



UFC

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

THAYNÁ DA SILVA NUNES

**COMPRESSIBILIDADE DE SOLOS UTILIZADOS COMO *LINERS* EM ATERROS
SANITÁRIOS**

RUSSAS

2022

THAYNÁ DA SILVA NUNES

COMPRESSIBILIDADE DE SOLOS UTILIZADOS COMO *LINERS* EM ATERROS
SANITÁRIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Campus Russas da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Profa. Ms. Daniela Lima Machado da Silva.

RUSSAS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- N929c Nunes, Thayná da Silva.
Compressibilidade de solos utilizados como liners em aterros sanitários / Thayná da Silva Nunes. –
2022.
80 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas,
Curso de Curso de Engenharia Civil, Russas, 2022.
Orientação: Profa. Ma. Daniela Lima Machado da Silva.
1. Aterros sanitários. 2. Adensamento. 3. Bentonita. I. Título.

CDD 620

THAYNÁ DA SILVA NUNES

COMPRESSIBILIDADE DE SOLOS UTILIZADOS COMO *LINERS* EM ATERROS
SANITÁRIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil do Campus
Russas da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: ___/___/____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Ms. Daniela Lima Machado da Silva (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Mariana Vella Silveira (Examinadora Interna)
Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus do Pici

Prof. Dr. Cláudio Luis Araújo Neto (Examinador externo)
UNINASSAU - Campina Grande/PB

À minha mãe, por todo apoio, amor e fé depositada em mim não só durante este período acadêmico, mas por toda a minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente à minha família, em especial à minha mãe Vilanete e ao meu irmão Thiago, que sempre acreditaram em mim e me apoiaram mesmo nos momentos mais difíceis e indecisos dessa trajetória, sem eles nada disso seria possível. Obrigada também a todos os demais parentes que de alguma forma contribuíram com minha jornada.

Ao meu namorado Rafael, por me ouvir e apoiar nos momentos difíceis, pelos conselhos e todo incentivo. Obrigada por todo amor e apoio, por me fazer acreditar que conseguiria. Às minhas amigas de infância, Sabrina, Marília, Iasmim, Vitória e Miliane, que estão comigo até hoje e sempre me dão forças para prosseguir.

À Prof. Ms. Daniela Lima Machado da Silva, por aceitar me orientar neste trabalho e pela amizade, companheirismo, conversas, risadas e toda a motivação durante esses últimos períodos. Obrigada por depositar tanta confiança em mim, e acreditar nessa pesquisa em todos os momentos.

Aos técnicos Allisson Guilherme, Myckelle Michely, ao Professor Roberto e Anselmo que me deram todo auxílio necessário nos ensaios e tornaram essa pesquisa possível.

Aos professores participantes da banca examinadora Profa. Dra. Mariana Vella Silveira e Prof. Dr. Cláudio Luis Araújo Neto pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

À Vale J Jr, que durante minha trajetória me moldou e transformou na pessoa que sou hoje, que me fortaleceu e preparou para o futuro de uma forma inexplicável.

A todos os meus amigos e colegas que contribuíram nessa minha trajetória, em especial Auciane e Cássia, que compartilharam comigo de forma tão próxima o andamento dessa pesquisa, obrigada por compartilharem a jornada de vocês comigo também.

Ao Grupo de Geotecnia Ambiental (GGA) da UFCG por fornecer dados importantes para esse estudo.

À Universidade Federal do Ceará, docentes, coordenadores e diretores que participaram e contribuíram nesse processo de tanto crescimento e aprendizado para mim.

Muito obrigada a todos que estiveram comigo, e contribuíram de forma direta e indireta nessa jornada. Sozinha eu jamais conseguiria. Sou muito grata por ter pessoas tão especiais ao meu redor.

“Inteligência é a habilidade das espécies para viver em harmonia com o meio ambiente.” (Paul Atson)

RESUMO

Aterros sanitários são uma das formas de destinação final de Resíduos Sólidos Urbanos mais utilizada no Brasil. Com o processo de globalização e aumento no consumo, a necessidade de ter aterros sanitários com mais eficiência e maior vida útil tem aumentado. As camadas de base, também chamadas *liners*, são estruturas essenciais para o funcionamento dos aterros, visto que têm por finalidade evitar a contaminação do solo e do lençol freático. Vários materiais são empregados na constituição de *liners*, e um desses materiais é a mistura de solo natural da localidade do aterro e bentonita, sendo a função primordial da adição da bentonita reduzir a permeabilidade da camada. Por se tratar de um material composto, basicamente, por argilo-minerais e apresentar uma grande plasticidade, se faz necessário estudar o processo de adensamento dessas misturas, pois esse mecanismo é causador de recalques, o que pode instabilizar mecanicamente as células de resíduos. Com isso, o presente estudo objetivou analisar a compressibilidade de misturas de solos utilizados como *liner* em um aterro sanitário localizado em Campina Grande - PB. A metodologia dessa pesquisa consistiu inicialmente, da realização da caracterização geotécnica de misturas com teores de 5, 15 e 25% de bentonita. Para determinação da compressibilidade, foram realizados ensaios de compressão edométrica em amostra deformada. Os resultados dessa pesquisa demonstraram que a adição de bentonita influencia no processo de adensamento dos solos, porém de forma não-linear. Observou-se que a amostra de 15% apresenta maiores deslocamentos verticais em detrimento das demais analisadas, assim, a amostra de 25% apresentou-se como a mais viável para evitar maiores instabilidades na estrutura.

Palavras-chave: Aterros sanitários. Adensamento. Bentonita.

ABSTRACT

Sanitary landfills are one of the most used forms of final disposal of Urban Solid Waste in Brazil. With the globalization process and increase in consumption, the need to have sanitary landfills with more efficiency and longer useful life has increased. The base layers, also called liners, are essential structures for the operation of landfills, since their purpose is to avoid contamination of the soil and groundwater. Several materials are used in the formation of liners, and one of these materials is the mixture of natural soil from the landfill site and bentonite, and the main function of the addition of bentonite is to reduce the permeability of the layer. As it is a material composed, basically, of clay-minerals and presents a great plasticity, it is necessary to study the process of densification of these mixtures, since this mechanism causes settlements, which can mechanically destabilize the waste cells. Thus, the present study aimed to analyze the compressibility of soil mixtures used as a liner in a sanitary landfill located in Campina Grande - PB. The methodology of this research initially consisted of carrying out the geotechnical characterization of mixtures with contents of 5, 15 and 25% of bentonite. To determine the compressibility, edometric compression tests were performed on a deformed sample. The results of this research showed that the addition of bentonite influences the soil consolidation process, but in a non-linear way. It was observed that the 15% sample presents greater vertical displacements to the detriment of the others analyzed, thus, the 25% sample presented itself as the most viable to avoid greater instabilities in the structure.

Keywords: Sanitary landfills. densification. bentonite.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Analogia mecânica de Terzaghi	20
Figura 2 - Fluxograma da metodologia da pesquisa	23
Figura 3 - Vista aérea do aterro de Campina Grande (Paraíba, Brasil)	24
Figura 4 - Municípios que direcionam RSU para o aterro de Campina Grande	24
Figura 5 - Prensas de adensamento	26
Figura 6 - Célula experimental	27
Figura 7 - Célula no sistema de aplicação de carga	27
Figura 8 - Corpo de prova após secagem	28
Figura 9 - Processo de Pacheco Silva para a determinação da pressão de pré-adensamento	29
Figura 10 - Processo de Taylor para determinação do coeficiente de adensamento	30
Figura 11 - Curvas granulométricas das misturas	30
Figura 12 - Curvas de compactação	34
Figura 13 - Comparativo da variação das alturas para o carregamento de 40 kPa	37
Figura 14 - Comparativo da variação das alturas para o carregamento de 80 kPa	38
Figura 15 - Comparativo da variação das alturas para o carregamento de 160 kPa	39
Figura 16 - Comparativo da variação das alturas para o carregamento de 320 kPa	40
Figura 17 - Comparativo da variação das alturas para o carregamento de 640 kPa	41
Figura 18 - Comparativo das curvas índice de vazios em função do logaritmo das pressões aplicadas	42

Figura 19 - Índices de compressão em função do teor de bentonita das amostras	43
Figura 20 - Coeficiente de adensamento em função da pressão aplicada	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Ensaio de caracterização geotécnica realizados e suas metodologias	25
Tabela 2 -	Granulometria das misturas	31
Tabela 3 -	Resultados do ensaio de Casagrande	32
Tabela 4 -	Valores de LP e IP das amostras	33
Tabela 5 -	Determinação das umidades iniciais e finais das amostras	35
Tabela 6 -	Parâmetros iniciais	35
Tabela 7 -	Variação das alturas para o carregamento de 40 kPa	36
Tabela 8 -	Variação das alturas para o carregamento de 80 kPa	37
Tabela 9 -	Variação das alturas para o carregamento de 160 kPa	38
Tabela 10-	Variação das alturas para o carregamento de 320 kPa	39
Tabela 11-	Variação das alturas para o carregamento de 640 kPa	40
Tabela 12-	Deslocamentos verticais totais das amostras	41
Tabela 8-	Índices de compressão das amostras	43
Tabela 9 -	Coefficientes de adensamento (C_v) das amostras	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CCL	Camadas de solo compactado
CE	Ceará
CGA/UFCG	Grupo de Geotecnia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande
cm	Centímetros
cm ²	Centímetros quadrados
cm ³	Centímetros cúbicos
cm/s	Centímetros por segundo
cm ² /s	Centímetros quadrados por segundo
CP	Corpo de prova
FEAM	Fundação do Meio Ambiente de Minas Gerais
g	Gramas
g/cm ³	Gramas por centímetro cúbico
h	Horas
IP	Índice de Plasticidade
kPa	Kilopascal
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
min	Minutos

mm	Milímetros
N	Newton
NA	Normalmente adensada
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
PB	Paraíba
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
s	Segundos
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFCG.	Universidade Federal de Campina Grande

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
Na ₂ CO ₃	Carbonato de sódio
C _c	Índice de compressão
C _v	Coefficiente de adensamento

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	15
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Aterros sanitários	16
2.2	Camadas de base em aterros sanitários	17
<i>2.2.1</i>	<i>Camadas de base com solos argilosos</i>	17
<i>2.2.2</i>	<i>Camadas de base com mistura de solo natural + bentonita</i>	18
2.3	Adensamento	19
<i>2.3.1</i>	<i>Recalques</i>	19
<i>2.3.2</i>	<i>Teoria do adensamento de Terzaghi</i>	20
2.4	Influência do adensamento em liners de aterros sanitários	21
2.5	Ensaio de compressão edométrica	22
3	METODOLOGIA	23
3.1	Área de estudo	24
3.2	Coleta de material	24
3.3	Caracterização geotécnica	25
3.4	Ensaio de Adensamento Unilateral	26
<i>3.4.1</i>	<i>Pressões de Pré-adensamento</i>	28

3.4.2	<i>Índices de compressão (Cc)</i>	29
3.4.3	<i>Curvas de adensamento</i>	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
4.1	Caracterização geotécnica	31
4.1.1	<i>Granulometria</i>	31
4.1.2	<i>Limites de consistência</i>	32
4.1.2.1	<i>Limite de Liquidez (LL)</i>	32
4.1.2.2	<i>Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP)</i>	33
4.1.3	<i>Compactação</i>	34
4.2	Ensaio de Adensamento Unidimensional	36
4.2.1	<i>Deslocamentos verticais</i>	37
4.2.2	<i>Índice de vazios em função do logaritmo da pressão aplicada</i>	41
4.2.2.1	<i>Índices de compressão (Cc)</i>	42
4.2.2	<i>Curvas de adensamento</i>	43
5	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46
	APÊNDICE A - TABELA DE DADOS DO AMOSTRADOR E AMOSTRAS DO ENSAIO EDOMÉTRICO	49
	APÊNDICE B – TABELAS COM O CARREGAMENTO DOS CORPOS DE PROVA COM CARGAS DE 40, 80, 160, 320 E 640 KPA ...	50
	APÊNDICE C - TABELAS COM O DESCARREGAMENTO DOS CORPOS DE PROVA	61

APÊNDICE D - DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE H_{90} E t_{90}	
PELO MÉTODO DE TAYLOR	72
APÊNDICE E - CURVAS DE COEFICIENTES DE ADENSAMENTO	
EM FUNÇÃO DO LOGARITMO DAS TENSÕES	79

1 INTRODUÇÃO

Aterros sanitários são uma das formas de destinação final de Resíduos Sólidos Urbanos mais utilizados no Brasil. De acordo com a NBR 8419 (1992), os aterros constituem em um tipo de técnica para disposição de resíduos sólidos urbanos que “utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra”, com o objetivo de gerar menos danos à saúde e segurança da população. Diante disso, os aterros sanitários são vistos como a maneira mais viável e com menor impacto de gerenciar os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

Com o processo de globalização e aumento no consumo, a necessidade de ter aterros sanitários com mais eficiência e maior vida útil tem aumentado. Por se tratar de depósitos que envolvem uma infinidade de materiais, é necessário que se observe quais são os processos físico-químicos gerados e quais os impactos desses processos na vida útil do empreendimento. Segundo Denardin (2013), por conta do processo constante de expansão das regiões urbanas e da crescente preocupação com o ambiente, há uma certa dificuldade na implantação de novos aterros a cada aumento de demanda, fazendo com que o aproveitamento máximo e o aumento da vida útil dos aterros sejam pontos de grande importância a serem estudados.

As camadas de base de aterros sanitários, também chamadas *liners*, são estruturas essenciais para o funcionamento dos aterros, visto que têm por finalidade evitar a contaminação do solo e do lençol freático. Para garantir esse prolongamento da vida útil do aterro, são necessários estudos acerca de diversos aspectos construtivos, em especial, a respeito do solo que compõe o empreendimento. Tapahuasco (2009) defende que é de grande importância o estudo dos recalques em aterros sanitários porque a partir daí é possível analisar a integridade de seus componentes estruturais e o desempenho do próprio aterro após o confinamento.

Considerando-se a importância da avaliação de recalques desses elementos, é possível destacar que o estudo aprofundado do comportamento das *liners* é imprescindível para o funcionamento do empreendimento e é bastante afetada pelo confinamento e peso próprio da massa aterrada.

Vários materiais são empregados na constituição de *liners*, e um desses materiais são as misturas de solo natural da localidade do aterro e bentonita, sendo a função primordial da

adição da bentonita reduzir a permeabilidade da camada. Além disso, por se tratar de um material composto, basicamente, por argilo-minerais e apresentar uma grande plasticidade, se faz necessário estudar o processo de adensamento dessas misturas, pois esse mecanismo é causador de recalques, o que pode instabilizar mecanicamente as células de resíduos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a compressibilidade de solos utilizados como *liner* em um aterro sanitário localizado em Campina Grande – PB.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar a influência da adição de bentonita nas características geotécnicas das misturas com teores de 5, 15, e 25% de bentonita;
- Comparar a compressibilidade dos solos, estimando os parâmetros de compressibilidade para cargas semelhantes àquelas impostas no aterro sanitários;
- Sugerir a composição da mistura que apresente um comportamento mais favorável para o desempenho como *liners* em relação à compressibilidade, de modo a contribuir com a melhoria da vida útil e da estabilidade mecânica do Aterro Sanitário de Campina Grande -PB (ASCG).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aterros sanitários

Por ser uma técnica com menores impactos ambientais, os aterros sanitários são cada vez mais utilizados como meios de descarte de RSU. Segundo a Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais - FEAM (2006), “embora consistindo numa técnica simples, os aterros sanitários exigem cuidados especiais, e procedimentos específicos devem ser seguidos desde a escolha da área até a sua operação e monitoramento.”

Os principais componentes para instalação de aterros sanitários, de acordo com Tapahuasco (2009) são:

- a) Sistema de camada de base;
- b) Sistema de drenagem dos lixiviados;
- c) Sistema de drenagem de gases;
- d) Sistemas de camadas de coberturas;

Segundo a Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais (2006), a operação de um aterro sanitário se dá pela seguinte rotina:

- Recebimento dos resíduos: onde é feita a fiscalização, pesagem e classificação dos RSU;
- Impermeabilização da base: é a fase responsável por impedir a contaminação do solo e do lençol freático e “o fator que determinará o desempenho do sistema é a compactação realizada em campo” (FEAM, 2006);
- Disposição dos resíduos: é feita a demarcação da área correta para disposição dos resíduos e “o caminhão deve depositar o lixo em ‘pilhas’ imediatamente a jusante da frente de operação demarcada” (FEAM, 2006);
- Espalhamento e compactação dos resíduos: essa etapa é realizada por um trator de esteira, que promove o espalhamento e compactação efetuando movimentos repetidos de baixo para cima, com o mínimo de 6 passadas, ou até que não se observe mudança significativa no volume da camada;

- Recobrimento dos resíduos: ao final das etapas anteriores, os resíduos devem ser cobertos por uma camada de terra, que também é espalhada em movimentos de baixo para cima. Existe a cobertura diária, que objetiva impedir o espalhamento dos resíduos e a contaminação do ar; e a cobertura final, que é realizada após o esgotamento da capacidade da plataforma.

2.2 Camadas de base em aterros sanitários

As camadas de base, também conhecidas como *liners*, são responsáveis pela impermeabilização do empreendimento, visando evitar a percolação de fluidos e contaminação do solo subjacente. Segundo Locastro e Angelis (2016), os sistemas de impermeabilização podem ser constituídos por diversos materiais, tais como, solo compactado, concreto, solo-cimento, membranas de bentonita, misturas de areia e bentonita e geossintéticos.

Para Boscov (2008) a impermeabilização das camadas de base de aterros sanitários pode ser feita utilizando: camadas de solo compactado (*compacted clay liner - CCL*), geossintéticos ou uma mistura dos dois.

2.2.1 Camadas de base com solos argilosos

Cada tipo de solo reage à compactação de forma diferente devido às suas características físicas e químicas. Solos argilosos possuem partículas menores, e segundo Pinto (2006), a redução do diâmetro dos grãos influi de forma direta no coeficiente de permeabilidade.

Além de possuir características que dificultam a percolação, o fator econômico é grande aliado da utilização de solos argilosos compactados em *liners*, devido à sua disponibilidade. Segundo Kumar e Yong (2002), barreiras de impermeabilização de solos argilosos compactados são comumente utilizadas para evitar a percolação de fluidos e evitar a contaminação do solo. Além disso, o solo argiloso compactado possui uma condutividade hidráulica de aproximadamente 10^{-7} cm/s, que se encontra abaixo do limite determinado pela norma NBR 13896 (ABNT,1997b), que define um coeficiente de permeabilidade máximo de 5×10^{-5} cm/s.

Porém, além da permeabilidade a água, outros fatores devem ser considerados na escolha do material para constituir a camada de base. De acordo com Locastro e Angelis (2016) é necessário um diagnóstico prévio do solo, de modo a verificar a caracterização do solo, com ensaios de granulometria, limites de liquidez e plasticidade e ensaios de massa específica. Além disso, é importante analisar também o comportamento desse solos frente à imposição de esforços mecânicos, por meio de ensaios como os de compactação e adensamento.

2.2.2 Camadas de base com mistura de solo natural + bentonita

Segundo Lima et al. (2011), a bentonita é um solo composto por argilominerais que tem alto poder higroscópico, ou seja, apresentam a capacidade de retirar a umidade do meio em que se encontra e expandir-se. Assim, a adição da bentonita ao solo natural confere a este uma redução da permeabilidade. Em aterros sanitários, essa mistura é muito utilizada para as barreiras de impermeabilização devido ao fato de grande parte dos solos naturais não possuírem características apropriadas no que tange à permeabilidade.

Grim et al. (1978), descrevem que a esmectita é o argilomineral responsável pelas propriedades físicas da bentonita. Além disso, os autores defendem que o percentual desse argilomineral montmorilonítico nas argilas bentoníticas varia entre 55 e 70%, o que faz com que seu grau de expansão na presença de água seja muito elevado, chegando a 20 vezes o volume inicial. Por essa alta capacidade expansiva, Dafalla (2017) defende que a bentonita não deve ser utilizada pura, e sim como um aditivo para melhorar a impermeabilidade de outros materiais, indicando inclusive o percentual de 15% como sendo o apropriado para atingir as características desejadas sem que a mistura se torne expansiva demais.

Kumar e Yong (2002) constataram que outros aspectos geotécnicos são modificados com a adição da bentonita à mistura:

- Os limites de liquidez, de plasticidade e o índice de plasticidade da mistura aumentaram linearmente com o aumento do teor de bentonita;
- Para alguns valores de compactação, houve a diminuição da densidade seca máxima e o aumento do teor de umidade ótima, o que garante uma maior resistência ao cisalhamento e diminui a condutividade hidráulica;

- A adição da bentonita aumenta linearmente a resistência à compressão não confinada da mistura;
- Com a adição da bentonita há o aumento da compressibilidade da mistura, sendo que para teores baixos o índice de expansão da mistura tem aumento mais significativo que a compressibilidade.

De acordo com Brasil (2016), o Estado da Paraíba é o maior produtor de bentonita no país, tanto em sua forma bruta quanto na beneficiada, correspondendo a 60,8% e 47,7% da produção nacional, respectivamente. O município de Boa Vista é o maior produtor de bentonita do Estado, ficando localizado a aproximadamente 24 km do aterro sanitário de Campina Grande.

Segundo Amorim et al. (2004), a bentonita proveniente da jazida de Boa Vista é do tipo não-expansiva, sendo modificada por meio da adição de carbonato de sódio (Na_2CO_3) para tornar-se expansiva em casos que seja necessária essa característica.

Em virtude da existência desse argilo-mineral em sua composição, as bentonitas apresentam grande compressibilidade, fator que deve ser considerado para analisar os possíveis riscos ao empreendimento decorrentes do processo de compressão.

2.3 Adensamento

2.3.1 Recalques

As camadas de base de aterros sanitários são submetidas a um confinamento e todo o peso dos resíduos é posto sobre elas de forma gradativa, o que pode ocasionar deslocamentos verticais em longos períodos de tempo. O estudo de Kumar e Yong (2002) descreveu que baixos teores de bentonita possuem pequenos efeitos na compressibilidade das misturas, mas com a adição de bentonita em percentuais maiores, a compressibilidade teve aumentos significativos e não-lineares devido ao aumento da quantidade de finos no solo.

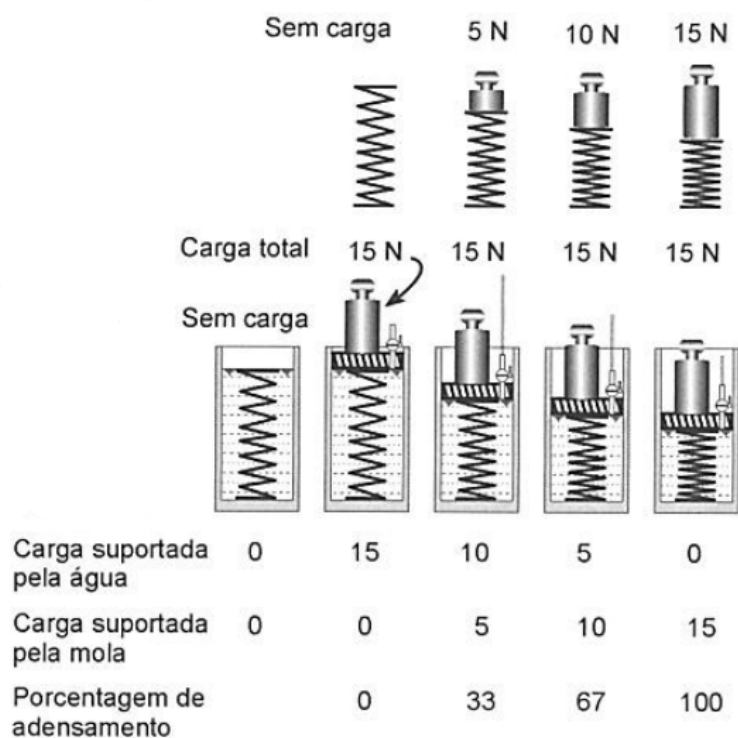
De acordo com Pinto (2006), para solos argilosos saturados, o processo de deformação por expulsão da água dos vazios do solo pode se dar muito lentamente, devido à baixa permeabilidade deste tipo de solo. Esse processo se denomina adensamento dos solos.

2.3.2 Teoria do adensamento de Terzaghi

Pinto (2006) defende que para uma compreensão mais simplificada do adensamento dos solos, é possível utilizar a analogia mecânica de Terzaghi, em que se considera que a estrutura sólida do solo é semelhante a uma mola, cuja deformação é proporcional à carga aplicada. O mecanismo conta com uma mola dentro de um pistão cheio de água, que representa o solo saturado, e no êmbolo do pistão há um pequeno orifício por onde a água passa lentamente, simbolizando os poros do solo. O mecanismo pode ser observado na Figura 1.

A analogia simula o que ocorre em campo e pode ser aplicada a aterros sanitários, visto que o solo é confinado, de forma semelhante ao mecanismo. Nos aterros, a camada de base encontra-se saturada, confinada lateralmente e recebe a pressão das camadas de resíduos e das compactações realizadas. Assim, o mecanismo de Terzaghi representa de modo razoável o processo de adensamento que ocorre na realidade.

Figura 1 - Analogia mecânica de Terzaghi



Fonte: Pinto (2006)

Segundo Pinto (2006), o que ocorre é que com a aplicação de uma carga qualquer, no primeiro instante a mola não sofre deformação, visto que ainda não há saída de água. Assim, toda a carga é suportada pela água, que com o tempo sai do pistão através do orifício no êmbolo. Com a saída da água, a mola vai assumindo parte da carga, até chegar ao ponto em que não haja mais excesso de poropressão no pistão e toda a carga seja suportada pela mola, que se deforma até atingir o menor volume possível para suportar a carga aplicada.

Esse processo de transferência de tensão com a conseqüente diminuição do volume da estrutura sólida do solo constitui a Teoria do Adensamento de Terzaghi, que segundo Caputo (1988) para fins de simplificação considera as hipóteses a seguir:

- A camada compressível possui espessura constante, é confinada lateralmente e o solo constituinte é homogêneo;
- Todos os vazios estão saturados;
- Tanto a água quanto as partículas sólidas são incompressíveis;
- O escoamento é regido pela Lei de Darcy (com coeficiente de permeabilidade constante) e se processa somente na vertical;
- Uma variação na pressão efetiva do solo causa uma variação correspondente no índice de vazios.

2.4 Influência do adensamento em *liners* de aterros sanitários

Os fatores que ocasionam o processo de adensamento e recalque em aterros sanitários são muito diversos e existem estudos que utilizam a Teoria de Adensamento reformulada para identificar a ocorrência do processo nos próprios resíduos. Embora este não seja o propósito do presente estudo, é interessante que sejam analisados alguns pontos a respeito dos recalques dos RSU nos aterros para entender melhor o que ocorre nas camadas de base deles.

O principal pioneiro nos estudos de recalques em aterros é Sowers (1973), que definiu que os mecanismos que governam os recalques dos aterros sanitários são: mecânico, erosão e ravinamento, alterações físico-químicas, decomposição biológica, a interação entre todos esses mecanismos e a dissipação de pressões neutras de líquidos e gases. Leonard e Floom (2000) defendem que o mecanismo que gera recalques mais significativos nos aterros é o mecânico, que ocorre na aplicação da carga de compactação na operação do aterro.

Considerando-se que os processos mecânicos são os mais significativos para os recalques dos RSU propriamente ditos, com a camada de base não é diferente. Por isso, a análise do adensamento de *liners* com adição de argilas se faz tão necessária. Segundo Morandini e Schneider (2017), as deformações excessivas em dos solos utilizados em barreiras impermeabilizantes podem causar trincas e fissuras, o que ocasiona o comprometimento da integridade da estrutura.

Além disso, é imprescindível que o processo de deformação das camadas de base seja analisado a fundo devido ao fato de que são estruturas que sofrem confinamentos que podem ocultar problemas estruturais e até mesmo impossibilitar manobras corretivas. Assim, os estudos com finalidade preventiva para *liners* de aterros sanitários são de tamanha importância.

Na literatura ainda não existem estudos que analisem de forma mais específica o adensamento das camadas de base, o que evidencia a necessidade de maior atenção a este aspecto, visto que se trata de uma estrutura essencial para o funcionamento correto dos aterros sanitários.

2.5 Ensaio de compressão edométrica

Pinto (2006) afirma que existem dois ensaios responsáveis por determinar a deformabilidade dos solos: o ensaio de compressão axial e o ensaio de compressão edométrica. Para o presente estudo, considerando que os *liners* do aterro sanitário são confinados por outras camadas de solo e de resíduos, o ensaio que mais se aplica para simular o comportamento do solo da camada de base é o de compressão edométrica.

Durante o ensaio, a amostra é confinada em um anel metálico que, de acordo Caputo (1988), tem por finalidade simular o que ocorre em campo, onde o deslocamento lateral do solo submetido ao carregamento é impedido pelo restante do maciço ao redor.

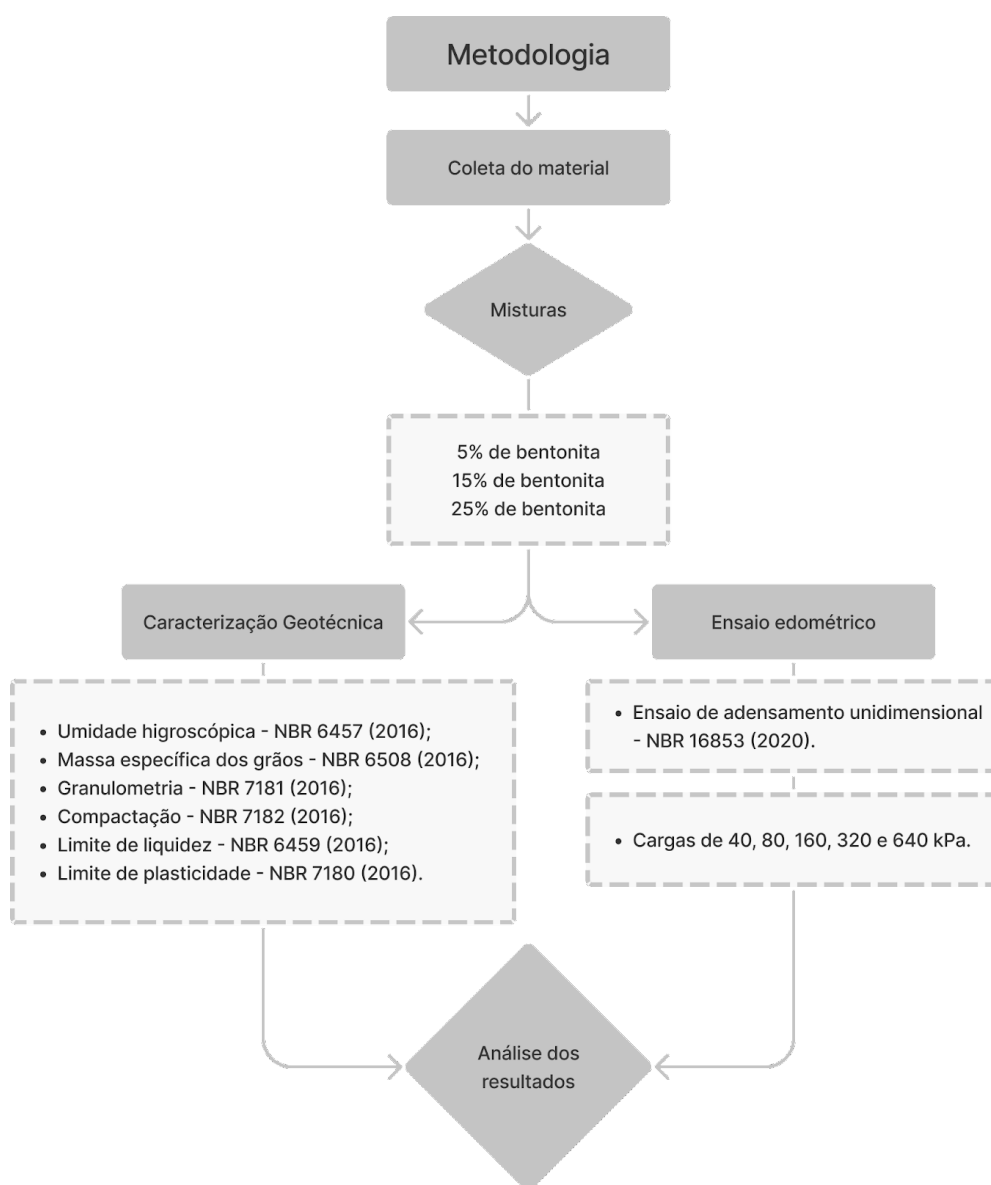
Seguindo o procedimento da NBR 16853 (2020), o ensaio de adensamento unilateral se baseia no princípio que requer que “um elemento de solo, mantido lateralmente confinado, seja axialmente carregado em incrementos, com pressão mantida constante em cada incremento, até que todo o excesso de pressão na água dos poros tenha sido dissipado.” (NBR 16853, 2020).

O excesso de poro-pressão se dissipa do solo por meio de pedras porosas permeáveis e são feitas leituras da altura do corpo-de-prova em intervalos de tempo pré-definidos através de um extensômetro. Assim, a partir do ensaio edométrico é possível analisar parâmetros referentes à compressibilidade, permeabilidade e expansividade do solo (NBR 16853, 2020).

3 METODOLOGIA

A abordagem metodológica do estudo seguiu um passo a passo de 3 etapas, seguidas da análise dos resultados, como é possível observar no fluxograma da figura 4.

Figura 2 - Fluxograma da metodologia da pesquisa



Fonte: Própria da autora (2022)

3.1 Área de estudo

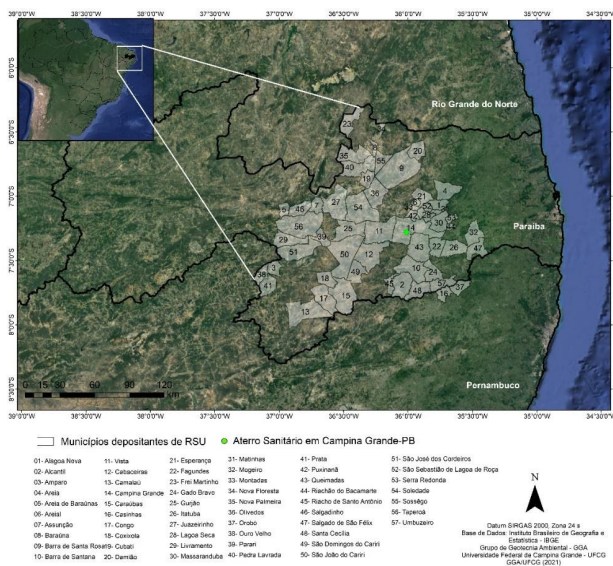
O aterro sanitário de Campina Grande-PB ocupa uma área total de 64ha, onde 39,4 ha são destinados para a construção de células de RSU. Em operação desde julho de 2015, foi projetado para receber 350 toneladas de resíduos por dia, considerando uma vida útil de 25 anos, e hoje costuma receber 500 toneladas de resíduos por dia dos municípios de Campina Grande e outros da região (SILVA, 2018).

Figura 3 - Vista aérea do aterro de Campina Grande (Paraíba, Brasil)



Fonte: GGA / UFCG (2021)

Figura 4 - Municípios que direcionam RSU para o aterro de Campina Grande



Fonte: GGA / UFCG (2021)

3.2 Coleta de material

A bentonita para a amostragem do presente estudo foi coletada de uma jazida no município de Boa Vista - PB, onde há grande ocorrência de argilas bentoníticas. O *liner* do

aterro sanitário de Campina Grande já utiliza mistura de solo natural e bentonita, na proporção de 20% de solo bentonítico (SB).

Assim, foram coletadas amostras deformadas de ambos os materiais da mistura, sendo o solo natural extraído do próprio aterro. A coleta foi feita pelo Grupo de Geotecnia Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande (CGA / UFCG) e enviado para a realização de ensaios de caracterização geotécnica.

3.3 Caracterização geotécnica

O presente estudo visou analisar a influência da variação do teor de bentonita na compressibilidade e características do solo utilizado na camada de base do aterro. A proporção da mistura já utilizada na operação do aterro é de 20% de bentonita e as proporções analisadas variam em torno desse percentual, sendo realizado o estudo com as misturas de 5%, 15% e 25% de solo bentonítico, a fim de perceber o que ocorre com as variações próximas ao valor utilizado na prática, utilizando três percentuais por questões simplificadoras..

As amostras dos solos foram coletadas e armazenadas no Laboratório de Geotecnia Ambiental (UFCG) para sua posterior caracterização geotécnica, que seguiu-se realizando os métodos descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Ensaios de caracterização geotécnica realizados e suas metodologias

Ensaio	Metodologia
Preparação das amostras	NBR 6457 (2016)
Umidade higroscópica	NBR 6457 (2016)
Massa específica dos grãos	NBR 6508 (2016)
Granulometria	NBR 7181 (2016)
Compactação	NBR 7182 (2016)
Limite de Liquidez	NBR 6459 (2016)
Limite de Plasticidade	NBR 7180 (2016)

Fonte: Própria da autora (2022).

3.4 Ensaio de adensamento unilateral

O ensaio de compressão edométrica foi realizado com amostras deformadas, compactada na umidade ótima e massa específica seca máxima sob a energia de proctor normal no Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação do Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará (UFC), em Fortaleza - CE. A Figura 5 mostra as prensas utilizadas para a realização do ensaio.

Figura 5 - Prensas de adensamento



Fonte: Própria da autora (2022)

Primeiro foram separadas porções dos materiais e feitas as proporções a serem ensaiadas (5%, 15% e 25%, passadas 24h da preparação das misturas em sua umidade ótima, foi realizada a montagem do corpo de prova (CP) conforme o descrito pela norma NBR 16853 (2020), de acordo com a sequência: base rígida, pedra porosa inferior, papel-filtro, corpo de prova contido no anel, papel-filtro e pedra porosa superior, como é possível ver na Figura 6.

Figura 6 - Célula experimental



Fonte: Própria da autora (2022)

Com as aparas da talhagem do corpo-de-prova foram coletadas amostras e inseridas na estufa para o cálculo do teor de umidade inicial.

Figura 7 - Célula no sistema de aplicação de carga



Fonte: Própria da autora (2022)

Depois da montagem da célula de adensamento, foi aplicada uma carga de 7 kPa na prensa para que ocorresse a estabilização da amostra. A seguir a amostra foi totalmente inundada, onde a medida do deflectômetro da prensa foi sendo verificada e anotada nos

tempos de 1/8min; 1/4min; 1/2min; 1min; 2min; 4min; 8min; 15min; 30min; 1h; 2h; 4h; 8h e 24h, ou até ocorrer a sua estabilização.

As demais cargas utilizadas no ensaio foram baseadas no estudo de Araújo Neto (2016), que analisou os recalques do aterro do solo em questão, que são 40, 80, 160, 320 e 640 kPa. Como as cargas não estão dentro dos padrões da prensa, foi realizado um cálculo de conversão para obter a massa a adicionar para aplicar as cargas correspondentes.

A cada carga foi realizada a medição nos tempos anteriormente mencionados, até a estabilização da amostra. Após a carga de 640 kPa, foi feito o descarregamento gradual do sistema e anotada a medida do deflectômetro 10 minutos após a retirada de cada elemento de carga.

Após verificada a estabilidade da altura do corpo de prova, o anel foi retirado do sistema, feita a extração do CP e realizada a pesagem e secagem em estufa a 100°C.

Figura 8 - Corpo de prova após secagem

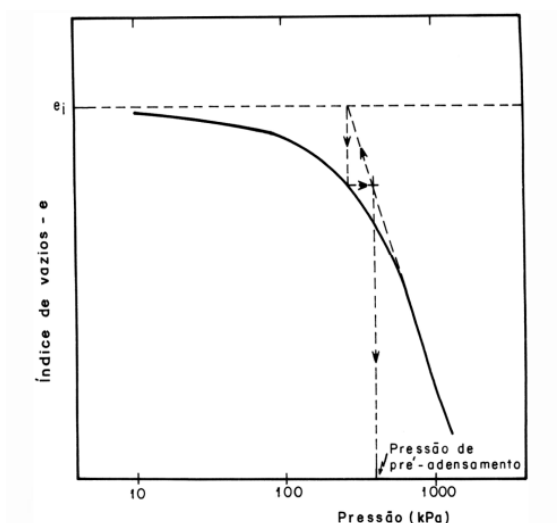


Fonte: Própria da autora (2022)

3.4.1 Pressões de Pré-adensamento

A determinação da pressão de pré-adensamento é realizada pelo Processo de Pacheco Silva, segundo a NBR 16853 (2020). O processo é bem exemplificado na figura 9.

Figura 9 - Processo de Pacheco Silva para a determinação da pressão de pré-adensamento



Fonte: NBR 16853:2020

Como as amostras foram deformadas, os estados de tensão do solo não foram conservados e as pressões de pré-adensamento obtidas não são consideradas na análise.

3.4.2 Índices de compressão (C_c)

Por meio das curvas de índice de vazios em função da tensão e aplicando o método descrito na NBR 16853 (2020) que corresponde à considerar o trecho virgem da curva e aplicar a Equação 1:

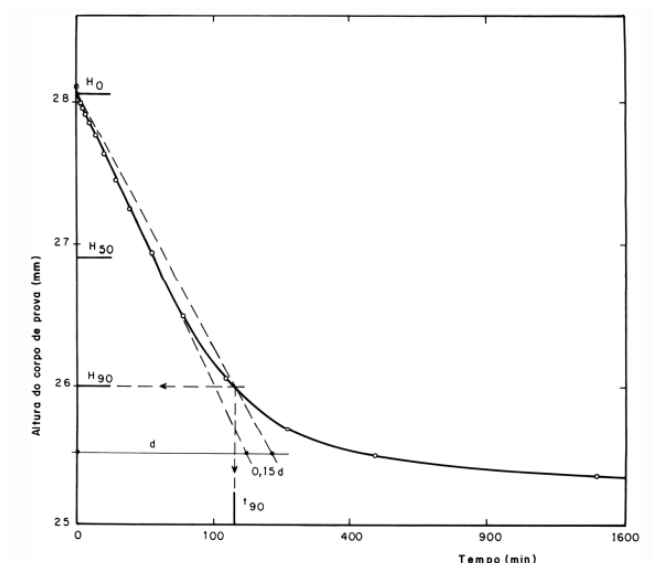
$$C_c = \frac{e_1 - e_2}{\log \sigma_2 - \log \sigma_1} \quad (1)$$

Na equação anterior, os índices de vazios e as tensões correspondem a dois pontos quaisquer do trecho virgem.

3.4.3 Curvas de adensamento

Os coeficientes de adensamento foram determinados pelo método de Taylor, como preconiza a NBR 16853:2020, segundo a Figura 10.

Figura 10 - Processo de Taylor para determinação do coeficiente de adensamento



Fonte: NBR 16853:2020

A obtenção do coeficiente de adensamento segundo o método de Taylor é definida pelas equações 2 e 3:

$$H_{50} = H_0 - \frac{5}{9} (H_0 - H_{90}) \quad (2)$$

$$C_v = 0,848 \times \frac{(0,5 \times H_{50})^2}{t_{90}} \quad (3)$$

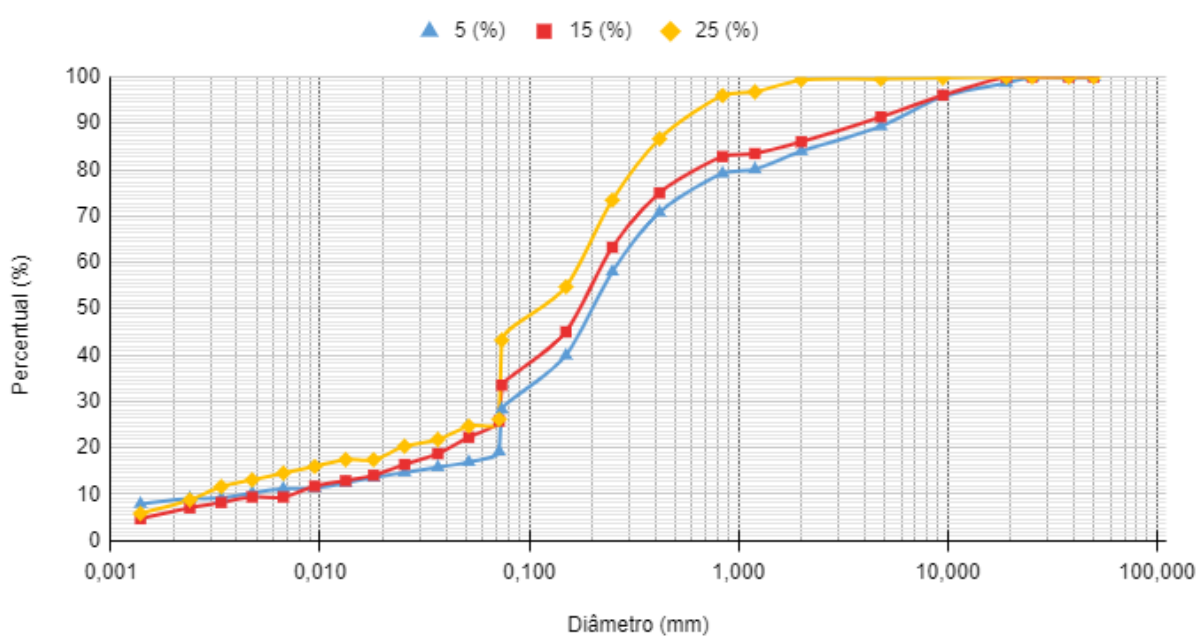
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterização geotécnica

4.1.1 Granulometria

Os resultados obtidos a partir da determinação da composição granulométrica das misturas analisadas estão dispostos nas Figura 11.

Figura 11 – Curvas granulométricas das misturas



Fonte: Própria da autora (2022)

Com o resultado obtido observa-se que houve um aumento na porcentagem de partículas finas, conforme se pode analisar na Tabela 2.

Tabela 2 - Granulometria das misturas

Teor de bentonita	5%	15%	25%
Pedregulho	10,64 %	8,62 %	0,41 %
Areia grossa	10,19 %	8,56 %	3,60 %
Areia média	21,17 %	19,57 %	22,60 %

Areia fina	41,06 %	40,998 %	48,80 %
Silte	16,91 %	22,26 %	11,60 %
Argila	10,28 %	9,37 %	13,10 %

Fonte: própria da autora (2022).

Assim, com o aumento do teor de bentonita, houve o aumento nas porcentagens de finos e a diminuição nos percentuais de pedregulho e areia. O mesmo comportamento se observa no estudo de Morandini e Schneider (2017) e Costa (2019). De acordo com Morandini e Schneider (2017), o aumento da fração de argila com a adição de bentonita já era esperado e representa alterações em propriedades mecânicas e hidráulicas do solo.

No que se refere ao processo de adensamento dos solos, é possível inferir que o aumento do percentual de argila influi diretamente na sua ocorrência, visto que em solos com maior porcentagem de finos a drenagem é lenta e a dissipação de pressões neutras ocorre ao longo do tempo. Assim, esse é também um indicativo do aumento da compressibilidade com a adição de bentonita nas misturas.

4.1.2 Limites de consistência

4.1.2.1 Limite de Liquidez (LL)

A Tabela 3 contém os resultados do ensaio de Casagrande para os valores de LL das misturas.

Tabela 3 - Resultados do ensaio de Casagrande

Teor de bentonita	5%	15%	25%
LL	NP	24,3	31,2

Fonte: própria da autora (2021).

O valor de LL aumentou significativamente com o aumento no teor de bentonita. De forma semelhante aos resultados encontrados por Kumar e Yong (2002), Khalid et al. (2019) e Morandini e Schneider (2017), houve um aumento linear do LL com o aumento de bentonita

na mistura. Segundo Pinto (2006), Terzaghi apresentou uma correlação que resultou da observação de que quanto maior o valor de LL, maior o índice de compressão do solo. Considerando essa correlação e o fato de o aumento de bentonita ocasionar o crescimento dos valores de LL, é possível pressupor que a compressibilidade das misturas também seja crescente com a adição de bentonita.

4.1.2.2 Limite de Plasticidade (LP) e Índice de Plasticidade (IP)

Silva (2016) afirma que o LP e IP são parâmetros de grande importância para *liners* de aterros sanitários porque o excesso de plasticidade acarreta o surgimento de trincas durante os ciclos de umedecimento-secagem. Com essas fissuras, ocorre o aumento da condutividade hidráulica e o comprometimento da impermeabilização da camada.

Os valores obtidos no ensaio de plasticidade para as misturas podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de LP e IP das amostras

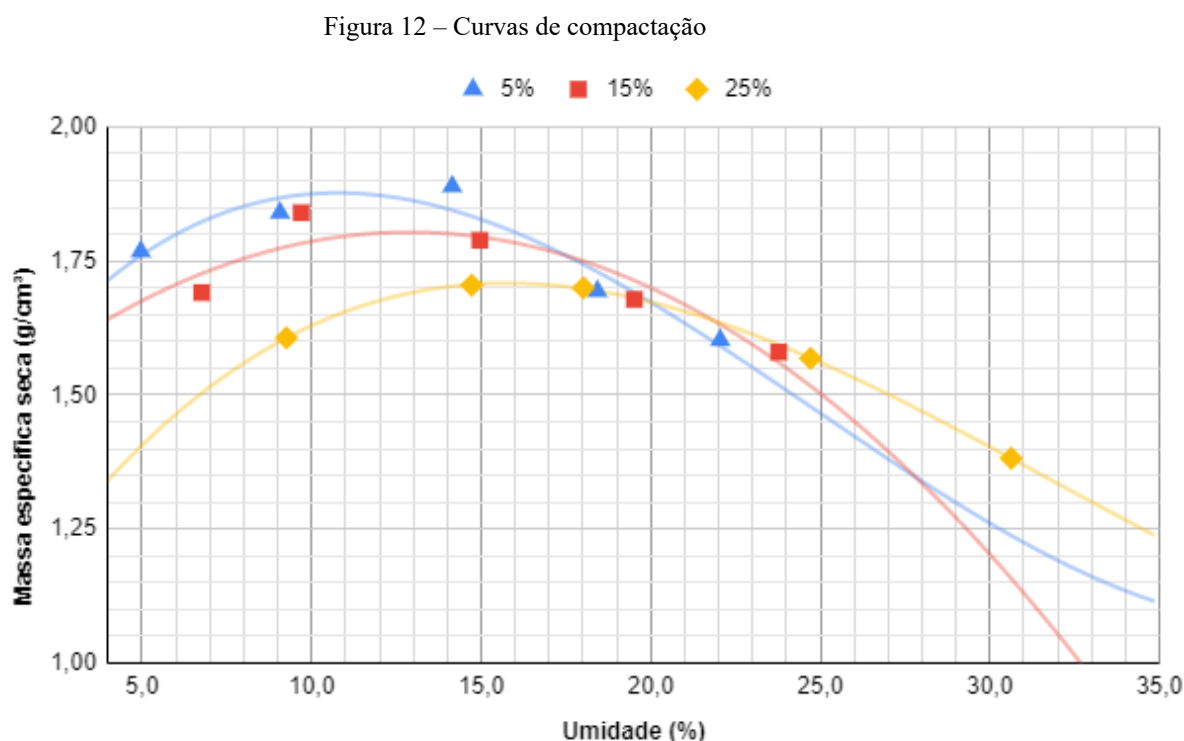
Teor de bentonita	5%	15%	25%
Limite de Plasticidade	NP	19,3	20,2
Índice de Plasticidade	NP	5,0	11,0

Fonte: própria da autora (2021).

A bentonita é um solo de alta plasticidade e os resultados das misturas obtiveram um aumento já esperado do IP e LP. De acordo com a classificação SUCS, as misturas de 5 e 15% são areia-siltosa (SM), enquanto a mistura de 25% é areia argilosa (SC). Morandini e Schneider (2017) observaram em seu estudo que com maiores adições de bentonita, o solo apresentou maior plasticidade e também houve um aumento da compressibilidade. No estudo de Cunha (2012) identificou-se que o índice de plasticidade também possui uma relação linear com a compressibilidade do solo e que o limite de plasticidade já não influi de forma tão definitiva nos valores do índice de compressão.

4.1.3 Compactação

O ensaio de compactação foi realizado para os três teores: 5, 15 e 25% e as curvas de compactação para cada teor podem ser analisadas na Figura 12.



Fonte: Própria da autora (2022)

Com o aumento do teor de bentonita na mistura houve a diminuição da massa específica aparente seca do material e o aumento da umidade ótima. O aumento da umidade é decorrente da capacidade da bentonita de absorver água, sendo razoável um aumento na umidade com o aumento do teor de bentonita. Segundo Sobti e Singh (2017), tal padrão ocorre por conta da formação de um gel ao redor das partículas do solo, que ocasiona um aumento no tamanho efetivo, aumentando assim o percentual de vazios e reduzindo a massa específica aparente seca.

Esse comportamento também foi observado nos estudos de Khalid et al. (2019), Sobti e Singh (2017), Costa (2019) e Kumar e Yong (2002). Como bem observado por Araújo Neto (2016), o aumento do percentual de vazios favorece a capacidade de armazenamento de líquidos, o que, caso não haja uma drenagem adequada, pode retardar o processo de adensamento.

4.2 Ensaio de Adensamento Unidimensional

Conforme descrito na metodologia do ensaio de adensamento, foram calculados primeiramente os teores de umidade iniciais para as três misturas, e após o ensaio, foi calculado o teor de umidade dos CPs. A Tabela 5 contém os valores de umidade correspondentes.

Tabela 5 - Determinação das umidades iniciais e finais das amostras

DETERMINAÇÃO DA UMIDADE						
	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
Teor de Bentonita	5%		15%		25%	
Água (g)	0,53	11,23	0,48	12,79	0,76	14,58
Solo seco (g)	6,02	69,25	4,49	71,07	4,59	68,57
Umidade (%)	8,80%	16,22%	10,69%	18,00%	16,56%	21,26%

Fonte: própria da autora (2022).

Além da umidade, também foram calculados os parâmetros iniciais do ensaio, que podem ser observados nas tabelas a seguir.

Tabela 6 - Parâmetros iniciais

PARÂMETROS INICIAIS			
	5%	15%	25%
Teor de bentonita			
Massas específica aparente seca (g/cm ³)	1,88	1,85	1,77
Umidade (%)	8,80%	10,69%	16,56%
Índice de vazios inicial	0,438	0,448	0,384
Massa específica dos grãos (Gs)	2,70	2,68	2,45

Fonte: própria da autora (2022).

4.2.1 Deslocamentos verticais

Durante as primeiras 24h de duração do ensaio foi monitorada a expansão de cada célula experimental e obtidos os valores presentes na Tabela 7.

Tabela 7 - Variação das alturas para a inundação

VARIAÇÃO DAS ALTURAS DOS CPS			
	Inundação		
Teor de bentonita	5%	15%	25%
Deslocamento (mm)	0,05	0,25	0,29
Deslocamento (%)	2,5	12,5	14,5

Fonte: própria da autora (2022).

Conforme é possível observar, as amostras apresentaram expansões de 2,5% para a amostra de 5%, 12,5% para a amostra de 15% e 14,5% para a amostra de 25%, apresentando assim um padrão de crescimento proporcional ao aumento do teor de bentonita das misturas, comportamento este já esperado devido às características de expansividade da bentonita.

Ao analisar a variação da altura das amostras submetidas ao primeiro estágio de carregamento, equivalente a 40 kPa, foi possível verificar que houve uma variação de 0,46 mm para a mistura de 5%, de 0,47mm para a mistura de 15% e de 0,33mm para a mistura de 25%. Essas variações de altura correspondem a 22,44% para a mistura de 5%, 20,89% para a mistura de 15% e 14,41% para a mistura de 25%, sendo a mistura de 15% a que apresentou maior deformação e a de 25% a que possui a menor variação, como é possível observar na Tabela 8.

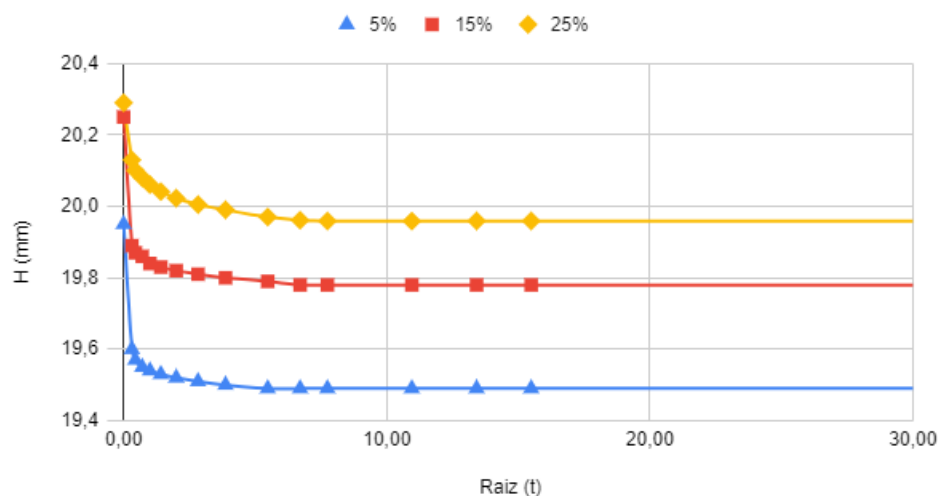
Tabela 8 - Variação das alturas para o carregamento de 40 kPa

VARIAÇÃO DAS ALTURAS DOS CPS			
	Carregamento de 40 kPa		
Teor de bentonita	5%	15%	25%
Deslocamento (mm)	-0,46	-0,47	-0,33
Deslocamento (%)	-22,44	-20,89	-14,41

Fonte: própria da autora (2022).

A Figura 13 mostra o gráfico comparativo das variações de alturas para esse estágio de carregamento.

Figura 13 – Comparativo da variação das alturas para o carregamento de 40 kPa



Fonte: Própria da autora (2022)

Para o carregamento de 80 kPa, a amostra de 5% passou a se estabilizar, tendo deslocamentos relativamente menores, enquanto as misturas de 15% e 25% apresentaram valores mais significativos e bem próximos entre si. Para esse estágio de carregamento, houve uma variação de 0,24 mm para a mistura de 5%, de 0,34 mm para a mistura de 15% e 0,33 mm para a mistura de 25%, o que corresponde a 15,58% de variação para a mistura de 5%, 22,16% de variação para a mistura de 15% e 20% de variação para a mistura de 25%, como é possível observar na Tabela 9.

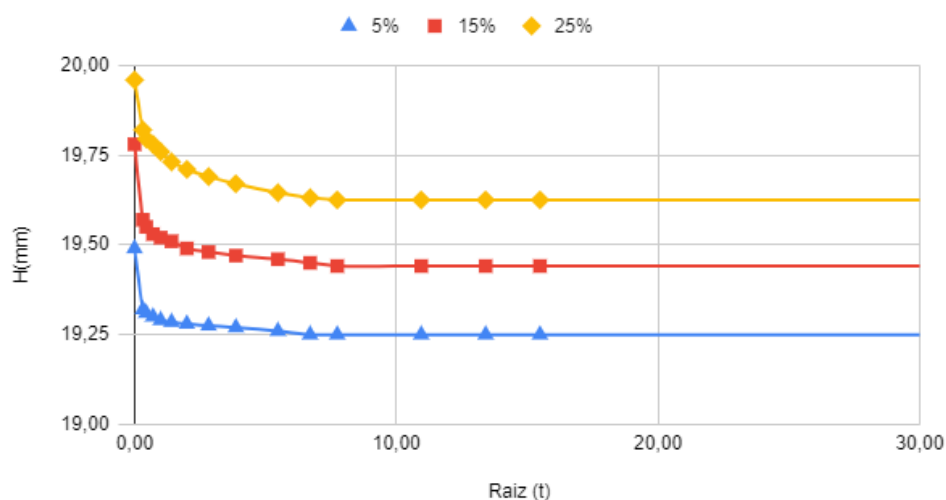
Tabela 9 - Variação das alturas para o carregamento de 80 kPa

VARIÇÃO DAS ALTURAS DOS CPS			
Carregamento de 80 kPa			
Teor de bentonita	5%	15%	25%
Deslocamento (mm)	-0,24	-0,339	-0,334
Deslocamento (%)	-15,58	-22,16	-20,00

Fonte: própria da autora (2022).

A Figura 14 mostra o gráfico comparativo das variações de alturas para esse estágio de carregamento.

Figura 14 – Comparativo da variação das alturas para o carregamento de 80 kPa



Fonte: Própria da autora (2022)

Com o incremento da tensão de 160 kPa, o comportamento da mistura de 5% também se estabilizou rapidamente, variando apenas 0,20 mm; a de 15% sofreu um deslocamento de 0,37 mm e a de 25% teve uma variação de 0,39 mm, sendo esta a que mais sofreu deformações para este incremento de carga. Em termos percentuais, houve uma variação de 1,36% para a amostra de 5%, de 22,34% para a amostra de 15% e de 23,17% para a amostra de 25%, como é possível observar na Tabela 10.

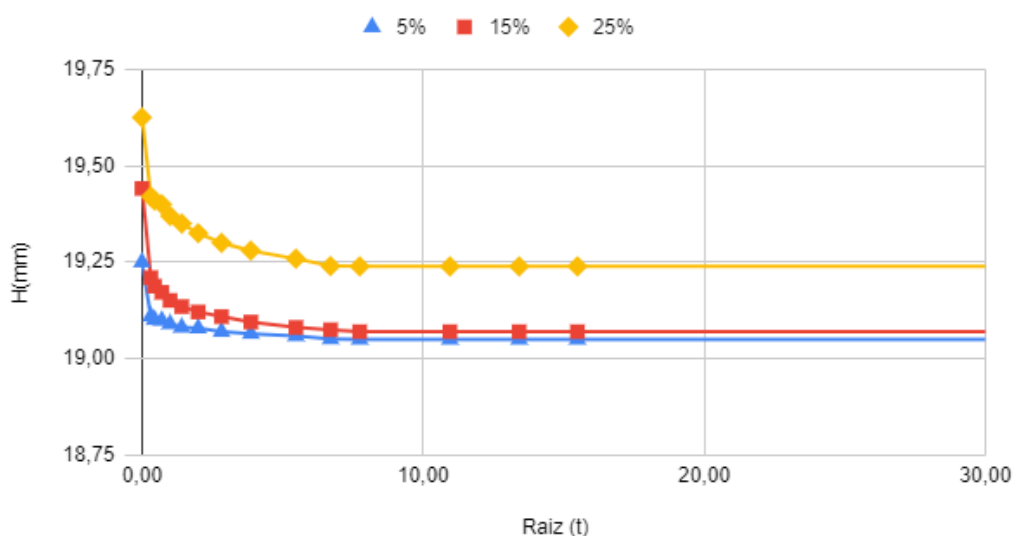
Tabela 10 - Variação das alturas para o carregamento de 160 kPa

VARIÇÃO DAS ALTURAS DOS CPS			
Carregamento de 160 kPa			
Teor de bentonita	5%	15%	25%
Deslocamento (mm)	-0,2	-0,371	-0,386
Deslocamento (%)	-11,36	-22,34	-23,17

Fonte: própria da autora (2022).

A Figura 15 mostra o gráfico comparativo das variações de alturas para esse estágio de carregamento.

Figura 15 – Comparativo da variação das alturas para o carregamento de 160 kPa



Fonte: Própria da autora (2022)

Analisando os deslocamentos verticais das misturas com a aplicação do carregamento de 320 kPa, foi possível observar uma variação de 0,20 mm para a mistura de 5%; de 0,44 mm para a mistura de 15% e 0,42 mm para a mistura de 25%. Em termos percentuais as variações foram de 11,11% para a amostra de 5%, de 27,07% para a amostra de 15% e de 25,96% para a amostra de 25%.

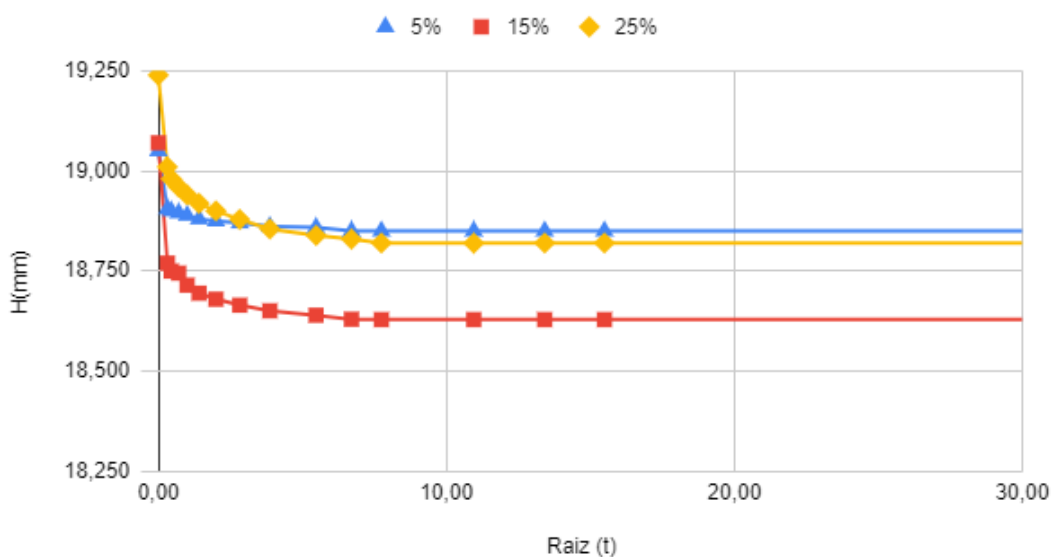
Tabela 11 - Variação das alturas para o carregamento de 320 kPa

VARIAÇÃO DAS ALTURAS DOS CPS			
Carregamento de 320 kPa			
Teor de bentonita	5%	15%	25%
Deslocamento (mm)	-0,2	-0,441	-0,419
Deslocamento (%)	-11,11	-27,07	-25,96

Fonte: própria da autora (2022).

A Figura 16 mostra o gráfico comparativo das variações de alturas para esse estágio de carregamento.

Figura 16 – Comparativo da variação das alturas para o carregamento de 320 kPa



Fonte: Própria da autora (2022)

O quinto incremento de carga, de 640 kPa ocasionou as variações de 0,221 mm para a mistura de 5%, que correspondem a 12,28% da altura; de 0,48 mm para a mistura de 15%, que equivale a 30,72% da altura, e 0,46 mm para a mistura de 25%, que correspondem a 28,78% da altura. A Tabela 12 contém os dados referentes a esse estágio.

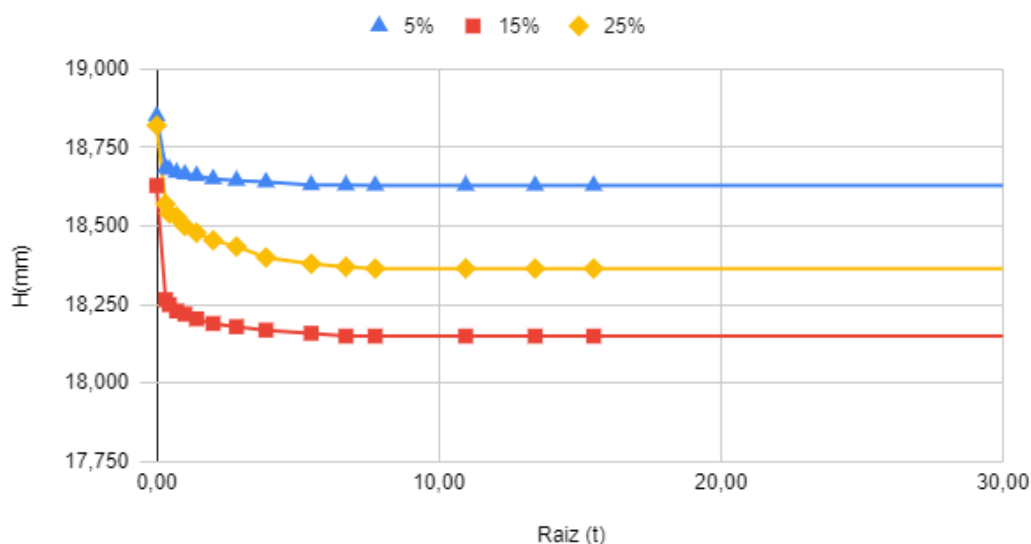
Tabela 12 - Variação das alturas para o carregamento de 640 kPa

VARIAÇÃO DAS ALTURAS DOS CPS			
Carregamento de 640 kPa			
Teor de bentonita	5%	15%	25%
Deslocamento (mm)	-0,221	-0,479	-0,455
Deslocamento (%)	-12,28	-30,72	-28,78

Fonte: própria da autora (2022).

A Figura 17 mostra o gráfico comparativo das variações de alturas para esse estágio de carregamento.

Figura 17 – Comparativo da variação das alturas para o carregamento de 640 kPa



Fonte: Própria da autora (2022)

Ao observar o comportamento das três misturas, não há um padrão linear, visto que a amostra de 15% foi a que apresentou maiores deslocamentos verticais. Na Tabela 13 seguem os valores de deslocamentos totais das amostras.

Tabela 13 - Deslocamentos verticais totais das amostras

DESLOCAMENTOS TOTAIS			
Teor de bentonita	5%	15%	25%
Deslocamentos verticais (mm)	1,321	2,100	1,925
Deslocamentos verticais (%)	6,61	10,5	9,63

Fonte: própria da autora (2022).

Assim, é possível inferir que adições de bentonita afetam os recalques do solo, porém não de forma linear, o que permite deduzir que existem teores mais apropriados que outros para minimizar os recalques.

De forma semelhante ao obtido com as misturas, Sobti e Singh (2017) observaram que o efeito da bentonita nas características geotécnicas foi maior quando o teor de bentonita ultrapassou 10%. No estudo de Montanez (2001), o limite de liquidez, que é diretamente proporcional à compressão, tem aumentos altamente significativos para teores de bentonita entre 5% e 15%. Bicalho et al. (2002) observaram ainda que, para teores um pouco superiores

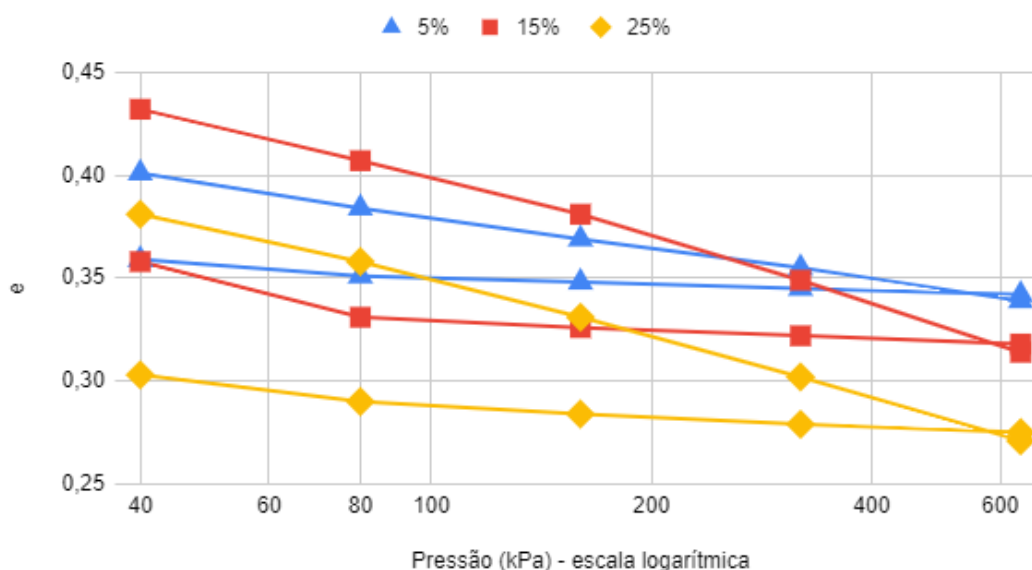
a 20% de bentonita a matriz argilosa domina o comportamento da mistura sem que haja contato entre os grãos de areia, e isso contribui para uma normalização do índice de plasticidade das misturas, que também influi diretamente na compressibilidade da amostra.

4.2.2 Índice de vazios em função do logaritmo da pressão aplicada

Na Figura 22 é possível observar que de forma semelhante ao que ocorre no ensaio de compactação, com a adição da bentonita, ocorre o aumento da umidade e a diminuição da massa específica aparente seca das misturas. No gráfico estão dispostas as curvas de índices de vazios das misturas para os estágios de carregamento e descarregamento. A mistura que teve menor deformação no processo foi a com o menor índice de finos, como já se era esperado devido ao comportamento mais arenoso do solo natural.

Outro fator interessante a que se observou é que as amostras apresentaram comportamentos semelhantes ao ocorrido no tópico anterior para os índices de vazios iniciais, em que houve um aumento da amostra de 5% para a de 15% e uma redução entre as amostras de 15% e a de 25%.

Figura 18 – Comparativo das curvas índice de vazios em função do logaritmo das pressões aplicadas



Fonte: Própria da autora (2022)

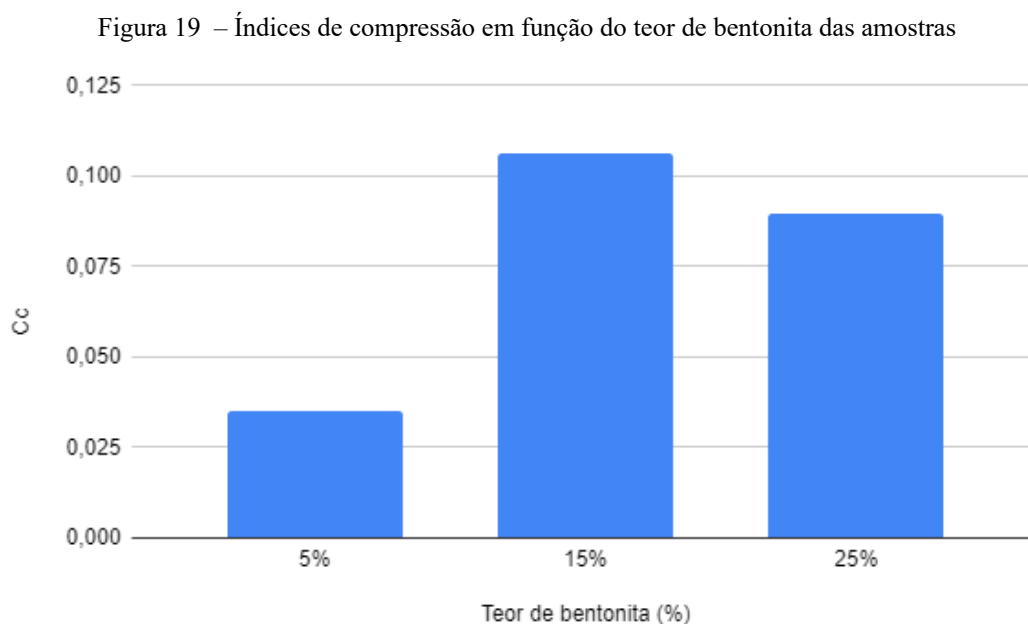
4.2.2.1 Índices de compressão (C_c)

Os índices de compressão das misturas são dados na Tabela 14. É possível observar um comportamento em que a amostra de 15% se mostra mais compressível que as demais, sendo a de 5% a menos compressível. O que torna possível confirmar que o aumento do teor de bentonita tende a aumentar a compressibilidade do solo natural, porém não de forma linear, como já descrito nos tópicos anteriores.

Tabela 14 - Índices de compressão das amostras

Teor de bentonita	5%	15%	25%
C_c	0,03488	0,1063	0,0897

Fonte: própria da autora (2021).

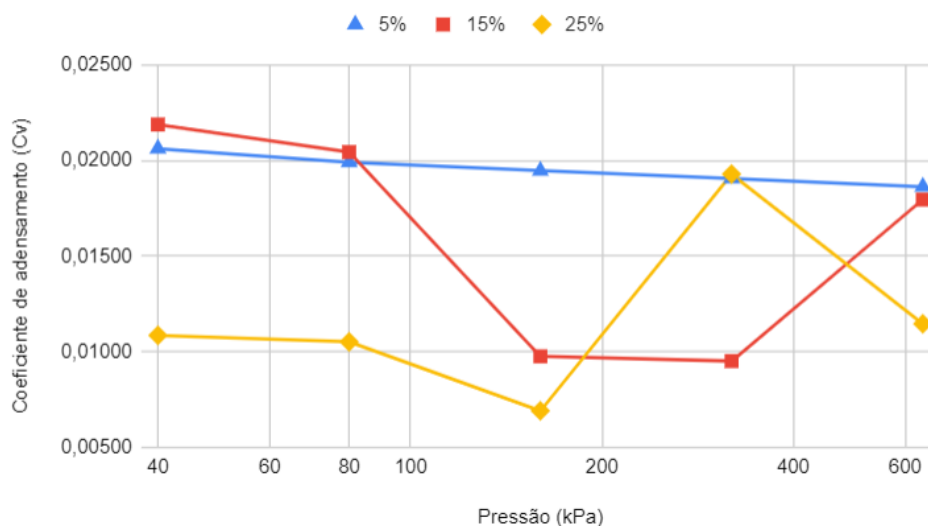


Fonte: Própria da autora (2022)

4.2.3 Curvas de adensamento

A definição gráfica dos valores de t_{90} e H_{90} estão disponíveis no Apêndice D, a Figura 20 contém o comparativo gráfico do coeficiente de adensamento em função da pressão para as misturas e na Tabela 9 está um resumo com os valores de coeficiente de adensamento encontrados.

Figura 20 – Coeficiente de adensamento em função da pressão aplicada



Fonte: Própria da autora (2022)

Tabela 15 - Coeficientes de adensamento (Cv) das amostras

COEFICIENTE DE ADENSAMENTO - Cv (cm ² /s)			
Pressão (kPa)	5%	15%	25%
40	0,02062	0,02188	0,01086
80	0,01991	0,02044	0,01052
160	0,01946	0,00976	0,00691
320	0,01906	0,00951	0,01929
640	0,01863	0,01795	0,01146
Médio	0,01953	0,01591	0,01181

Fonte: própria da autora (2022).

Observa-se que, de forma geral, o incremento de bentonita reduziu os valores de Cv, com os valores médios variando de 0,01953 a 0,01181 expressando um decréscimo linearmente proporcional ao aumento do teor de bentonita.

A mistura de 5% apresentou valores mais próximos entre si durante todos os incrementos de carga. Para a mistura de 15%, a primeira variação de Cv foi uma redução relativamente pequena, mas apresentou um comportamento irregular nos carregamentos seguintes. A mistura de 25% também apresentou um comportamento irregular, com o maior valor sendo obtido após o carregamento de 320 kPa.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo objetivou analisar a influência do incremento de bentonita na compressibilidade de solos utilizados em *liners* de aterros sanitários por meio de ensaios de amostras com diferentes teores de bentonita. Pela granulometria das misturas, o incremento de solo bentonítico elevou o percentual de finos das misturas de forma linear, sendo a mistura de 25% a com maior porcentagem de finos e a única caracterizada como argila.

Quanto aos limites de consistência, o LL seguiu o que foi preconizado no estudo de Kumar e Yong (2002) e aumentou de forma linear com o aumento da bentonita nas misturas. Já o IP e LP também se elevaram com o aumento do percentual de bentonita.

No ensaio edométrico, os valores de umidade inicial e massa específica aparente seca seguiram o mesmo padrão observado pelo ensaio de compactação, em que, com o aumento de bentonita, a massa específica seca diminui e a umidade aumenta.

A mistura que teve maiores recalques foi a de 15%, enquanto a que apresentou os menores valores foi de 5%. Também observou-se que, da amostra de 5% para a de 15% houve um aumento no índice de vazios inicial, que teve seu valor consideravelmente reduzido na amostra de 25%. A maior variação no índice de vazios foi da mistura de 15%.

Já o coeficiente de adensamento variou de forma inversamente proporcional ao aumento de bentonita, sendo a mistura de 25% a que apresentou o menor coeficiente médio.

Assim, a conclusão que pode ser obtida através dos dados apresentados é que a bentonita é uma argila que não apresenta mudanças lineares com o aumento do seu teor, e apesar de não inferir recalques de grandes proporções, a mistura de 15% foi a que se mostrou mais instável, enquanto a de 25% apresentou valores mais satisfatórios para a utilização em *liners* de aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6.459: Solo – Determinação do limite de liquidez.** Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitarios de Residuos Solidos Urbanos.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação.** Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16853: Solo - Ensaio de Adensamento Unidimensional.** Rio de Janeiro: ABNT, 2020. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181: Análise granulométrica.** Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 12 p.

AMORIM, L. V., GOMES, C. M., LIRA, H. de L.. **Bentonites from Boa Vista, Brazil: physical, mineralogical and rheological properties.** Materials Research, v. 7, n. 4, p. 583-593, 2004.

ARAÚJO NETO, C. L. de. **Análise do comportamento dos resíduos sólidos urbanos e desenvolvimento de modelos estatísticos para previsão das deformações de aterros sanitários.** 2016. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

BICALHO, K. V., CAVASSANI, M. R., REINE CASTELLO, R., UBERESCILAS, F.P. **Características de Compressibilidade de Argilas Arenosas Moles,** 2002. 8 Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa, v. 1, 303-312.

BOSCOV, M. E. G. **Geotecnia ambiental.** Oficina de Textos, 2008.

BRASIL. **Sumário Mineral 2015.** Departamento Nacional de Produção Mineral. Ministério de Minas e Energia. 135 p. Brasília, 2016.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Sua Aplicações.** 6. ed. [s.l.] LTC, 1988.

COSTA, W. W. M. L. **Estudo da permeabilidade em solos utilizados em camada de base de aterro sanitário no semiárido paraibano**. 2019. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

CUNHA, C. L. dos S. **Estudo das características de compressibilidade unidimensional e plasticidade de misturas de argila e areia**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

DENARDIN, G. P. **Estudo dos recalques do aterro sanitário da central de resíduos do Recreio - Minas do Leão/RS**. 2013. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE DE MINAS GERAIS. **Orientações técnicas para a operação de aterros sanitários**. Belo Horizonte: FEAM, 2006.

GRIM, R. E., GÜVEN, N. **Bentonites: Geology, Mineralogy, Properties and Uses**. Amsterdã, Holanda. Editora Elsevier Scientific Publishing Company, 1978.

KHALID, U.; REHMAN, Z. U.; LIAO, C.; FAROOQ, K.; MUJTABA, H. **Compressibility of Compacted Clays Mixed with a Wide Range of Bentonite for Engineered Barriers**. Arabian Journal For Science And Engineering, [S.L.], v. 44, n. 5, p. 5027-5042, 2 jan. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13369-018-03693-7>.

KUMAR, S.; YONG, W. **Effect of Bentonite on Compacted Clay Landfill Barriers**. Soil And Sediment Contamination: An International Journal. Carbondale, p. 71-89. 15 jan. 2002.

LEONARD, M. L.; FLOOM, K. J.; and BROWN, S. **Estimating methods and use os landfill settlement**. Pro., GeoDenver 2000 on Environmental Geotechnics, Denver, Geotechnical Special Publication 105, ASCE, 1-15. 2000.

LIMA, J. D. de; CARVALHO JR., F. H. de; JUCÁ, J. F. T.; LIMA, M. T. C. D de. **A utilização de um sistema de barreiras ativas em um aterro sanitário no município de Campina Grande – Paraíba – Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26., 2011, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ABES, 2011.

LOCASTRO, J. K.; ANGELIS, B. L. D. **Barreiras de impermeabilização: configurações aplicadas em aterros sanitários**. Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET), v. 20, n. 1, p. 200-210, 2016.

MONTANEZ, J. E. C. **Suction and volume changes of compacted sand-bentonite mixtures**. 2001. 380 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engineering, Imperial College Of Science, Technology And Medicine, London, 2001.

MORANDINI, T. L. C.; SCHNEIDER, V. C. **Compressibilidade em misturas de solo laterítico, bentonita e fibras para uso em barreiras de fluxo**. *Holos Environment*, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 66, 16 jul. 2017. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v17i1.11887>.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3a ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2006. v. 1. 356p.

QASIM, S. R.; CHIANG, W. **Sanitary landfill leachate: generation, control and treatment**. Routledge, 2017.

SHACKELFORD, C. D. Contaminant Transport. **In: DANIEL, D. E. Geotechnical Practice for waste Disposal**. London: Chapman & Hall, p. 33-65, 1993.

SILVA, D. L. M. **Adsorção de metais tóxicos em liners de solo compactado em aterros sanitários**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2018.

SOBTI, J.; SINGH, S. K. **Hydraulic conductivity and compressibility characteristics of bentonite enriched soils as a barrier material for landfills**. *Innovative Infrastructure Solutions*, [S.L.], v. 2, n. 1, p. 2-12, 25 abr. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s41062-017-0060-0>.

SOWERS, G. F. **Settlement of waste disposal fills**. In: eighth international conference on soil mechanics and foundation engineering. Moscow, 1973.

TAPAHUASCO, W. F. C. **Análise do comportamento de maciços sanitários e proposta de um novo modelo de previsão de recalques considerando a parcela de biodegradação**. Tese de Doutorado - Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil, UnB. 2009.

**APÊNDICE A – TABELA DE DADOS DO AMOSTRADOR E AMOSTRAS DO
ENSAIO EDOMÉTRICO**

DADOS DO AMOSTRADOR			
Altura (cm)	Diâmetro (cm)	Área (cm ²)	Volume (cm ³)
2	5	19,63	39,27
DADOS DA AMOSTRA			
Teor de bentonita	5%	15%	25%
Peso do anel + solo (g)	187,38	187,09	189,16
Peso do anel (g)	107,13	106,63	107,13
Massa úmida (g)	80,25	80,46	82,03
Massa seca (g)	73,76	72,69	69,52

**APÊNDICE B – TABELAS COM O CARREGAMENTO DOS CORPOS DE PROVA
COM CARGAS DE 40, 80, 160, 320 E 640 KPA**

40 kPa - Inundação						
Mistura 5% - Carga de 40 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	9,610	0,000	19,950	0,000	0,4380
0,10	0,32	9,260	0,350	19,600	0,025	0,4128
0,20	0,45	9,230	0,030	19,570	0,002	0,4107
0,50	0,71	9,210	0,020	19,550	0,001	0,4092
1	1,00	9,200	0,010	19,540	0,001	0,4085
2	1,41	9,190	0,010	19,530	0,001	0,4078
4	2,00	9,180	0,010	19,520	0,001	0,4071
8	2,83	9,170	0,010	19,510	0,001	0,4064
15	3,87	9,160	0,010	19,500	0,001	0,4056
30	5,48	9,150	0,010	19,490	0,001	0,4049
45	6,71	9,150	0,000	19,490	0,000	0,4049
60	7,75	9,150	0,000	19,490	0,000	0,4049
120	10,95	9,150	0,000	19,490	0,000	0,4049
180	13,42	9,150	0,000	19,490	0,000	0,4049
240	15,49	9,150	0,000	19,490	0,000	0,4049
1440	37,95	9,150	0,000	19,490	0,000	0,4049
Mistura 15% - Carga de 40 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	10,000	0,000	20,250	0,000	0,4480
0,10	0,32	9,640	0,360	19,890	0,026	0,4219

0,20	0,45	9,620	0,020	19,870	0,001	0,4205
0,50	0,71	9,610	0,010	19,860	0,001	0,4198
1	1,00	9,590	0,020	19,840	0,001	0,4183
2	1,41	9,580	0,010	19,830	0,001	0,4176
4	2,00	9,570	0,010	19,820	0,001	0,4169
8	2,83	9,560	0,010	19,810	0,001	0,4161
15	3,87	9,550	0,010	19,800	0,001	0,4154
30	5,48	9,540	0,010	19,790	0,001	0,4147
45	6,71	9,530	0,010	19,780	0,001	0,4140
60	7,75	9,530	0,000	19,780	0,000	0,4140
120	10,95	9,530	0,000	19,780	0,000	0,4140
180	13,42	9,530	0,000	19,780	0,000	0,4140
240	15,49	9,530	0,000	19,780	0,000	0,4140
1440	37,95	9,530	0,000	19,780	0,000	0,4140
Mistura 25% - Carga de 40 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	9,870	0,000	20,290	0,000	0,3840
0,10	0,32	9,710	0,160	20,130	0,011	0,3729
0,20	0,45	9,680	0,030	20,100	0,002	0,3709
0,50	0,71	9,660	0,020	20,080	0,001	0,3695
1	1,00	9,641	0,019	20,061	0,001	0,3682
2	1,41	9,621	0,020	20,041	0,001	0,3668
4	2,00	9,603	0,018	20,023	0,001	0,3655
8	2,83	9,585	0,018	20,005	0,001	0,3643
15	3,87	9,570	0,015	19,990	0,001	0,3632

30	5,48	9,550	0,020	19,970	0,001	0,3619
45	6,71	9,541	0,009	19,961	0,001	0,3612
60	7,75	9,539	0,002	19,959	0,000	0,3611
120	10,95	9,539	0,000	19,959	0,000	0,3611
180	13,42	9,539	0,000	19,959	0,000	0,3611
240	15,49	9,539	0,000	19,959	0,000	0,3611
1440	37,95	9,539	0,000	19,959	0,000	0,3611
80 kPa - Inundação						
Mistura 5% - Carga de 80 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	9,150	0,000	19,490	0,000	0,4049
0,10	0,32	8,980	0,170	19,320	0,012	0,3927
0,20	0,45	8,970	0,010	19,310	0,001	0,3920
0,50	0,71	8,960	0,010	19,300	0,001	0,3913
1	1,00	8,950	0,010	19,290	0,001	0,3905
2	1,41	8,945	0,005	19,285	0,000	0,3902
4	2,00	8,940	0,005	19,280	0,000	0,3898
8	2,83	8,935	0,005	19,275	0,000	0,3895
15	3,87	8,930	0,005	19,270	0,000	0,3891
30	5,48	8,920	0,010	19,260	0,001	0,3884
45	6,71	8,910	0,010	19,250	0,001	0,3877
60	7,75	8,910	0,000	19,250	0,000	0,3877
120	10,95	8,910	0,000	19,250	0,000	0,3877
180	13,42	8,910	0,000	19,250	0,000	0,3877
240	15,49	8,910	0,000	19,250	0,000	0,3877

1440	37,95	8,910	0,000	19,250	0,000	0,3877
Mistura 15% - Carga de 80 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	9,530	0,000	19,780	0,000	0,4140
0,10	0,32	9,320	0,210	19,570	0,015	0,3988
0,20	0,45	9,300	0,020	19,550	0,001	0,3973
0,50	0,71	9,280	0,020	19,530	0,001	0,3959
1	1,00	9,270	0,010	19,520	0,001	0,3951
2	1,41	9,260	0,010	19,510	0,001	0,3944
4	2,00	9,240	0,020	19,490	0,001	0,3930
8	2,83	9,230	0,010	19,480	0,001	0,3923
15	3,87	9,220	0,010	19,470	0,001	0,3915
30	5,48	9,210	0,010	19,460	0,001	0,3908
45	6,71	9,200	0,010	19,450	0,001	0,3901
60	7,75	9,191	0,009	19,441	0,001	0,3894
120	10,95	9,191	0,000	19,441	0,000	0,3894
180	13,42	9,191	0,000	19,441	0,000	0,3894
240	15,49	9,191	0,000	19,441	0,000	0,3894
1440	37,95	9,191	0,000	19,441	0,000	0,3894
Mistura 25% - Carga de 80 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	9,539	0,000	19,959	0,000	0,3611
0,10	0,32	9,400	0,139	19,820	0,010	0,3515
0,20	0,45	9,375	0,025	19,795	0,002	0,3497
0,50	0,71	9,360	0,015	19,780	0,001	0,3487
1	1,00	9,339	0,021	19,759	0,001	0,3473

2	1,41	9,311	0,028	19,731	0,002	0,3453
4	2,00	9,290	0,021	19,710	0,001	0,3439
8	2,83	9,270	0,020	19,690	0,001	0,3425
15	3,87	9,250	0,020	19,670	0,001	0,3411
30	5,48	9,225	0,025	19,645	0,002	0,3394
45	6,71	9,211	0,014	19,631	0,001	0,3384
60	7,75	9,205	0,006	19,625	0,000	0,3380
120	10,95	9,205	0,000	19,625	0,000	0,3380
180	13,42	9,205	0,000	19,625	0,000	0,3380
240	15,49	9,205	0,000	19,625	0,000	0,3380
1440	37,95	9,205	0,000	19,625	0,000	0,3380
160 kPa - Inundação						
Mistura 5% - Carga de 160 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,910	0,000	19,250	0,000	0,3877
0,10	0,32	8,770	0,140	19,110	0,010	0,3776
0,20	0,45	8,761	0,009	19,101	0,001	0,3770
0,50	0,71	8,759	0,002	19,099	0,000	0,3768
1	1,00	8,750	0,009	19,090	0,001	0,3762
2	1,41	8,741	0,009	19,081	0,001	0,3755
4	2,00	8,739	0,002	19,079	0,000	0,3754
8	2,83	8,730	0,009	19,070	0,001	0,3747
15	3,87	8,725	0,005	19,065	0,000	0,3744
30	5,48	8,719	0,006	19,059	0,000	0,3739
45	6,71	8,711	0,008	19,051	0,001	0,3734
60	7,75	8,710	0,001	19,050	0,000	0,3733

120	10,95	8,710	0,000	19,050	0,000	0,3733
180	13,42	8,710	0,000	19,050	0,000	0,3733
240	15,49	8,710	0,000	19,050	0,000	0,3733
1440	37,95	8,710	0,000	19,050	0,000	0,3733
Mistura 15% - Carga de 160 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	9,191	0,000	19,441	0,000	0,3894
0,10	0,32	8,960	0,231	19,210	0,017	0,3727
0,20	0,45	8,938	0,022	19,188	0,002	0,3711
0,50	0,71	8,922	0,016	19,172	0,001	0,3700
1	1,00	8,901	0,021	19,151	0,002	0,3684
2	1,41	8,885	0,016	19,135	0,001	0,3673
4	2,00	8,871	0,014	19,121	0,001	0,3663
8	2,83	8,859	0,012	19,109	0,001	0,3654
15	3,87	8,845	0,014	19,095	0,001	0,3644
30	5,48	8,831	0,014	19,081	0,001	0,3634
45	6,71	8,825	0,006	19,075	0,000	0,3629
60	7,75	8,820	0,005	19,070	0,000	0,3626
120	10,95	8,820	0,000	19,070	0,000	0,3626
180	13,42	8,820	0,000	19,070	0,000	0,3626
240	15,49	8,820	0,000	19,070	0,000	0,3626
1440	37,95	8,820	0,000	19,070	0,000	0,3626
Mistura 25% - Carga de 160 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	9,205	0,000	19,625	0,000	0,3380
0,10	0,32	9,000	0,205	19,420	0,014	0,3238

0,20	0,45	8,990	0,010	19,410	0,001	0,3231
0,50	0,71	8,980	0,010	19,400	0,001	0,3224
1	1,00	8,950	0,030	19,370	0,002	0,3203
2	1,41	8,930	0,020	19,350	0,001	0,3190
4	2,00	8,905	0,025	19,325	0,002	0,3172
8	2,83	8,880	0,025	19,300	0,002	0,3155
15	3,87	8,860	0,020	19,280	0,001	0,3141
30	5,48	8,839	0,021	19,259	0,001	0,3127
45	6,71	8,820	0,019	19,240	0,001	0,3113
60	7,75	8,819	0,001	19,239	0,000	0,3113
120	10,95	8,819	0,000	19,239	0,000	0,3113
180	13,42	8,819	0,000	19,239	0,000	0,3113
240	15,49	8,819	0,000	19,239	0,000	0,3113
1440	37,95	8,819	0,000	19,239	0,000	0,3113
320 kPa - Inundação						
Mistura 5% - Carga de 320 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,710	0,000	19,050	0,000	0,3733
0,10	0,32	8,565	0,145	18,905	0,010	0,3629
0,20	0,45	8,560	0,005	18,900	0,000	0,3625
0,50	0,71	8,555	0,005	18,895	0,000	0,3621
1	1,00	8,549	0,006	18,889	0,000	0,3617
2	1,41	8,540	0,009	18,880	0,001	0,3611
4	2,00	8,535	0,005	18,875	0,000	0,3607
8	2,83	8,530	0,005	18,870	0,000	0,3603
15	3,87	8,521	0,009	18,861	0,001	0,3597

30	5,48	8,519	0,002	18,859	0,000	0,3596
45	6,71	8,510	0,009	18,850	0,001	0,3589
60	7,75	8,510	0,000	18,850	0,000	0,3589
120	10,95	8,510	0,000	18,850	0,000	0,3589
180	13,42	8,510	0,000	18,850	0,000	0,3589
240	15,49	8,510	0,000	18,850	0,000	0,3589
1440	37,95	8,510	0,000	18,850	0,000	0,3589
Mistura 15% - Carga de 320 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,820	0,000	19,070	0,000	0,3626
0,10	0,32	8,520	0,300	18,770	0,022	0,3408
0,20	0,45	8,500	0,020	18,750	0,001	0,3394
0,50	0,71	8,495	0,005	18,745	0,000	0,3390
1	1,00	8,465	0,030	18,715	0,002	0,3369
2	1,41	8,445	0,020	18,695	0,001	0,3354
4	2,00	8,430	0,015	18,680	0,001	0,3343
8	2,83	8,415	0,015	18,665	0,001	0,3332
15	3,87	8,401	0,014	18,651	0,001	0,3322
30	5,48	8,390	0,011	18,640	0,001	0,3314
45	6,71	8,380	0,010	18,630	0,001	0,3307
60	7,75	8,379	0,001	18,629	0,000	0,3306
120	10,95	8,379	0,000	18,629	0,000	0,3306
180	13,42	8,379	0,000	18,629	0,000	0,3306
240	15,49	8,379	0,000	18,629	0,000	0,3306
1440	37,95	8,379	0,000	18,629	0,000	0,3306
Mistura 25% - Carga de 320 kPa - inundação						

Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,819	0,000	19,239	0,000	0,3113
0,10	0,32	8,590	0,229	19,010	0,016	0,2954
0,20	0,45	8,560	0,030	18,980	0,002	0,2933
0,50	0,71	8,540	0,020	18,960	0,001	0,2920
1	1,00	8,520	0,020	18,940	0,001	0,2906
2	1,41	8,499	0,021	18,919	0,001	0,2891
4	2,00	8,480	0,019	18,900	0,001	0,2878
8	2,83	8,459	0,021	18,879	0,001	0,2864
15	3,87	8,435	0,024	18,855	0,002	0,2847
30	5,48	8,419	0,016	18,839	0,001	0,2836
45	6,71	8,410	0,009	18,830	0,001	0,2830
60	7,75	8,400	0,010	18,820	0,001	0,2823
120	10,95	8,400	0,000	18,820	0,000	0,2823
180	13,42	8,400	0,000	18,820	0,000	0,2823
240	15,49	8,400	0,000	18,820	0,000	0,2823
1440	37,95	8,400	0,000	18,820	0,000	0,2823
640 kPa - Inundação						
Mistura 5% - Carga de 640 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,510	0,000	18,850	0,000	0,3589
0,10	0,32	8,345	0,165	18,685	0,012	0,3470
0,20	0,45	8,340	0,005	18,680	0,000	0,3467
0,50	0,71	8,330	0,010	18,670	0,001	0,3460
1	1,00	8,325	0,005	18,665	0,000	0,3456
2	1,41	8,320	0,005	18,660	0,000	0,3452

4	2,00	8,310	0,010	18,650	0,001	0,3445
8	2,83	8,305	0,005	18,645	0,000	0,3442
15	3,87	8,300	0,005	18,640	0,000	0,3438
30	5,48	8,291	0,009	18,631	0,001	0,3432
45	6,71	8,290	0,001	18,630	0,000	0,3431
60	7,75	8,289	0,001	18,629	0,000	0,3430
120	10,95	8,289	0,000	18,629	0,000	0,3430
180	13,42	8,289	0,000	18,629	0,000	0,3430
240	15,49	8,289	0,000	18,629	0,000	0,3430
1440	37,95	8,289	0,000	18,629	0,000	0,3430
Mistura 15% - Carga de 640 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,379	0,000	18,629	0,000	0,3306
0,10	0,32	8,016	0,363	18,266	0,026	0,3044
0,20	0,45	8,000	0,016	18,250	0,001	0,3032
0,50	0,71	7,980	0,020	18,230	0,001	0,3018
1	1,00	7,970	0,010	18,220	0,001	0,3010
2	1,41	7,955	0,015	18,205	0,001	0,2999
4	2,00	7,940	0,015	18,190	0,001	0,2989
8	2,83	7,930	0,010	18,180	0,001	0,2981
15	3,87	7,919	0,011	18,169	0,001	0,2973
30	5,48	7,909	0,010	18,159	0,001	0,2966
45	6,71	7,900	0,009	18,150	0,001	0,2960
60	7,75	7,900	0,000	18,150	0,000	0,2960
120	10,95	7,900	0,000	18,150	0,000	0,2960
180	13,42	7,900	0,000	18,150	0,000	0,2960

240	15,49	7,900	0,000	18,150	0,000	0,2960
1440	37,95	7,900	0,000	18,150	0,000	0,2960
Mistura 25% - Carga de 640 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,400	0,000	18,820	0,000	0,2823
0,10	0,32	8,150	0,250	18,570	0,017	0,2650
0,20	0,45	8,120	0,030	18,540	0,002	0,2629
0,50	0,71	8,110	0,010	18,530	0,001	0,2622
1	1,00	8,080	0,030	18,500	0,002	0,2601
2	1,41	8,059	0,021	18,479	0,001	0,2587
4	2,00	8,035	0,024	18,455	0,002	0,2570
8	2,83	8,015	0,020	18,435	0,001	0,2556
15	3,87	7,980	0,035	18,400	0,002	0,2532
30	5,48	7,960	0,020	18,380	0,001	0,2518
45	6,71	7,950	0,010	18,370	0,001	0,2511
60	7,75	7,945	0,005	18,365	0,000	0,2508
120	10,95	7,945	0,000	18,365	0,000	0,2508
180	13,42	7,945	0,000	18,365	0,000	0,2508
240	15,49	7,945	0,000	18,365	0,000	0,2508
1440	37,95	7,945	0,000	18,365	0,000	0,2508

**APÊNDICE C - TABELAS COM O DESCARREGAMENTO DOS CORPOS DE
PROVA COM DESCARGA ATÉ 320, 180, 80, 40 KPA E DESCARGA TOTAL**

Descarga até 320 kPa - Inundação						
Mistura 5% - Descarga até 320 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,289	0,000	18,629	0,000	0,3589
0,10	0,32	8,289	0,000	18,629	0,000	0,3589
0,20	0,45	8,289	0,000	18,629	0,000	0,3589
0,50	0,71	8,289	0,000	18,629	0,000	0,3589
1	1,00	8,289	0,000	18,629	0,000	0,3589
2	1,41	8,289	0,000	18,629	0,000	0,3589
4	2,00	8,289	0,000	18,629	0,000	0,3589
8	2,83	8,289	0,000	18,629	0,000	0,3589
15	3,87	8,335	0,046	18,675	0,003	0,3622
30	5,48	8,335	0,000	18,675	0,000	0,3622
45	6,71	8,335	0,000	18,675	0,000	0,3622
60	7,75	8,335	0,000	18,675	0,000	0,3622
120	10,95	8,335	0,000	18,675	0,000	0,3622
180	13,42	8,335	0,000	18,675	0,000	0,3622
240	15,49	8,335	0,000	18,675	0,000	0,3622
1440	37,95	8,335	0,000	18,675	0,000	0,3622
Mistura 15% - Descarga até 320 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	7,900	0,000	18,150	0,000	0,3306
0,10	0,32	7,900	0,000	18,150	0,000	0,3306
0,20	0,45	7,900	0,000	18,150	0,000	0,3306

0,50	0,71	7,900	0,000	18,150	0,000	0,3306
1	1,00	7,900	0,000	18,150	0,000	0,3306
2	1,41	7,900	0,000	18,150	0,000	0,3306
4	2,00	7,900	0,000	18,150	0,000	0,3306
8	2,83	7,900	0,000	18,150	0,000	0,3306
15	3,87	7,950	0,050	18,200	0,004	0,3343
30	5,48	7,950	0,000	18,200	0,000	0,3343
45	6,71	7,950	0,000	18,200	0,000	0,3343
60	7,75	7,950	0,000	18,200	0,000	0,3343
120	10,95	7,950	0,000	18,200	0,000	0,3343
180	13,42	7,950	0,000	18,200	0,000	0,3343
240	15,49	7,950	0,000	18,200	0,000	0,3343
1440	37,95	7,950	0,000	18,200	0,000	0,3343
Mistura 25% - Descarga até 320 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	7,945	0,000	18,365	0,000	0,2823
0,10	0,32	7,945	0,000	18,365	0,000	0,2823
0,20	0,45	7,945	0,000	18,365	0,000	0,2823
0,50	0,71	7,945	0,000	18,365	0,000	0,2823
1	1,00	7,945	0,000	18,365	0,000	0,2823
2	1,41	7,945	0,000	18,365	0,000	0,2823
4	2,00	7,945	0,000	18,365	0,000	0,2823
8	2,83	7,945	0,000	18,365	0,000	0,2823
15	3,87	8,000	0,055	18,420	0,004	0,2861
30	5,48	8,000	0,000	18,420	0,000	0,2861
45	6,71	8,000	0,000	18,420	0,000	0,2861

60	7,75	8,000	0,000	18,420	0,000	0,2861
120	10,95	8,000	0,000	18,420	0,000	0,2861
180	13,42	8,000	0,000	18,420	0,000	0,2861
240	15,49	8,000	0,000	18,420	0,000	0,2861
1440	37,95	8,000	0,000	18,420	0,000	0,2861
Descarga até 160 kPa						
Mistura 5% - Descarga até 160 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,335	0,000	18,850	0,000	0,3622
0,10	0,32	8,335	0,000	18,850	0,000	0,3622
0,20	0,45	8,335	0,000	18,850	0,000	0,3622
0,50	0,71	8,335	0,000	18,850	0,000	0,3622
1	1,00	8,335	0,000	18,850	0,000	0,3622
2	1,41	8,335	0,000	18,850	0,000	0,3622
4	2,00	8,335	0,000	18,850	0,000	0,3622
8	2,83	8,335	0,000	18,850	0,000	0,3622
15	3,87	8,375	0,040	18,890	0,003	0,3651
30	5,48	8,375	0,000	18,890	0,000	0,3651
45	6,71	8,375	0,000	18,890	0,000	0,3651
60	7,75	8,375	0,000	18,890	0,000	0,3651
120	10,95	8,375	0,000	18,890	0,000	0,3651
180	13,42	8,375	0,000	18,890	0,000	0,3651
240	15,49	8,375	0,000	18,890	0,000	0,3651
1440	37,95	8,375	0,000	18,890	0,000	0,3651
Mistura 15% - Descarga até 160 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e

0	0,00	7,950	0,000	18,629	0,000	0,3343
0,10	0,32	7,950	0,000	18,629	0,000	0,3343
0,20	0,45	7,950	0,000	18,629	0,000	0,3343
0,50	0,71	7,950	0,000	18,629	0,000	0,3343
1	1,00	7,950	0,000	18,629	0,000	0,3343
2	1,41	7,950	0,000	18,629	0,000	0,3343
4	2,00	7,950	0,000	18,629	0,000	0,3343
8	2,83	7,950	0,000	18,629	0,000	0,3343
15	3,87	8,005	0,055	18,684	0,004	0,3382
30	5,48	8,005	0,000	18,684	0,000	0,3382
45	6,71	8,005	0,000	18,684	0,000	0,3382
60	7,75	8,005	0,001	18,685	0,000	0,3383
120	10,95	8,005	0,001	18,686	0,000	0,3383
180	13,42	8,005	0,000	18,686	0,000	0,3383
240	15,49	8,005	0,000	18,686	0,000	0,3383
1440	37,95	8,005	0,000	18,686	0,000	0,3383
Mistura 25% - Descarga até 160 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,000	0,000	18,820	0,000	0,2861
0,10	0,32	8,000	0,000	18,820	0,000	0,2861
0,20	0,45	8,000	0,000	18,820	0,000	0,2861
0,50	0,71	8,000	0,000	18,820	0,000	0,2861
1	1,00	8,000	0,000	18,820	0,000	0,2861
2	1,41	8,000	0,000	18,820	0,000	0,2861
4	2,00	8,000	0,000	18,820	0,000	0,2861
8	2,83	8,000	0,000	18,820	0,000	0,2861

15	3,87	8,065	0,065	18,885	0,004	0,2906
30	5,48	8,065	0,000	18,885	0,000	0,2906
45	6,71	8,065	0,000	18,885	0,000	0,2906
60	7,75	8,065	0,000	18,885	0,000	0,2906
120	10,95	8,065	0,000	18,885	0,000	0,2906
180	13,42	8,065	0,000	18,885	0,000	0,2906
240	15,49	8,065	0,000	18,885	0,000	0,2906
1440	37,95	8,065	0,000	18,885	0,000	0,2906
Descarga até 80 kPa						
Mistura 5% - Descarga até 80 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,375	0,000	19,250	0,000	0,3651
0,10	0,32	8,375	0,000	19,250	0,000	0,3651
0,20	0,45	8,375	0,000	19,250	0,000	0,3651
0,50	0,71	8,375	0,000	19,250	0,000	0,3651
1	1,00	8,375	0,000	19,250	0,000	0,3651
2	1,41	8,375	0,000	19,250	0,000	0,3651
4	2,00	8,375	0,000	19,250	0,000	0,3651
8	2,83	8,375	0,000	19,250	0,000	0,3651
15	3,87	8,411	0,036	19,286	0,003	0,3677
30	5,48	8,411	0,000	19,286	0,000	0,3677
45	6,71	8,411	0,000	19,286	0,000	0,3677
60	7,75	8,411	0,000	19,286	0,000	0,3677
120	10,95	8,411	0,000	19,286	0,000	0,3677
180	13,42	8,411	0,000	19,286	0,000	0,3677
240	15,49	8,411	0,000	19,286	0,000	0,3677

1440	37,95	8,411	0,000	19,286	0,000	0,3677
Mistura 15% - Descarga até 80 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,005	0,000	19,441	0,000	0,3383
0,10	0,32	8,005	0,000	19,441	0,000	0,3383
0,20	0,45	8,005	0,000	19,441	0,000	0,3383
0,50	0,71	8,005	0,001	19,442	0,000	0,3384
1	1,00	8,005	0,001	19,443	0,000	0,3384
2	1,41	8,005	0,000	19,443	0,000	0,3384
4	2,00	8,005	0,000	19,443	0,000	0,3384
8	2,83	8,005	0,000	19,443	0,000	0,3384
15	3,87	8,061	0,056	19,499	0,004	0,3424
30	5,48	8,061	0,000	19,499	0,000	0,3424
45	6,71	8,061	0,000	19,499	0,000	0,3424
60	7,75	8,061	0,000	19,499	0,000	0,3424
120	10,95	8,061	0,000	19,499	0,000	0,3424
180	13,42	8,061	0,000	19,499	0,000	0,3424
240	15,49	8,061	0,000	19,499	0,000	0,3424
1440	37,95	8,061	0,000	19,499	0,000	0,3424
Mistura 25% - Descarga até 80 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,065	0,000	19,625	0,000	0,2906
0,10	0,32	8,065	0,000	19,625	0,000	0,2906
0,20	0,45	8,065	0,000	19,625	0,000	0,2906
0,50	0,71	8,065	0,000	19,625	0,000	0,2906
1	1,00	8,065	0,000	19,625	0,000	0,2906

2	1,41	8,065	0,000	19,625	0,000	0,2906
4	2,00	8,065	0,000	19,625	0,000	0,2906
8	2,83	8,065	0,000	19,625	0,000	0,2906
15	3,87	8,130	0,065	19,690	0,004	0,2951
30	5,48	8,130	0,000	19,690	0,000	0,2951
45	6,71	8,130	0,000	19,690	0,000	0,2951
60	7,75	8,130	0,000	19,690	0,000	0,2951
120	10,95	8,130	0,000	19,690	0,000	0,2951
180	13,42	8,130	0,000	19,690	0,000	0,2951
240	15,49	8,130	0,000	19,690	0,000	0,2951
1440	37,95	8,130	0,000	19,690	0,000	0,2951
Descarga até 40 kPa						
Mistura 5% - Descarga até 40 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,411	0,000	19,250	0,000	0,3677
0,10	0,32	8,411	0,000	19,250	0,000	0,3677
0,20	0,45	8,411	0,000	19,250	0,000	0,3677
0,50	0,71	8,411	0,000	19,250	0,000	0,3677
1	1,00	8,411	0,000	19,250	0,000	0,3677
2	1,41	8,411	0,000	19,250	0,000	0,3677
4	2,00	8,411	0,000	19,250	0,000	0,3677
8	2,83	8,411	0,000	19,250	0,000	0,3677
15	3,87	8,451	0,040	19,290	0,003	0,3706
30	5,48	8,451	0,000	19,290	0,000	0,3706
45	6,71	8,451	0,000	19,290	0,000	0,3706
60	7,75	8,451	0,000	19,290	0,000	0,3706

120	10,95	8,451	0,000	19,290	0,000	0,3706
180	13,42	8,451	0,000	19,290	0,000	0,3706
240	15,49	8,451	0,000	19,290	0,000	0,3706
1440	37,95	8,451	0,000	19,290	0,000	0,3706
Mistura 15% - Descarga até 40 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,061	0,000	19,441	0,000	0,3424
0,10	0,32	8,061	0,000	19,441	0,000	0,3424
0,20	0,45	8,061	0,000	19,441	0,000	0,3424
0,50	0,71	8,061	0,000	19,441	0,000	0,3424
1	1,00	8,061	0,000	19,441	0,000	0,3424
2	1,41	8,061	0,000	19,441	0,000	0,3424
4	2,00	8,061	0,000	19,441	0,000	0,3424
8	2,83	8,061	0,000	19,441	0,000	0,3424
15	3,87	8,140	0,079	19,520	0,006	0,3482
30	5,48	8,140	0,000	19,520	0,000	0,3482
45	6,71	8,140	0,000	19,520	0,000	0,3482
60	7,75	8,140	0,000	19,520	0,000	0,3482
120	10,95	8,140	0,000	19,520	0,000	0,3482
180	13,42	8,140	0,000	19,520	0,000	0,3482
240	15,49	8,140	0,000	19,520	0,000	0,3482
1440	37,95	8,140	0,000	19,520	0,000	0,3482
Mistura 25% - Descarga até 40 kPa - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,130	0,000	19,625	0,000	0,2951
0,10	0,32	8,130	0,000	19,625	0,000	0,2951

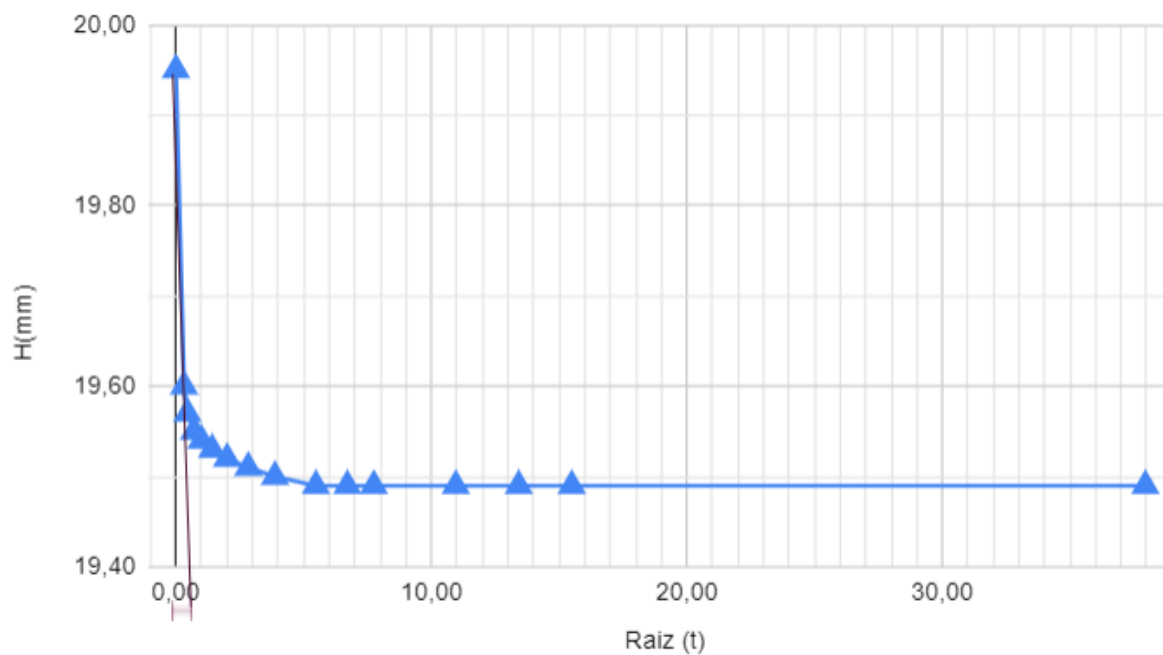
0,20	0,45	8,130	0,000	19,625	0,000	0,2951
0,50	0,71	8,130	0,000	19,625	0,000	0,2951
1	1,00	8,130	0,000	19,625	0,000	0,2951
2	1,41	8,130	0,000	19,625	0,000	0,2951
4	2,00	8,130	0,000	19,625	0,000	0,2951
8	2,83	8,130	0,000	19,625	0,000	0,2951
15	3,87	8,220	0,090	19,715	0,006	0,3013
30	5,48	8,220	0,000	19,715	0,000	0,3013
45	6,71	8,220	0,000	19,715	0,000	0,3013
60	7,75	8,220	0,000	19,715	0,000	0,3013
120	10,95	8,220	0,000	19,715	0,000	0,3013
180	13,42	8,220	0,000	19,715	0,000	0,3013
240	15,49	8,220	0,000	19,715	0,000	0,3013
1440	37,95	8,220	0,000	19,715	0,000	0,3013
Descarga total						
Mistura 5% - Descarga total - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,451	0,000	19,490	0,000	0,3706
0,10	0,32	8,451	0,000	19,490	0,000	0,3706
0,20	0,45	8,451	0,000	19,490	0,000	0,3706
0,50	0,71	8,451	0,000	19,490	0,000	0,3706
1	1,00	8,451	0,000	19,490	0,000	0,3706
2	1,41	8,451	0,000	19,490	0,000	0,3706
4	2,00	8,451	0,000	19,490	0,000	0,3706
8	2,83	8,451	0,000	19,490	0,000	0,3706
15	3,87	8,565	0,114	19,604	0,008	0,3788

30	5,48	8,565	0,000	19,604	0,000	0,3788
45	6,71	8,565	0,000	19,604	0,000	0,3788
60	7,75	8,565	0,000	19,604	0,000	0,3788
120	10,95	8,565	0,000	19,604	0,000	0,3788
180	13,42	8,565	0,000	19,604	0,000	0,3788
240	15,49	8,565	0,000	19,604	0,000	0,3788
1440	37,95	8,565	0,000	19,604	0,000	0,3788
Mistura 15% - Descarga total - inundação						
Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,140	0,000	19,780	0,000	0,3482
0,10	0,32	8,140	0,000	19,780	0,000	0,3482
0,20	0,45	8,140	0,000	19,780	0,000	0,3482
0,50	0,71	8,140	0,000	19,780	0,000	0,3482
1	1,00	8,140	0,000	19,780	0,000	0,3482
2	1,41	8,140	0,000	19,780	0,000	0,3482
4	2,00	8,140	0,000	19,780	0,000	0,3482
8	2,83	8,140	0,000	19,780	0,000	0,3482
15	3,87	8,510	0,370	20,150	0,027	0,3749
30	5,48	8,510	0,000	20,150	0,000	0,3749
45	6,71	8,510	0,000	20,150	0,000	0,3749
60	7,75	8,510	0,000	20,150	0,000	0,3749
120	10,95	8,510	0,000	20,150	0,000	0,3749
180	13,42	8,510	0,000	20,150	0,000	0,3749
240	15,49	8,510	0,000	20,150	0,000	0,3749
1440	37,95	8,510	0,000	20,150	0,000	0,3749
Mistura 25% - Descarga total - inundação						

Tempo	Raiz (t)	Leitura	DH (mm)	H (mm)	De	e
0	0,00	8,220	0,000	19,959	0,000	0,3013
0,10	0,32	8,220	0,000	19,959	0,000	0,3013
0,20	0,45	8,220	0,000	19,959	0,000	0,3013
0,50	0,71	8,220	0,000	19,959	0,000	0,3013
1	1,00	8,220	0,000	19,959	0,000	0,3013
2	1,41	8,220	0,000	19,959	0,000	0,3013
4	2,00	8,220	0,000	19,959	0,000	0,3013
8	2,83	8,220	0,000	19,959	0,000	0,3013
15	3,87	8,410	0,190	20,149	0,013	0,3145
30	5,48	8,410	0,000	20,149	0,000	0,3145
45	6,71	8,410	0,000	20,149	0,000	0,3145
60	7,75	8,410	0,000	20,149	0,000	0,3145
120	10,95	8,410	0,000	20,149	0,000	0,3145
180	13,42	8,410	0,000	20,149	0,000	0,3145
240	15,49	8,410	0,000	20,149	0,000	0,3145
1440	37,95	8,410	0,000	20,149	0,000	0,3145

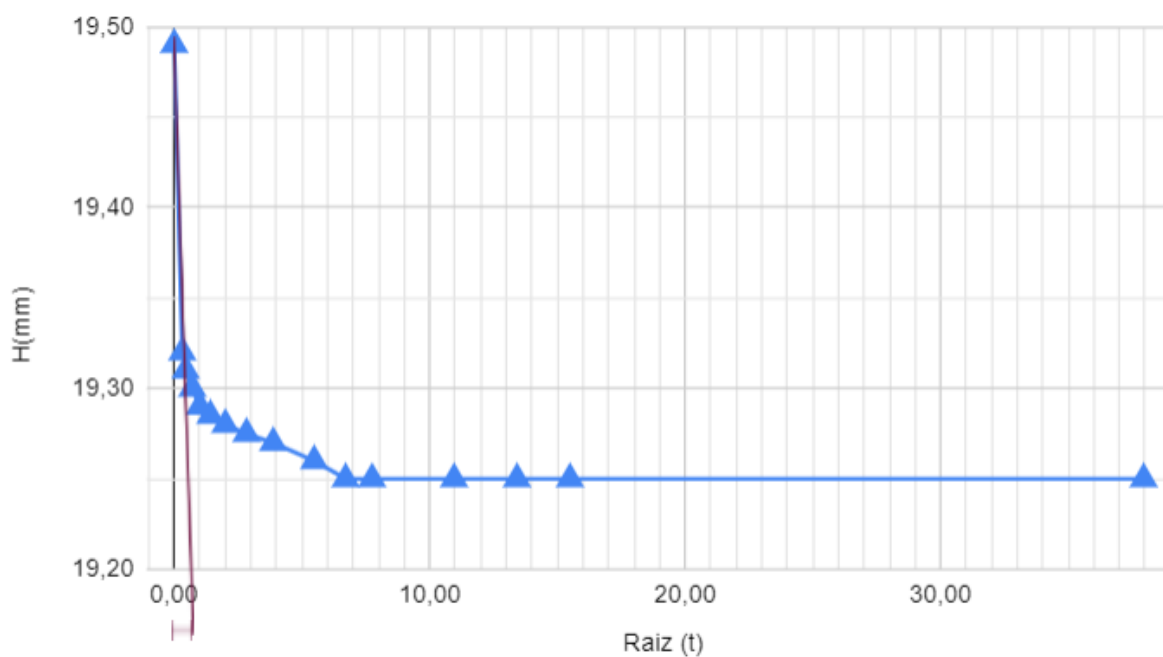
APÊNDICE D - DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE H_{90} E t_{90} PELO MÉTODO DE TAYLOR

Método de Taylor - Mistura de 5% - Tensão de 40 kPa



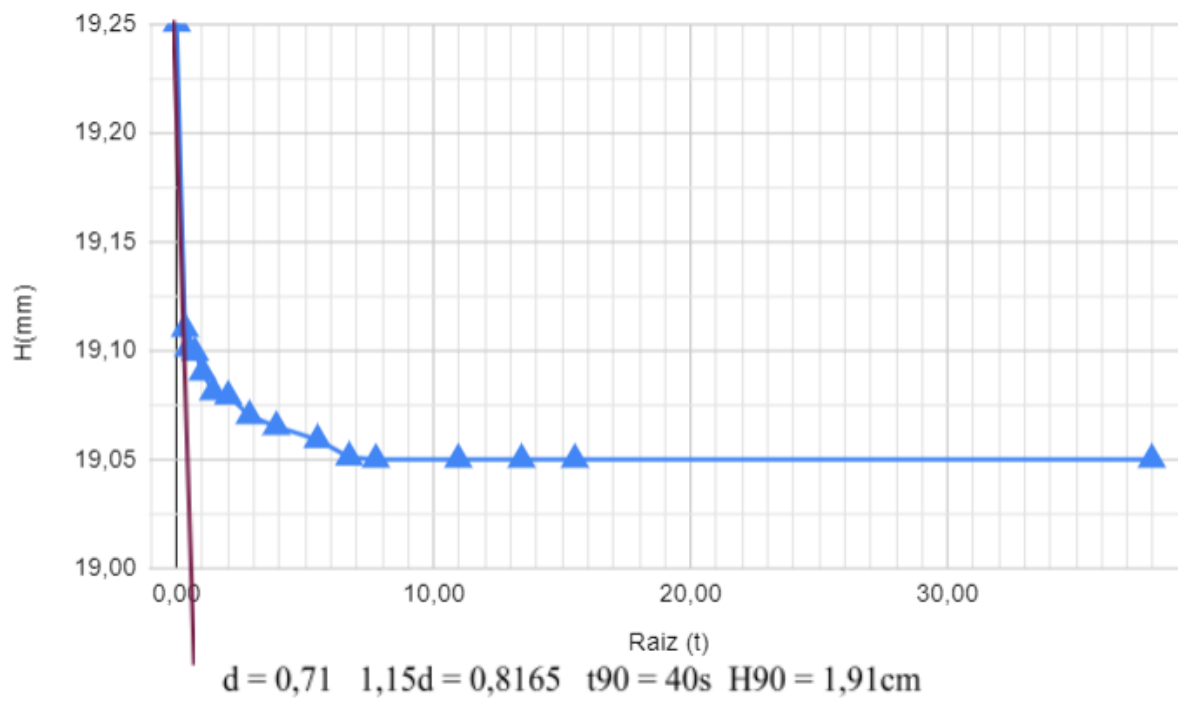
$d = 0,71$ $1,15d = 0,8165$ $t_{90} = 40s$ $H_{90} = 1,9543cm$

Método de Taylor - Mistura de 5% - Tensão de 80 kPa

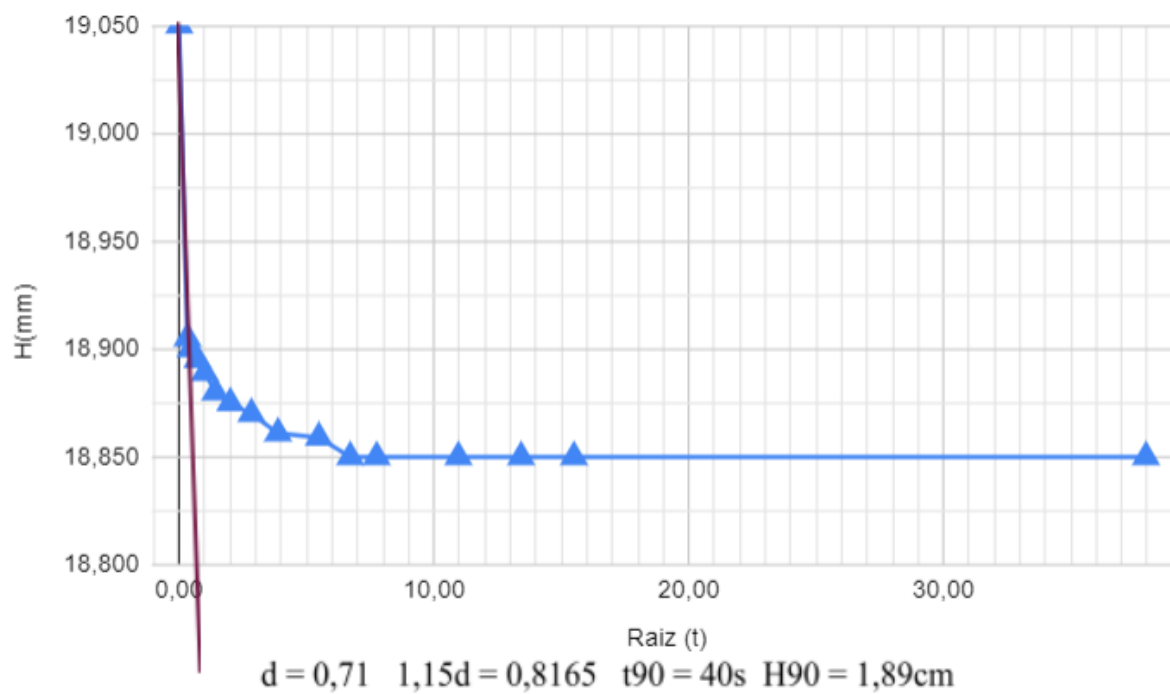


$d = 0,71$ $1,15d = 0,8165$ $t_{90} = 40s$ $H_{90} = 1,93cm$

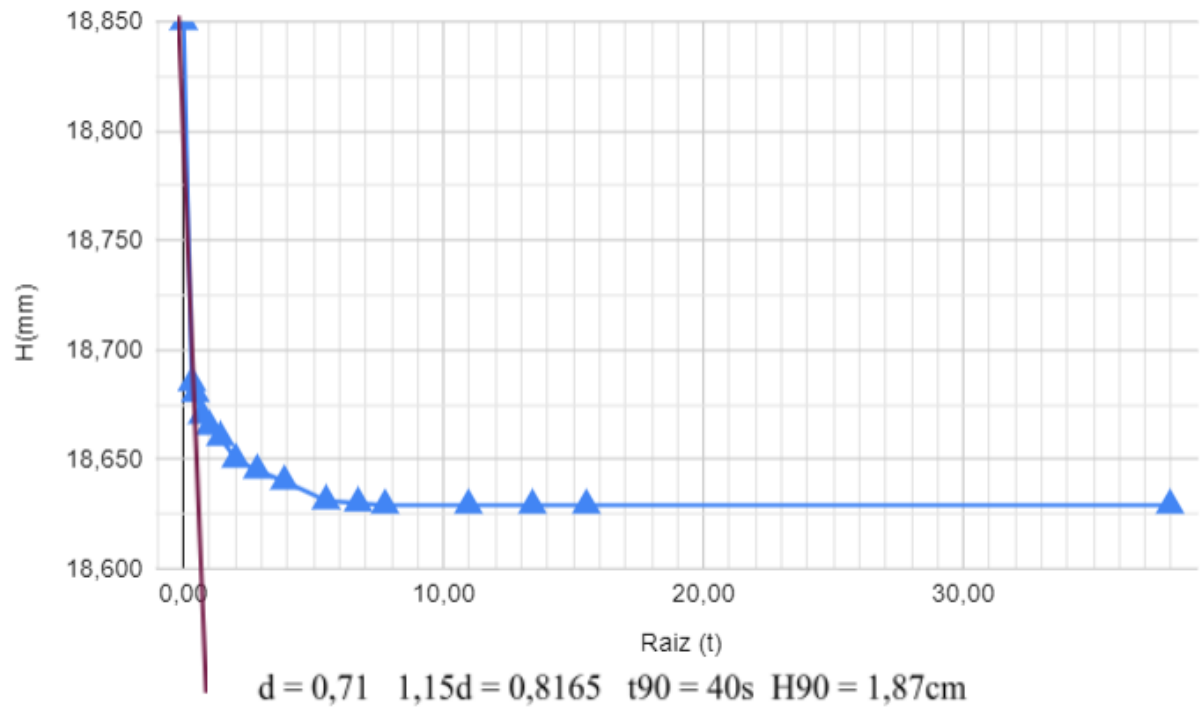
Método de Taylor - Mistura de 5% - Tensão de 160 kPa



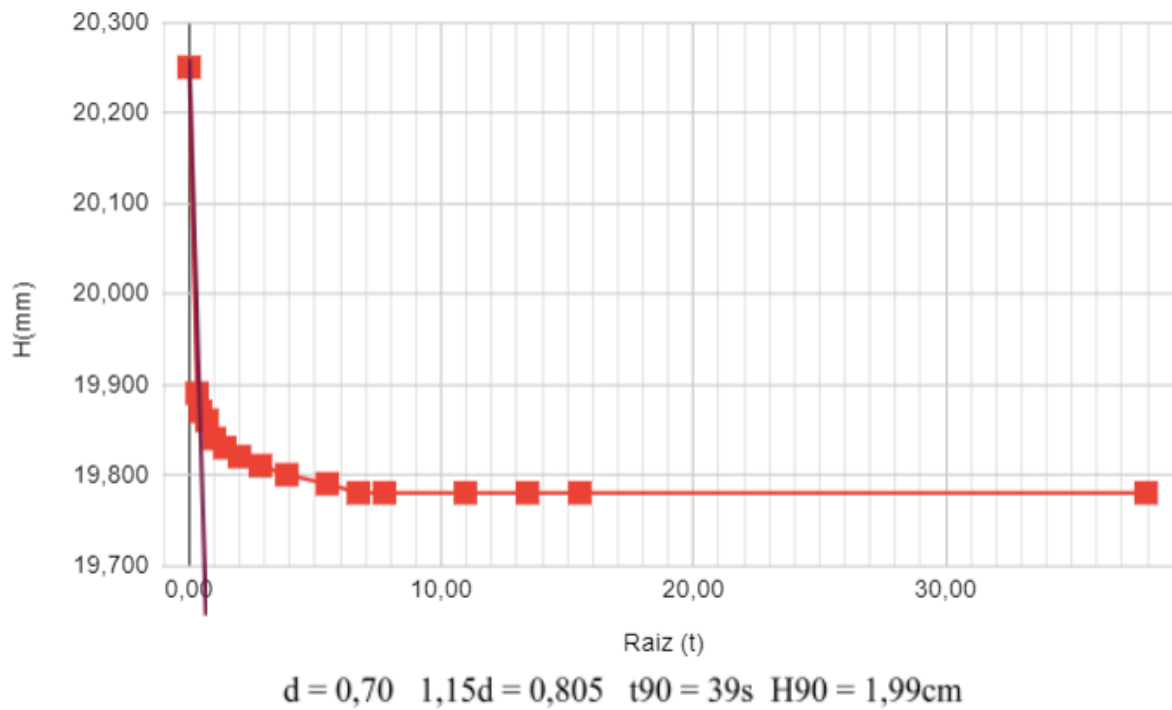
Método de Taylor - Mistura de 5% - Tensão de 320 kPa



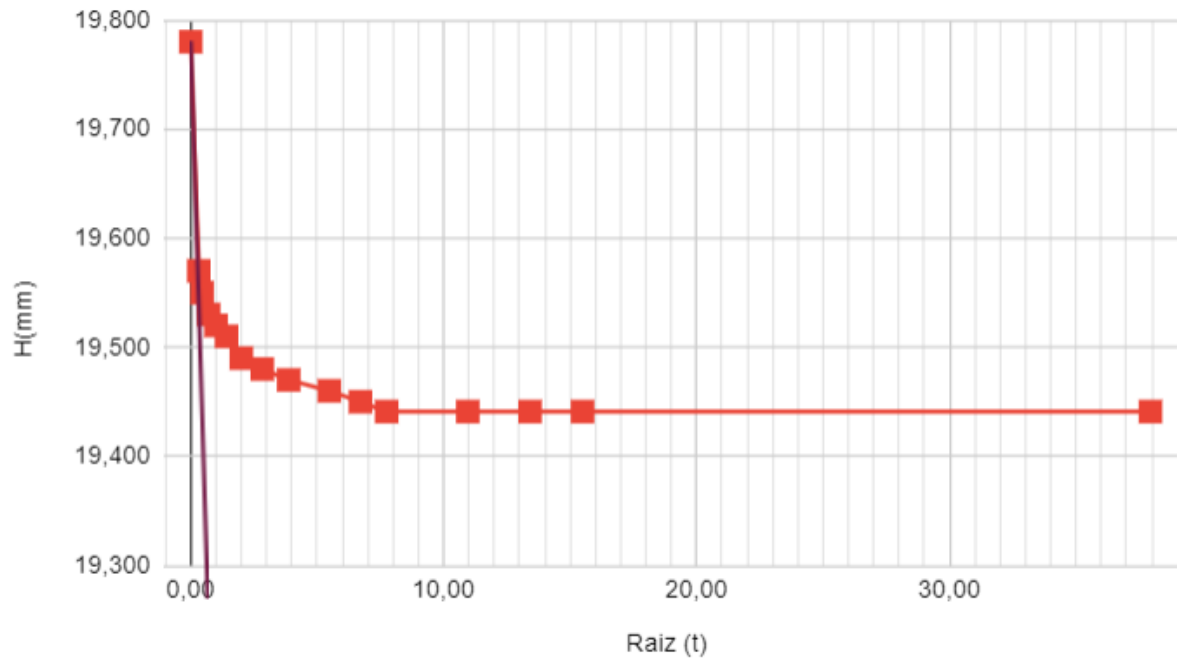
Método de Taylor - Mistura de 5% - Tensão de 640 kPa



Método de Taylor - Mistura de 15% - Tensão de 40 kPa

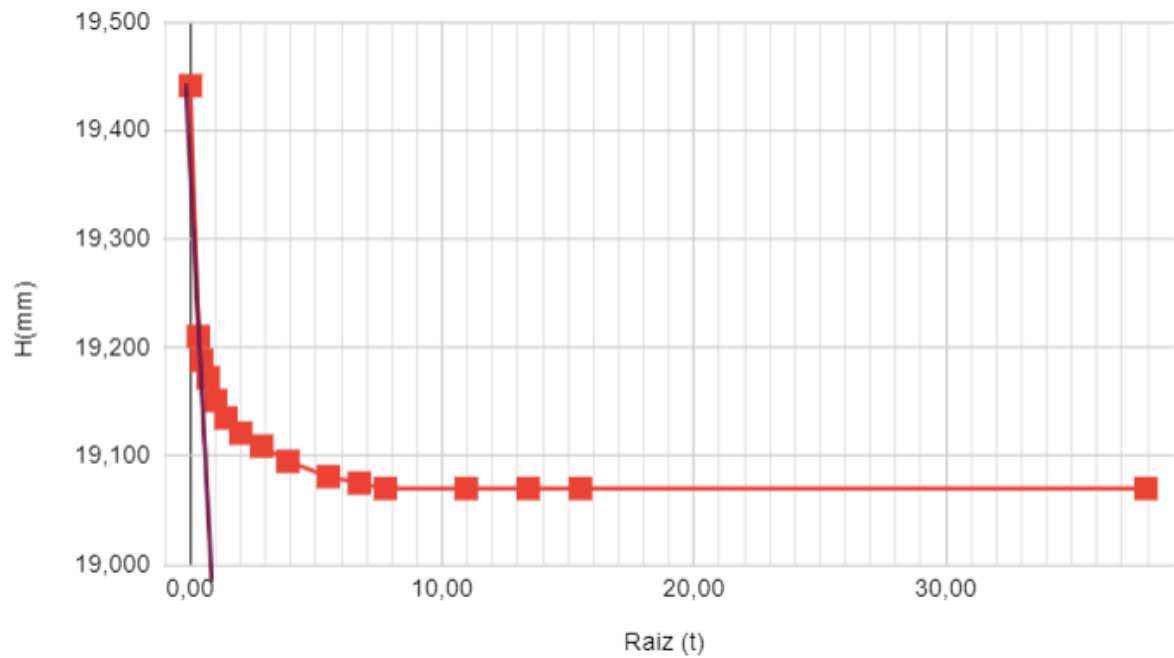


Método de Taylor - Mistura de 15% - Tensão de 80 kPa



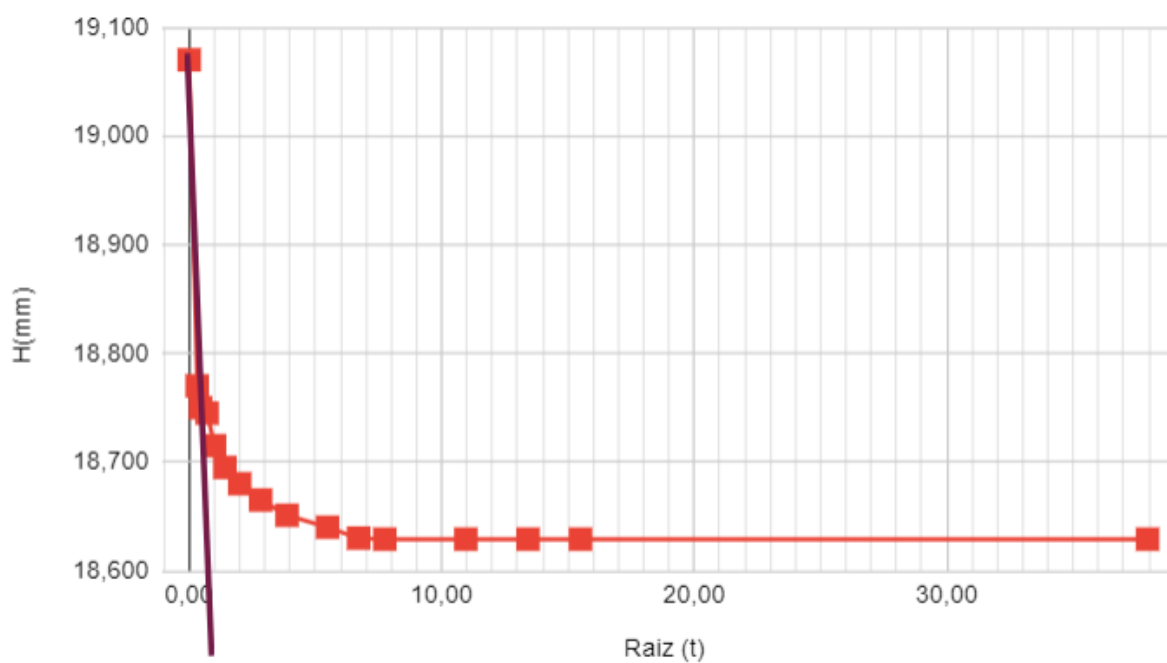
$$d = 0,71 \quad 1,15d = 0,817 \quad t_{90} = 40s \quad H_{90} = 1,93cm$$

Método de Taylor - Mistura de 15% - Tensão de 160 kPa



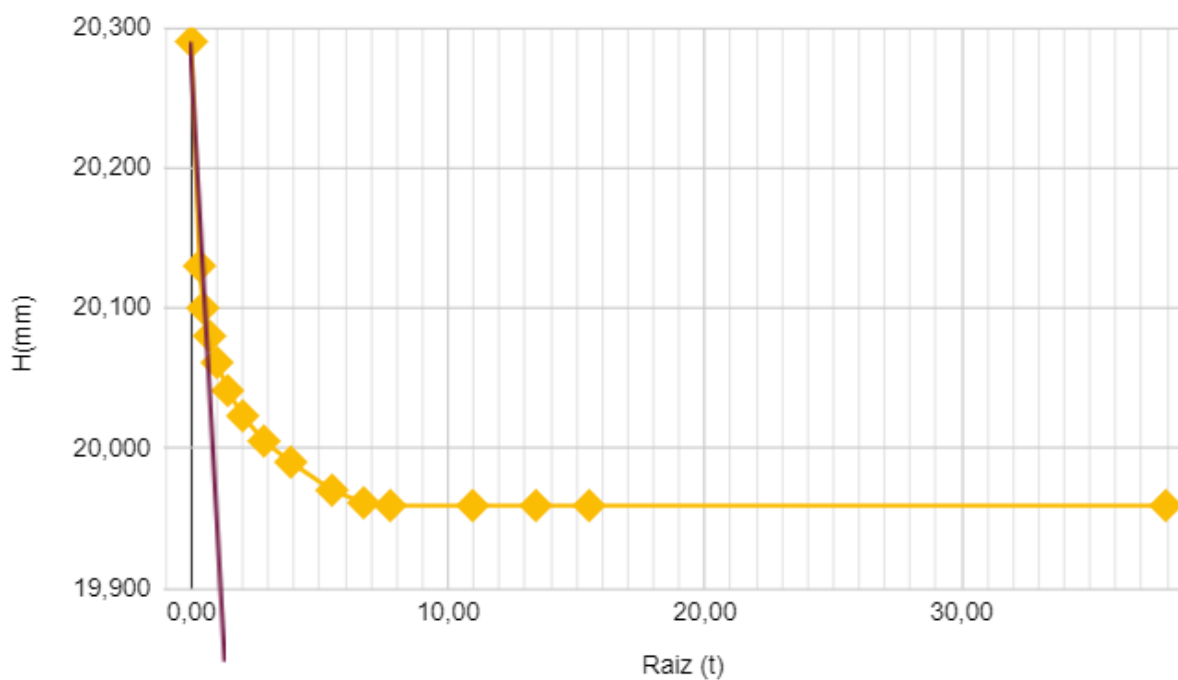
$$d = 1 \quad 1,15d = 1,15 \quad t_{90} = 79,35s \quad H_{90} = 1,92cm$$

Método de Taylor - Mistura de 15% - Tensão de 320 kPa



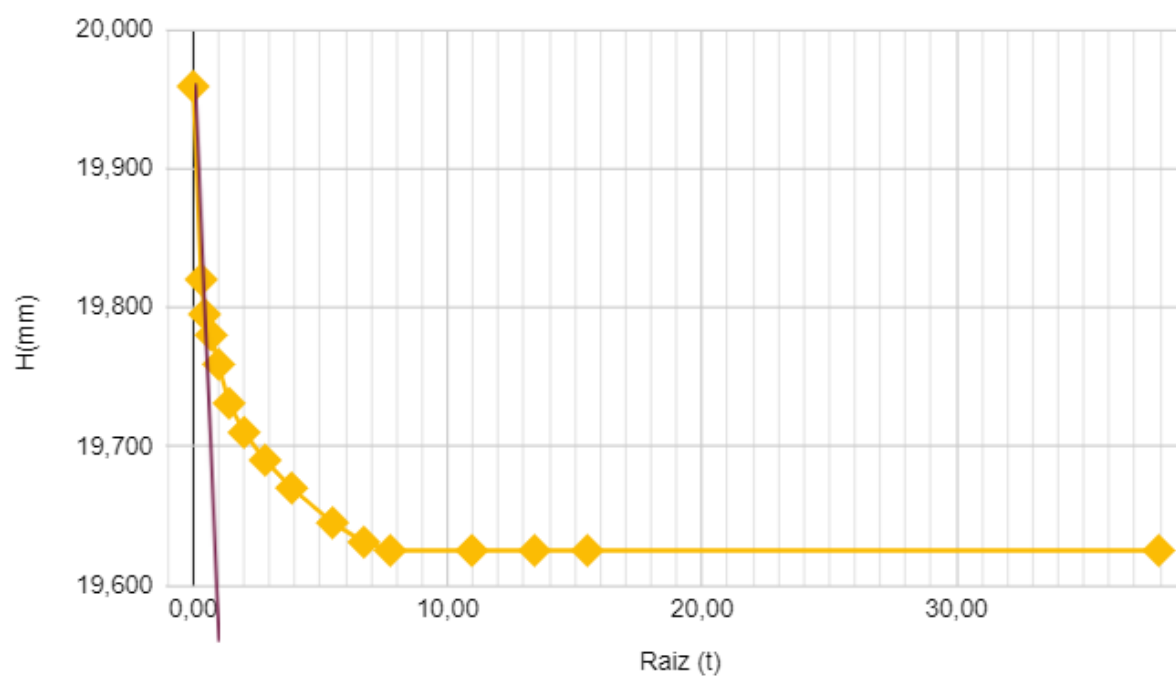
$$d = 0,9 \quad 1,15d = 1,035 \quad t_{90} = 64,3s \quad H_{90} = 1,88cm$$

Método de Taylor - Mistura de 25% - Tensão de 40kPa



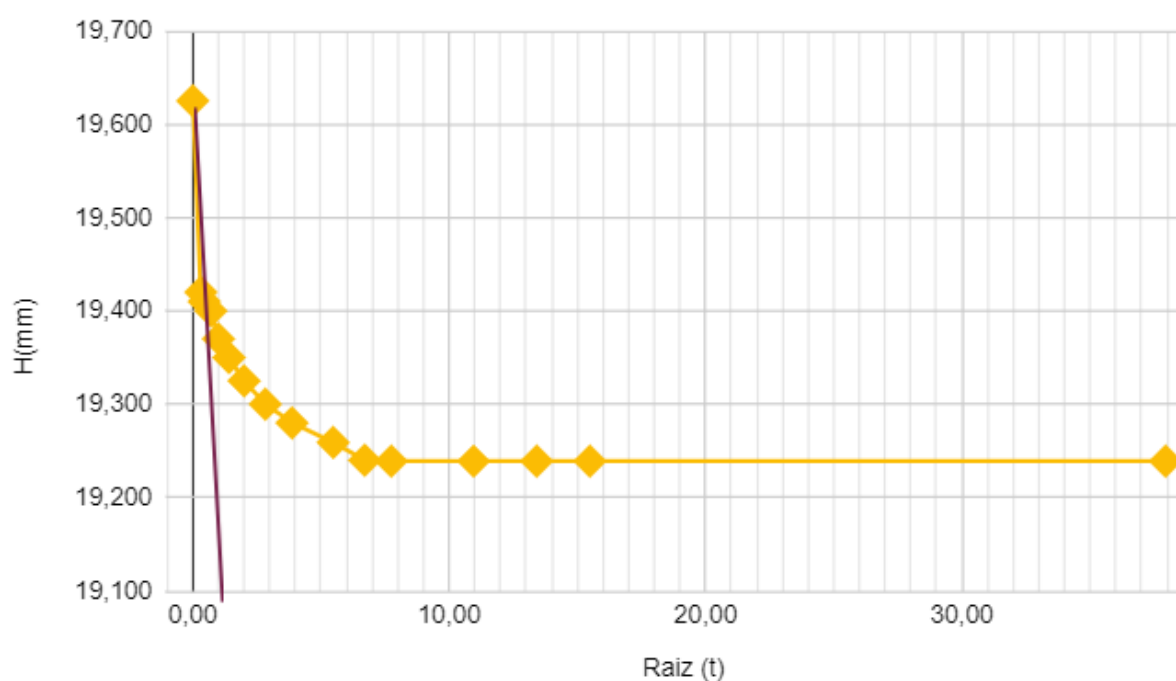
$$d = 1 \quad 1,15d = 1,15 \quad t_{90} = 79,35s \quad H_{90} = 2,01cm$$

Método de Taylor - Mistura de 25% - Tensão de 80kPa



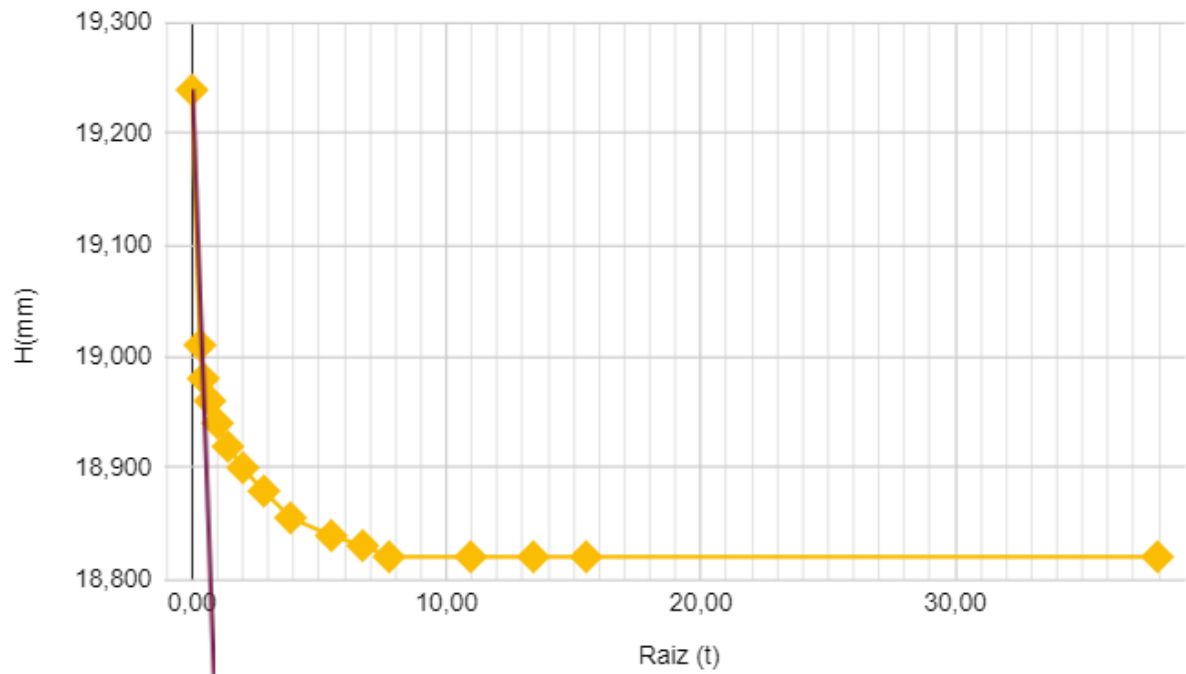
$d = 1$ $1,15d = 1,15$ $t_{90} = 79,35s$ $H_{90} = 1,98cm$

Método de Taylor - Mistura de 25% - Tensão de 160kPa



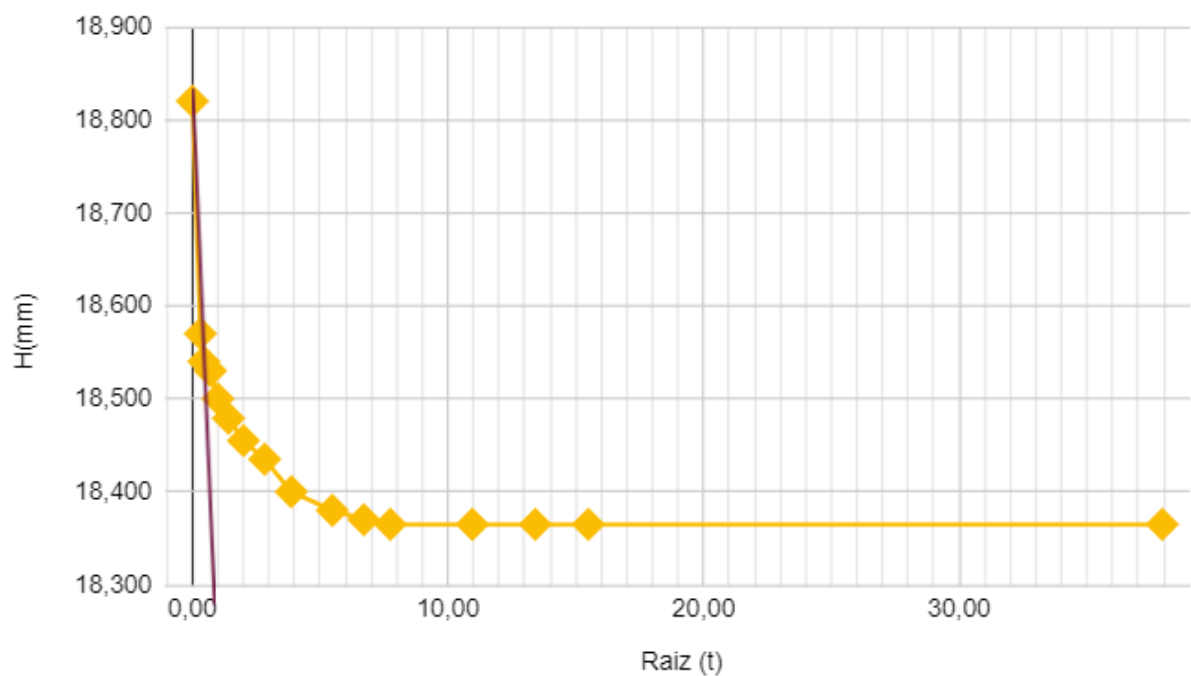
$d = 1,2$ $1,15d = 1,38$ $t_{90} = 114,26s$ $H_{90} = 1,94cm$

Método de Taylor - Mistura de 25% - Tensão de 320 kPa



$$d = 0,71 \quad 1,15d = 0,816 \quad t_{90} = 40s \quad H_{90} = 1,89cm$$

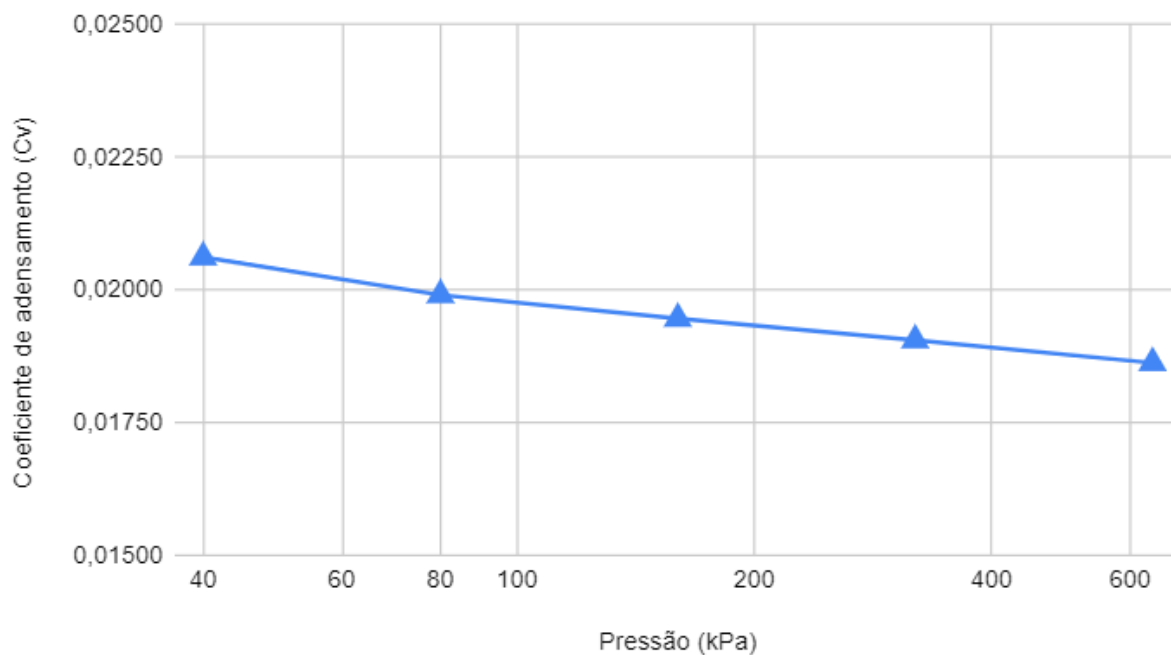
Método de Taylor - Mistura de 25% - Tensão de 640 kPa



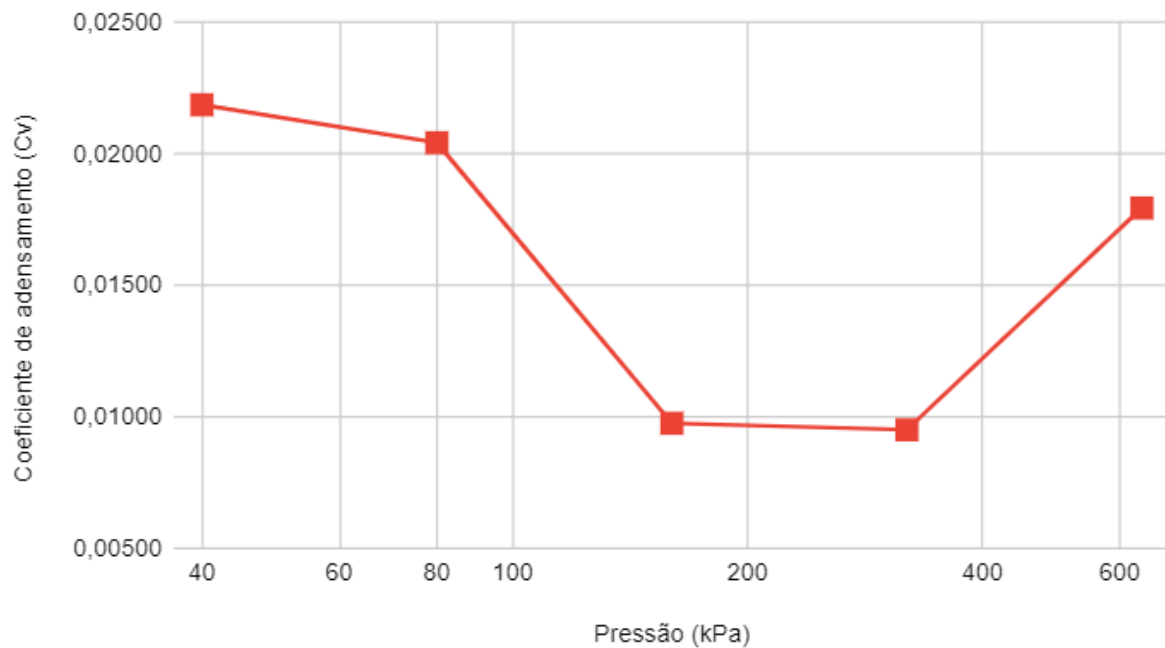
$$d = 0,9 \quad 1,15d = 1,035 \quad t_{90} = 64,27s \quad H_{90} = 1,85cm$$

APÊNDICE E - CURVAS DE COEFICIENTES DE ADENSAMENTO EM FUNÇÃO DO LOGARITMO DAS TENSÕES

Coefficiente de adensamento em função do logaritmo das tensões para a mistura de 5%



Coefficiente de adensamento em função do logaritmo das tensões para a mistura de 15%



Coeficiente de adensamento em função do logaritmo das tensões para a mistura de 25%

