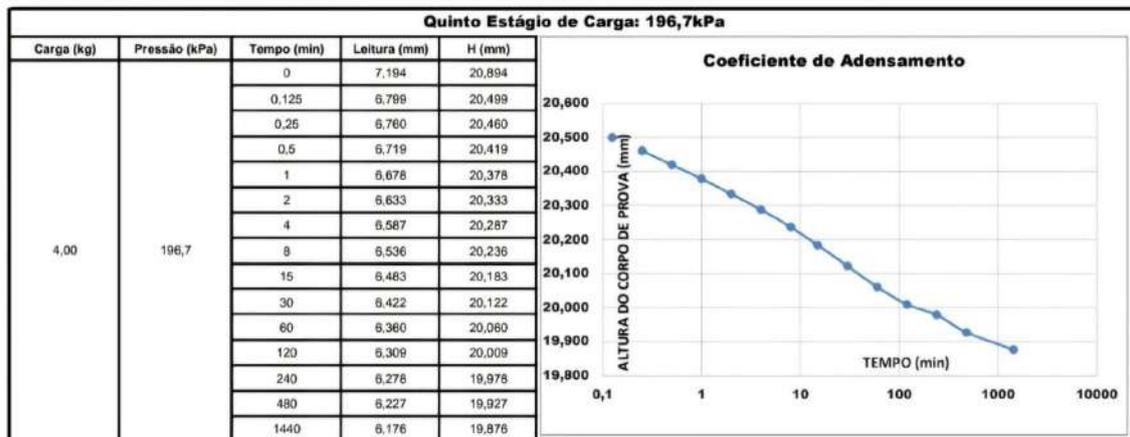
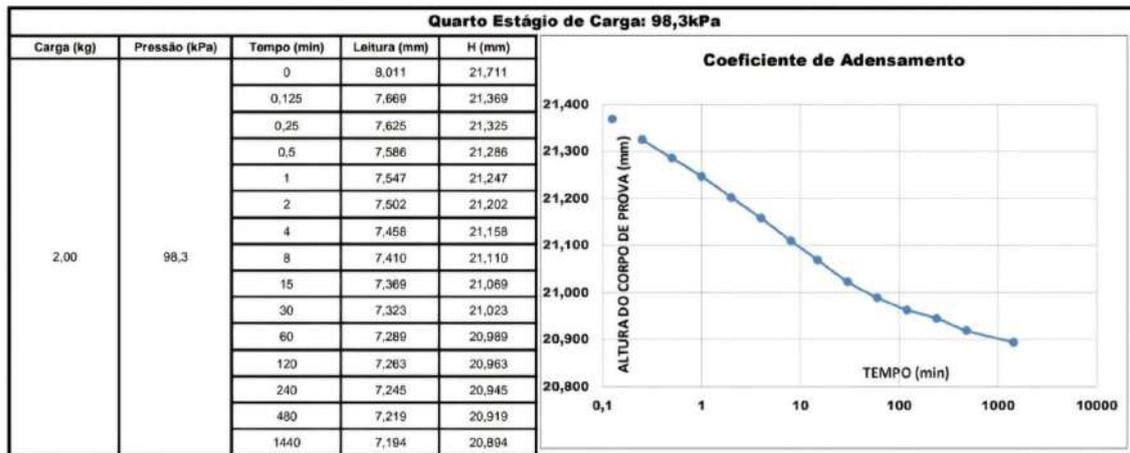
ZORZAN, Lucas Ghion; STRESSER, Cleyton; DIAS, Luana; BOSZCZOWSKI, Roberta Bomfim; PASSINI, Larissa de Brum. **Propriedades e índices físicos de solos**. GEGEO/UFPR. 2019

## APÊNDICE A

## AMOSTRA 1

ENSAIO DE ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL - NBR 16853																
DADOS DA AMOSTRA 1																
<b>Teor de Umidade</b>					<b>Dados Iniciais da Amostra</b>											
<b>Dados</b>	<b>Inicial</b>		<b>Final</b>			Massa da Amostra Úmida ( g ):		66,12								
Capsula Nº	14	37	40	29		Massa Específica dos Sólidos ( g/cm³ ):		2,621								
Peso Cápsula + Solo Úmido ( g )	13,27	11,24	17,38	16,60		Massa Específica Ap. Seca ( g/cm³ ):		1,323								
Peso Cápsula + Solo Seco ( g )	12,64	10,90	14,77	14,19		Índice de Vazios - eo:		0,98								
Peso da Cápsula ( g )	7,32	7,16	7,05	6,83		Grau de Saturação - So ( % ):		27,95								
Teor de Umidade	11,8%	9,1%	33,6%	32,7%		Altura dos Sólidos - Hs ( cm ):		1,15								
Teor de Umidade Médio	10,5%		33,3%			Área do Corpo de Prova (cm²)		19,95								
<b>Dados do Anel</b>					<b>Dados Finais da Amostra</b>											
Anel Utilizado:					01		Massa da Amostra Úmida final ( g ):		72,67							
Altura do Anel ( cm ):					2,27		Índice de Vazios Final - er:		0,74							
Volume do Anel ( cm³ ):					45,25		Grau de Saturação Final - Sr ( % ):		117,49							
Massa do Anel ( g ):					107,16		Altura Final do Corpo de Prova (cm):		19,96							
Área do Anel (cm²)					19,95		Massa Específica Ap. Seca Final ( g/cm³ ):		1,205							
<b>ESTÁGIOS DE CARGA</b>																
<b>Carregamento</b>																
<b>Estágio</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Tensão (kPa)</b>	<b>H<sub>50</sub> (cm)</b>	<b>C<sub>v</sub> (cm/s)</b>	<b>li (mm)</b>	<b>lf (mm)</b>	<b>hi (mm)</b>	<b>hf (mm)</b>	<b>Índice de vazios Final</b>							
1º	0,25	12,29	2,251	5,94E-03	9,000	8,742	22,700	22,442	0,959							
2º	0,5	24,59	2,228	6,08E-04	8,742	8,502	22,442	22,202	0,936							
3º	1,0	49,17	2,189	1,87E-03	8,502	8,011	22,202	21,711	0,895							
4º	2,0	98,35	2,118	9,69E-04	8,011	7,194	21,711	20,894	0,824							
5º	4,0	196,69	2,023	4,10E-04	7,194	6,176	20,894	19,876	0,735							
<b>Descarregamento</b>																
<b>Estágio</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Tensão (kPa)</b>	<b>H<sub>50</sub> (cm)</b>	<b>C<sub>v</sub> (cm/s)</b>	<b>li (mm)</b>	<b>lf (mm)</b>	<b>hi (cm)</b>	<b>hf (cm)</b>	<b>Índice de vazios Final</b>							
6º	2,0	98,35	-	-	6,176	6,26	19,876	19,961	0,742							
<b>GRÁFICO - PRESSÃO APLICADA X ÍNDICE DE VAZIOS</b>																
						<b>Resultados</b>										
						Índice de Compressão Cc:		0,295								
						Pressão de Pré-Adensamento:		26,0 kPa								
						Coeficiente de adensamento - Cv (cm²/s):		4,10E-04								
<b>ESTÁGIOS DE CARGA E DESCARGA</b>																
<b>Estágio</b>	<b>Tensão (kPa)</b>	<b>Leituras (min)</b>														
		0	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	15	30	60	120	240	480	1440
1º	12,29	9,000	8,843	8,827	8,815	8,805	8,798	8,792	8,786	8,783	8,778	8,772	8,767	8,762	8,751	8,742
2º	24,59	8,742	8,644	8,631	8,623	8,615	8,605	8,594	8,582	8,572	8,562	8,553	8,546	8,538	8,523	8,502
3º	49,17	8,502	8,312	8,281	8,252	8,220	8,191	8,160	8,134	8,113	8,093	8,078	8,063	8,054	8,038	8,011
4º	98,35	8,011	7,669	7,625	7,586	7,547	7,502	7,458	7,410	7,369	7,323	7,289	7,263	7,245	7,219	7,194
5º	196,69	7,194	6,799	6,760	6,719	6,678	6,633	6,587	6,536	6,483	6,422	6,360	6,309	6,278	6,227	6,176
6º	98,35	6,176	6,211	6,213	6,215	6,217	6,220	6,222	6,228	6,231	6,238	6,242	6,247	6,251	6,256	6,261



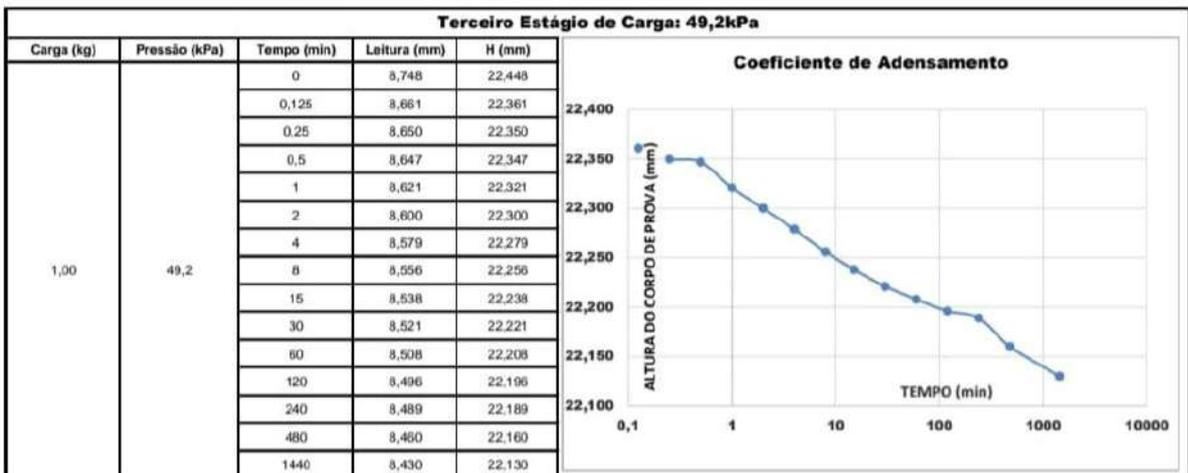
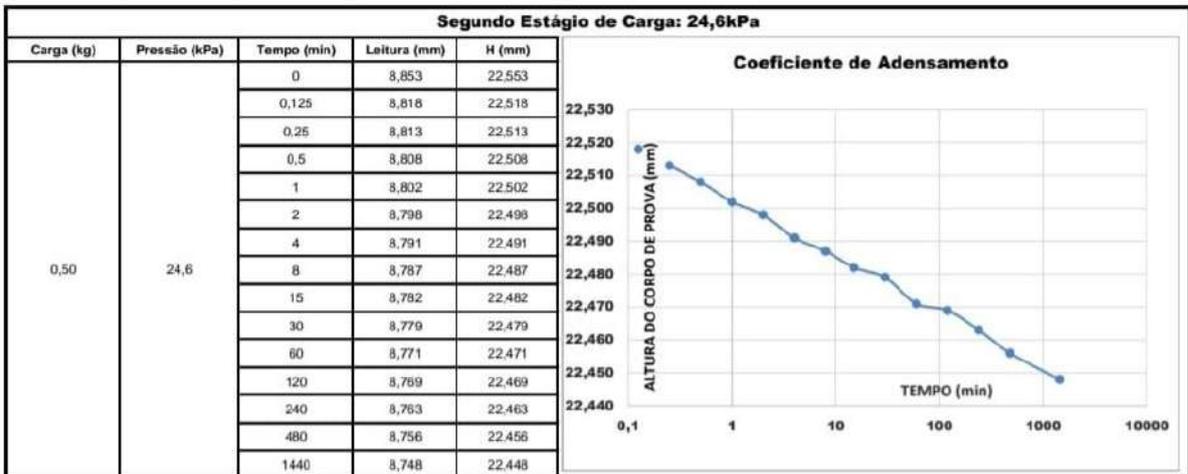
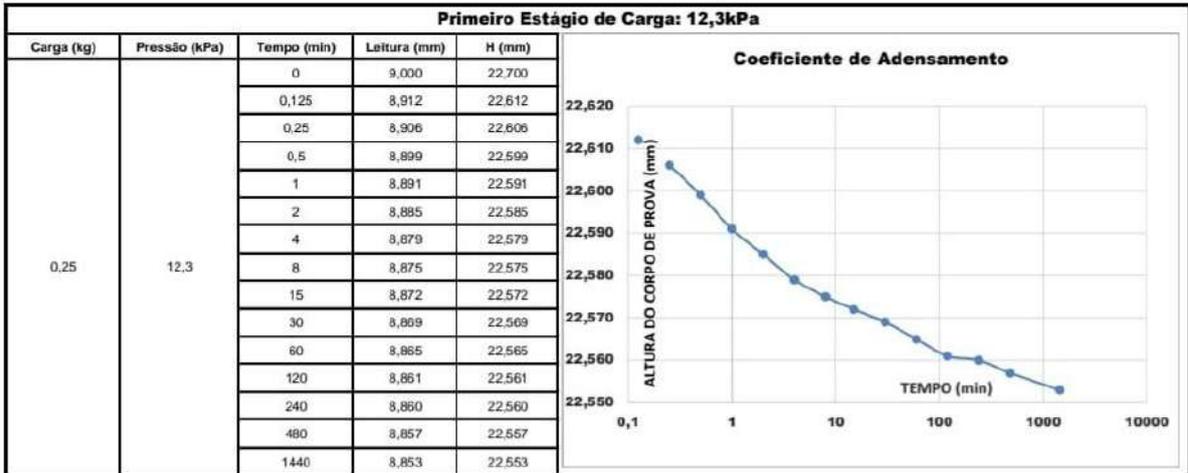
**OBSERVAÇÕES:**

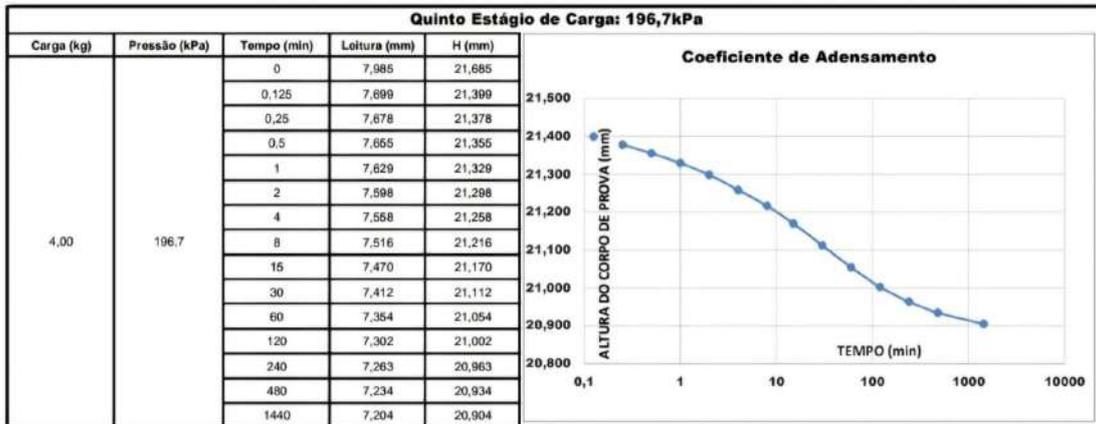
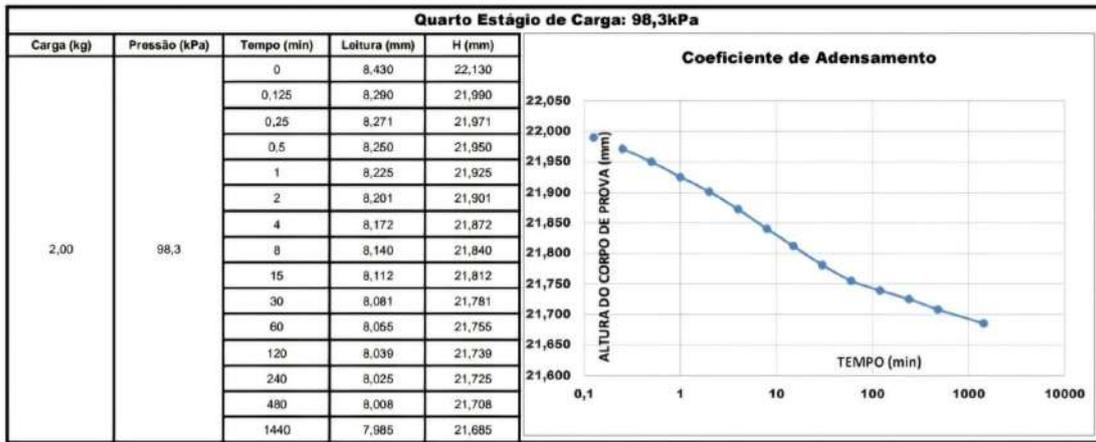
- Amostra coletada em poço escavado com altura de 1,0m na cidade de Icó - CE;
- Silte argiloso de coloração escura;
- Coeficiente de Adensamento (Cv) determinado através do Processo de Casagrande;
- Tensão de Pré-Adensamento definida através do Processo de Pacheco Silva.

## APÊNDICE B

## AMOSTRA 2

ENSAIO DE ADENSAMENTO UNIDIMENSIONAL - NBR 16853																
DADOS DA AMOSTRA																
<b>Teor de Umidade</b>					<b>Dados Iniciais da Amostra</b>											
<b>Dados</b>	<b>Inicial</b>		<b>Final</b>													
Cápsula N°	30	42	31	37	Massa da Amostra Úmida ( g ):		69,25									
Peso Cápsula + Solo Úmido ( g )	11,76	12,97	13,82	16,90	Massa Específica dos Sólidos ( g/cm³ ):		2,105									
Peso Cápsula + Solo Seco ( g )	10,72	11,89	12,05	14,66	Massa Específica Ap. Seca ( g/cm³ ):		1,208									
Peso da Cápsula ( g )	7,32	7,16	7,05	6,83	Índice de Vazios - eo:		0,74									
Teor de Umidade	30,6%	22,8%	35,4%	28,6%	Grau de Saturação - So ( % ):		75,69									
Teor de Umidade Médio	26,7%		32,0%		Altura dos Sólidos - Hs ( cm ):		1,30									
<b>Dados do Anel</b>					<b>Dados Finais da Amostra</b>											
Anel Utilizado:					01		Massa da Amostra Úmida final ( g ):		73,97							
Altura do Anel ( cm ):					2,27		Índice de Vazios Final - er:		0,61							
Volume do Anel ( cm³ ):					45,25		Grau de Saturação Final - Sr ( % ):		110,03							
Massa do Anel ( g ):					107,16		Altura Final do Corpo de Prova ( cm ):		21,00							
Área do Anel ( cm² ):					19,95		Massa Específica Ap. Seca Final ( g/cm³ ):		1,238							
ESTÁGIOS DE CARGA																
Carregamento																
Estágio	Carga (kg)	Tensão (kPa)	H <sub>50</sub> (cm)	Cv (cm²/s)	ll (mm)	If (mm)	hi (mm)	hf (mm)	Índice de vazios Final							
1º	0,25	12,29	2,259	3,49E-03	9,000	8,853	22,700	22,553	0,732							
2º	0,5	24,59	2,249	6,29E-04	8,853	8,748	22,353	22,448	0,724							
3º	1,0	49,17	2,226	9,03E-04	8,748	8,430	22,448	22,130	0,699							
4º	2,0	98,35	2,189	1,51E-03	8,430	7,985	22,130	21,685	0,665							
5º	4,0	196,69	2,118	2,45E-04	7,985	7,204	21,685	20,904	0,605							
Descarregamento																
Estágio	Carga (kg)	Tensão (kPa)	H <sub>50</sub> (cm)	Cv (cm²/s)	ll (mm)	If (mm)	hi (cm)	hf (cm)	Índice de vazios Final							
6º	2,0	98,35	-	-	7,204	7,299	20,904	20,999	0,612							
GRÁFICO - PRESSÃO APLICADA X ÍNDICE DE VAZIOS																
<b>Resultados</b>																
Índice de Compressão Cc:							0,199									
Pressão de Pré-Adensamento:							32,0 kPa									
Coeficiente de adensamento - Cv (cm²/s):							2,45E-04									
ESTÁGIOS DE CARGA E DESCARGA																
Estágio	Tensão (kPa)	Leituras (min)														
		0	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	15	30	60	120	240	480	1440
1º	12,29	9,000	8,912	8,905	8,896	8,891	8,885	8,879	8,875	8,872	8,869	8,865	8,861	8,860	8,857	8,853
2º	24,59	8,853	8,818	8,813	8,806	8,802	8,798	8,791	8,787	8,782	8,779	8,771	8,769	8,763	8,756	8,748
3º	49,17	8,748	8,661	8,650	8,647	8,621	8,600	8,579	8,556	8,538	8,521	8,508	8,496	8,489	8,490	8,430
4º	98,35	8,430	8,290	8,271	8,250	8,225	8,201	8,172	8,140	8,112	8,081	8,055	8,039	8,025	8,008	7,965
5º	196,69	7,985	7,699	7,678	7,655	7,629	7,598	7,558	7,516	7,470	7,412	7,354	7,302	7,263	7,234	7,204
6º	98,35	7,204	7,240	7,242	7,245	7,248	7,251	7,257	7,261	7,268	7,272	7,260	7,263	7,261	7,295	7,289



**OBSERVAÇÕES:**

- Amostra coletada em poço escavado com altura de 1,0m na cidade de Icó - CE;
- Silte argiloso de coloração escura;
- Coeficiente de Adensamento (Cv) determinado através do Processo de Casagrande;
- Tensão de Pré-Adensação definida através do Processo de Pacheco Silva.

	<b>INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA</b>
	Campus Cajazeiras - Código INEP: 25008978
	Rua José Antônio da Silva, 300, Jardim Oásis, CEP 58.900-000, Cajazeiras (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0005-07 - Telefone: (83) 3532-4100

## Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

### Trabalho de conclusão de curso

<b>Assunto:</b>	Trabalho de conclusão de curso
<b>Assinado por:</b>	Ana Rute
<b>Tipo do Documento:</b>	Dissertação
<b>Situação:</b>	Finalizado
<b>Nível de Acesso:</b>	Ostensivo (Público)
<b>Tipo do Conferência:</b>	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Ana Rute Gonçalves de Sousa, ALUNO (201912200034) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS**, em 18/03/2025 18:15:20.

Este documento foi armazenado no SUAP em 18/03/2025. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1424406

Código de Autenticação: 5a4f3769d4

