

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**BIANKA NÓRA DIAS**

**ESTUDO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE SOLOS UTILIZADOS NA  
CONSTRUÇÃO DE BARRAMENTOS DE PEQUENO PORTE**

**Alegrete  
2018**

**BIANKA NÓRA DIAS**

**ESTUDO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE SOLOS UTILIZADOS NA  
CONSTRUÇÃO DE BARRAMENTOS DE PEQUENO PORTE**

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

Orientador: Wilber Feliciano Chambi  
Tapahuasco

Coorientador: Jaelson Budny

**Alegrete  
2018**

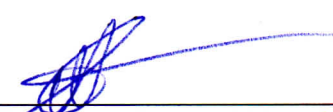
BIANKA NÓRA DIAS

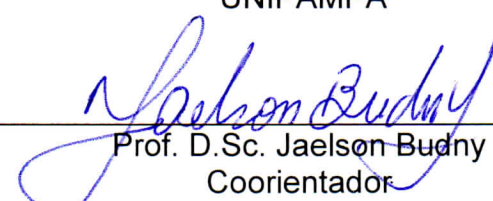
**ESTUDO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE SOLOS UTILIZADOS NA  
CONSTRUÇÃO DE BARRAMENTOS DE PEQUENO PORTE**

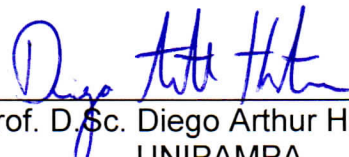
Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título  
de Bacharela em Engenharia Civil.

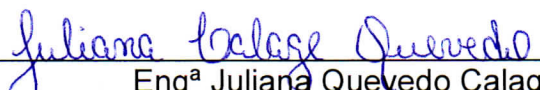
Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 28 de junho de 2018.

Banca examinadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof. D.Sc. Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco  
Orientador  
UNIPAMPA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. D.Sc. Jaelson Budny  
Coorientador  
UNIPAMPA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. D.Sc. Diego Arthur Hartmann  
UNIPAMPA

  
\_\_\_\_\_  
Eng<sup>a</sup> Juliana Quevedo Calage  
UNIPAMPA

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me dado sabedoria para enfrentar todos os obstáculos durante os anos de graduação.

À minha família pelo amor e apoio incondicional. Aos meus pais, Ilson e Ivete, pelo exemplo, pelos conselhos, por todo incentivo e esforço dispendido para que eu pudesse alcançar meus objetivos. E à minha irmã Karine pela amizade e parceria, tornando tudo mais fácil quando eu precisava de alguém para aliviar o peso dos compromissos, independente da hora.

Ao meu orientador, prof. Wilber Tapahuasco, por toda paciência e tempo a mim dedicados, durante todos esses anos de pesquisa e principalmente ao final dela, compartilhando de seu admirável conhecimento. Também, pela escolha do tema e por torná-lo mais interessante com as diversas ideias sugeridas para incrementá-lo, permitindo ter ampliado meus saberes e ter conhecido diversas pessoas que também puderam contribuir com os estudos.

Ao meu coorientador, prof. Jaelson Budny por todo auxílio ao longo da pesquisa, conduzindo diretamente os ensaios, sempre prestativo para tirar dúvidas e para propor melhorias fundamentais que tornaram possível a realização desse trabalho.

Aos professores que tive, na área de solos, que com toda sua competência a tornaram encantadora e despertaram meu interesse.

Aos técnicos, Juliano e Jarbas pelo auxílio no laboratório durante os contratemplos; Diogo, por todo empenho para o processamento dos dados do levantamento topográfico e nas saídas de campo; Lisando e Jhon, por terem sido solícitos para guardar meu material e me permitirem usar as instalações do LAMAP; Giulian por ter apoiado e acompanhado minhas atividades, mesmo fora de horário.

Aos vigilantes sr. Marcos, Paulo, Diego, sr. Jorge e sr. Irineu por todo zelo durante as madrugadas na Unipampa.

Ao motorista Adriel pelas idas à campo e por inclusive auxiliar na coleta de solo e em um levantamento topográfico.

À Juliana por ter permitido participar do seu trabalho, o que me fez aprender muito e entusiasmei para dar seguimento à pesquisa, tendo os bons resultados delas registrados aqui. E por ter criado uma amizade verdadeira através do coleguismo e das horas divididas no laboratório ou no campo.



À Josieli e Michel pelas saídas de campo nos levantamentos topográficos e ao João Vitor e Raphael pela ida para coletar solo.

À Katjusa por toda ajuda para as moldagens e ensaios, facilitando minhas atividades por passar sua experiência.

Ao Felipe por toda atenção e apoio ao longo dos anos, pela companhia quando necessário, sendo na vida ou no laboratório e por encorajar e agradecer para dar-me ânimo.

Ao Vinícius pela amizade, inúmeras caronas e assistências dadas ao longo do desenvolvimento desse trabalho.

À Bruna, Laísa e Gabriella pela ajuda com o destorroamento de solo.

Ao Wagner pelas dicas com o equipamento de cisalhamento direto e solicitude quando precisei de algo para o TCC.

Aos amigos que de alguma forma contribuíram indiretamente para a realização desse trabalho, sou grata pela solidariedade, se oferecendo para qualquer coisa que eu precisasse, pela convivência que tornaram os dias mais felizes ou pela compreensão da minha ausência.

A todos aqueles que fizeram parte da minha formação profissional, seja nos ensinamentos ou estudos, deixo meu muito obrigada.

## RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo estudar o comportamento da resistência ao cisalhamento de três solos finos, oriundos do Município de Alegrete/RS, com o intuito de aproveitar tais materiais na edificação de barramentos de açudes e barragens de pequeno porte. Para isso, inicialmente foram realizadas coletas de amostras de 3 tipos de solos distintos, inseridas em formações geológicas diferentes, e feito os levantamentos topográficos dos dois barramentos adjacentes a eles. Seguidamente, no laboratório foram executados ensaios de caracterização geotécnica, tais como granulometria, massa específica dos grãos, limite de liquidez e limite de plasticidade. Também, com o intuito de obter melhorias mecânicas, foram executados ensaios de compactação, utilizando energia Normal e modificada. Posterior a isso, com o intuito de executar ensaios de resistência ao cisalhamento direto, foram preparados pequenos corpos de prova, utilizando os teores de umidade ótima e massas específicas secas máximas, correspondentes aos ensaios de compactação. Após 28 dias de cura, os corpos de prova foram submetidos a ensaios de cisalhamento direto, utilizando uma velocidade mínima de 0,025 mm/min. Os resultados obtidos permitiram constatar que o uso de uma maior energia de compactação influencia no aumento da massa específica compacta e aumento dos parâmetros de resistência ao cisalhamento. A partir dos dados obtidos em laboratório e campo, foi possível gerar as seções transversais típicas dos reservatórios para simular, em software geotécnico, a estabilidade dos taludes, considerando as propriedades dos materiais com que foram construídos e a influência do nível de água. As análises dos fatores de segurança que expressam as condições dos taludes, os revelaram “instáveis” e “estáveis mas não seguro” na energia Normal de compactação e “estáveis e seguro” na energia Modificada, para jusante e montante.

Palavras-Chave: barragem de terra, resistência ao cisalhamento, cisalhamento direto, compactação de solos, análise de estabilidade de taludes.

## ABSTRACT

The present study has objective to investigation the behavior of shear strength as of three till soils, from the Alegrete/RS city, with the purpose to using such materials in th building of barrages of small size dams. For this, firstly collected samples from three distinct soils types, at diferents geological formations. Then, were made tests in the laboratory for geotechnical characterization tests, such as granulometry, specific gravity of the soil grain solids, liquid limit and plastic limit. Also, with in order to get obtain mechanical improvements, was made compactation tests, using the Standard and Modified Proctor. After, with intentionto do shear strength tests, prepared small proof bodies, molding optimum moisture content and maximum dry density of soil, corresponding to compactation tests. After 28 days, the proof bodies were submitted to shear strength tests, using a minimum speed to 0,025 mm/min. The results obtained allowed to verify that the use of higher compactation effort influence on increase maximum dry density of soil and parameters of shear strength. From the data obtained in the laboratory and field, it was possible to generate the typical cross sections of the reservoirs to simulate the slope stability in geotechnical software, considering the properties of the materials with which they were built and the influence of the water level. Analyzes of safety factors expressing slope conditions revealed them to be "unstable" and "stable but not safe" in the standard Proctor effort and "stable and safe" in Modified effort, for downstream and upstream.

Keywords: soil dam, shear strenght, direct shear test, slope stability analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Elementos básicos de uma barragem.....	16
Figura 2 - Ensaio de frasco de areia .....	18
Figura 3 - Método do picnômetro .....	18
Figura 4 - Esquema simplificado do conjunto do peneiramento .....	19
Figura 5 - Esquema representativo do ensaio de sedimentação de solos .....	20
Figura 6 - Curva granulométrica típica .....	20
Figura 7 - Estados de consistência e seus limites.....	21
Figura 8 - Aparelho de Casagrande .....	21
Figura 9 - Ensaio do cilindro.....	22
Figura 10 - Tabela de classificação SUCS .....	23
Figura 11 - Curvas de compactação em função das energias aplicadas .....	25
Figura 12 - Curvaturas para diferentes tipos de solo.....	25
Figura 13 - Zona de cisalhamento.....	26
Figura 14 - Esquema do ensaio de cisalhamento direto.....	27
Figura 15 - Curva típica de adensamento .....	28
Figura 16 - Envoltória de Mohr obtida para ensaio de cisalhamento, considerando os critérios de tensão de ruptura.....	29
Figura 17 - Comportamento tensão-deformação em solos: (1) frágil; (2) plástico; (3) plástico com residual.....	31
Figura 18 - Curvas do comportamento da resistência drenada nas argilas: (A) Pré-adensado; (B) Normalmente adensado.....	33
Figura 19 - Superfície de ruptura planar genérica em uma barragem.....	36
Figura 20 - Comparativo entre reservatório cheio e esvaziado rapidamente .....	37
Figura 21 - Vista panorâmica da barragem correspondente aos solos S1 e S2.....	41
Figura 22 - Vista panorâmica do açude correspondente ao solo S3 .....	42
Figura 23 - Distribuição espacial das jazidas no mapa geológico de Alegrete/RS ....	42
Figura 24 - Coleta de solo .....	43
Figura 25 - Armazenagem das amostras de solo.....	43
Figura 26 - Coleta de coordenadas geográficas (a) e instalação do equipamento para medição (b) .....	44
Figura 27 - Destorroamento do solo seco ao ar .....	45
Figura 28 - Fração retida na peneira 4,8 mm, dos solos S1 (a) e S2 (b).....	46

Figura 29 - Molde metálico utilizado na confecção dos corpos de prova .....	47
Figura 30 - Esquema da compactação estática com molde .....	47
Figura 31 - Etapa de execução da moldagem dos corpos de prova de solo .....	47
Figura 32 - Corpos de prova de solo protegidos para armazenagem .....	48
Figura 33 - Prensa de cisalhamento automatizada .....	48
Figura 34 - Seção 1: Perfil transversal de projeto .....	77
Figura 35 - Seção 2: Perfil transversal com maior ângulo à montante e maior altura total.....	78
Figura 36 – Seção 3: Perfil transversal com maior ângulo à jusante e maior altura total.....	78
Figura 37 - Seção 4: Perfil transversal com menor ângulo à jusante .....	79
Figura 38 - Seção 5: Perfil transversal com menor ângulo à montante.....	79
Figura 39 - Seção 6: Perfil transversal com menor ângulo à jusante e maior altura total.....	80

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores típicos de $\phi$ para argilas Normalmente Adensadas em função do Índice de Plasticidade.....	33
Tabela 2 - Inclinação de taludes (Vertical:Horizontal) .....	34
Tabela 3 - Fatores de segurança de taludes .....	35
Tabela 4 - Classificação do grau de saturação .....	38
Tabela 5 - Velocidades utilizadas em ensaios de cisalhamento direto.....	38
Tabela 6 - Pârametros de coesão e ângulo de atrito sob condição saturada (ensaio inundado) .....	39
Tabela 7 - Resultados de ensaios de caracterização dos solos S1, S2 e S3.....	51
Tabela 8 - Parâmetros de compactação dos S1, S2 e S3.....	52
Tabela 9 - Parâmetros de permeabilidade em solos sob energia Normal .....	52
Tabela 10 - Tensões normais vs. Tensões cisalhantes máximas – solo S1 sob energia Normal.....	58
Tabela 11 - Tensões normais vs. tensões cisalhantes máximas – Solo S2 sob energia Normal.....	60
Tabela 12 - Tensões normais vs. tensões cisalhantes máximas – solo S3 sob energia Normal.....	63
Tabela 13 - Tensões normais vs. tensões cisalhantes máximas – solo S1 sob energia Modificada .....	66
Tabela 14 - Tensões normais vs. tensões cisalhantes máximas – solo S2 sob energia Modificada .....	68
Tabela 15 - Tensões normais vs. tensões cisalhantes máximas – solo S3 sob energia Modificada .....	71
Tabela 16 - Parâmetros de resistência ao cisalhamento para os solos S1, S2 e S3	72
Tabela 17 - Correlação dos valores de IP e $\phi$ .....	73
Tabela 18 - Condição de saturação dos corpos de prova de solos submetidos ao ensaio de cisalhamento direto .....	74
Tabela 19 - Peso específico natural e saturado dos solos S1, S2 e S3 .....	76
Tabela 20 - Resultados dos fatores de segurança da análise de estabilidade de taludes.....	81

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
1.1	Objetivos .....	13
1.2	Justificativa.....	13
1.3	Escopo do trabalho .....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
2.1	Barragens geotécnicas.....	16
2.2	Estudos geotécnicos .....	17
2.3	Compactação de solos.....	24
2.4	Mecanismos de ruptura .....	26
2.5	Movimentação de massa .....	26
2.6	Resistência ao cisalhamento dos solos.....	27
2.7	Estabilidade de taludes em barragens .....	34
2.8	Trabalhos relacionados .....	38
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>40</b>
3.1	Características das áreas do estudo .....	40
3.2	Coleta de solo .....	43
3.3	Levantamento topográfico dos barramentos .....	44
3.4	Compilação de dados de caracterização e compactação dos solos .....	45
3.5	Preparação de corpos de prova para os ensaios de resistência .....	45
3.6	Ensaio de resistência ao cisalhamento .....	48
3.7	Simulação de estabilidade dos taludes .....	49
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>50</b>
4.1	Ensaio de caracterização geotécnica e classificação dos solos.....	50
4.2	Resultados de ensaios de compactação e permeabilidade .....	51
4.3	Ensaio de cisalhamento direto .....	52
4.3.1	Fase adensamento .....	53
4.3.2	Fase cisalhamento.....	56
4.3.3	Resumo dos parâmetros obtidos nos ensaios de cisalhamento direto ..	72
4.3.4	Verificação da saturação .....	73
4.4	Análise de estabilidade de taludes .....	76

<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES</b> .....	<b>83</b>
5.1	Conclusões.....	83
5.2	Sugestões para pesquisas futuras .....	84
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>85</b>
	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>93</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A água é imprescindível para as atividades humanas e seu uso está limitado à qualidade para o consumo e quantidade, caracterizada pela disponibilidade compatível com o ambiente natural de cada região (CIGB, 2008a, p. 7).

A concepção de reservatórios artificiais foi o recurso criado para auxiliar na gestão hídrica. Há ruínas arqueológicas que comprovam que as civilizações utilizam-se de barragens ao longo dos últimos 5 mil anos, com muitas delas observadas ainda condições de operação (CIGB, 2008b, p. 4).

Sendo assim, estão entre as primeiras obras do homem e, de acordo com Matos et al. (2012, p. 9), pela facilidade construtiva com equipamentos simples e material natural, as barragens de terra são as mais antigas de que se tem conhecimento. No Registro Mundial de Barragens consta que o principal tipo é de terra, com 43,7% do total mundial (CIGB, 2008a, p. 29).

Reconhecido como determinante no desenvolvimento dos povos, com papel econômico e social importante em todo mundo, as barragens são um meio de fornecimento de água para uso doméstico, industrial e agrícola, na geração energia elétrica e no controle de inundações (WWC, 2003, p. 8), tornando-se parte integral da infraestrutura das sociedades.

A irrigação é a função preponderante das barragens de uso único (48,6%) pois a agricultura irrigada é a atividade que mais demanda água no mundo (CIGB, 2008a, p. 29). Nas pequenas propriedades agrícolas, a construção de açudes tem sido estimulada para a possibilitar o aumento de produtividade do plantio (MATOS et al., 2012, p. 9).

Ao longo dos anos, houve a implantação constante de barramentos para a segurança hídrica, proporcional ao crescimento demográfico, e também a modernização das técnicas de construção (CIGB, 2008b, p. 2).

Contraditoriamente, estão associadas às barragens os potenciais riscos reponsáveis por acidentes com danos significativos por rompimento ou mal funcionamento. Estima-se a existência de mais de 300 mil dessas estruturas no Brasil, de todos os tamanhos e tipos e que, somente no ano de 2004, 400 tenham entrado em colapso (MENESCAL et al., 2009, p. 3).

Similar ao contexto supracitado, o município de Alegrete/RS tem a sua economia baseada, principalmente, na agricultura irrigável, sendo de extrema

importância o uso de reservatórios de barragens e açudes de terra. Isso implica atenção especial quanto à segurança e as condições geotécnicas dos empreendimentos durante o seu processo construtivo, evitando problemas de operação e/ou rompimento dos barramentos.

## **1.1 Objetivos**

O presente trabalho objetiva estudar o comportamento da resistência ao cisalhamento de três solos finos distintos, oriundos do município de Alegrete/RS, com intuito de visar a edificação de barramentos de açudes e barragens de pequeno porte.

Como objetivos específicos, pretende-se:

- Conhecer as características geotécnicas de três solos procedentes do município de Alegrete/RS, comumente utilizados em edificações de reservatórios.
- Estudar o efeito do incremento de energia de compactação nos parâmetros de resistência dos solos.
- Verificar se o comportamento mecânico de barragens de pequeno porte, já existentes na cidade de Alegrete/RS, é favorável à segurança contra ruptura em função dos materiais naturais que os constituem.

## **1.2 Justificativa**

Na área rural do município de Alegrete/RS, devido à atividade agrícola, a construção de barragens e açudes de terra de pequeno porte tem sido cada vez mais estimulada, visando assim, a obtenção de aumentos na produtividade. No entanto, é comum encontrar em várias propriedades agrícolas, barragens construídas sem qualquer dimensionamento técnico. Na maioria das vezes, estas são construídas sem obedecer a itens básicos de segurança. Isto acontece, em grande parte, com o propósito de reduzir custos.

Conhecer as propriedades geotécnicas dos solos utilizados na construção de barramentos, resulta indispensável a fim de garantir a estabilidade e segurança de barragens e açudes.

É relevante destacar que o Brasil, em 20 de setembro de 2010, trouxe à sua legislação a Lei Federal nº 12.334 que estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Essa lei concebe vários instrumentos para gestão e análise da confiabilidade das estruturas existentes para retenção de água ou disposição de rejeitos, como por exemplo, algumas resoluções que foram instituídas para disciplinar esses interesses.

Para o ano 2016, a Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Rio Grande do Sul (SEMA) programou, conforme as diretrizes da PNSB, um levantamento para classificação do nível de riscos (CIGANA, 2015, não paginado). No domínio do estado, representado pelo Departamento de Recursos Hídricos (DRH), somam-se mais de cinco mil barragens, das quais, após classificação, apenas parte delas deverá ser fiscalizada de acordo com o risco (GOMES, 2016, não paginado). Cabe citar que, segundo a ANA (2016, p. 28), o Rio Grande do Sul é o segundo estado com maior número de barragens cadastradas do país.

No mesmo período, foi assinado o Decreto Estadual nº 52.931 com medidas simplificadoras da burocracia na área de irrigação, tais como para construção de reservatórios artificiais ou regularização dos empreendimentos prontos e determinação de plano de segurança de barragens e de ação de emergências, para os de porte maior (SEMA, 2016, não paginado).

Mencionada as informações supracitadas, considera-se o habitual abastecimento para fins agrícolas e a expansão do número de barragens de terra, as quais merecem um controle técnico maior pois, segundo Pagnossin (2015, p. 14) há registros de rompimento, desmoronamento e infiltração em açudes na região dos Pampas.

Diante dos fatores mencionados, a importância dessa pesquisa é conhecer o comportamento da resistência ao cisalhamento de três solos finos, caracterizados pelos seus aproveitamentos na edificação de barramentos de açudes e barragens.

### 1.3 Escopo do trabalho

O desenvolvimento deste trabalho está disposto em capítulos, que apresentam a seguinte organização:

O presente Capítulo (**Introdução**) contextualiza o tema, apresenta os objetivos a serem alcançados e a justificativa do estudo, bem como sua estrutura.

No Capítulo 2 (**Revisão da literatura**) são abordados os conceitos teóricos que embasarão esta investigação, mais especificamente sobre assuntos relacionados à cisalhamento dos solos e análise de estabilidade de taludes.

No Capítulo 3 (**Metodologia**) são determinados os materiais utilizados e critérios necessários na condução das etapas e procedimentos dessa pesquisa.

No Capítulo 4 (**Apresentação e análise dos resultados**) são processados os dados provenientes de ensaios experimentais e levantamentos feitos em campo, feita a apresentação bem como a interpretação dos resultados obtidos.

No Capítulo 5 (**Considerações finais e sugestões**) são expostas a síntese deste estudo e recomendações para trabalhos futuros.

No Capítulo 6 (**Referências**) estão citadas todas as obras consultadas ao longo da elaboração deste trabalho.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Essa revisão compila alguns dos estudos existentes, relevantes para o desenvolvimento desta investigação e melhor compreensão deste trabalho.

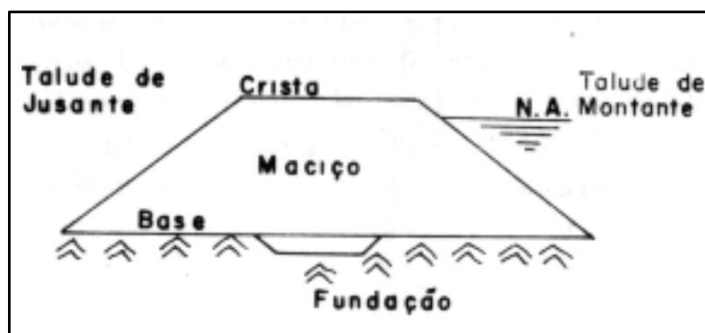
### 2.1 Barragens geotécnicas

As barragens geotécnicas são obras de terra que servem como obstáculos artificiais à um escoamento natural, construídas transversalmente a um curso d'água, formando um reservatório de acumulação ou ainda proporcionando elevação de nível à montante (BRASIL, 2002, p. 15; MATOS et al., 2012, p. 1; DAAE, 2005, p. 37). São usadas frequentemente em fazendas por conta de ser de fácil construção e baixo custo (COSTA, 2012, p. 24).

São construídas com materiais naturais compactados, como argila, silte ou areia (FAO, 2011, p. 24). Para os barramentos simples, são denominadas como homogêneas no caso de apresentar a predominância de um material que seja estanque ou zonadas, para aquelas heterogêneas onde pretende-se controlar as propriedades de estabilidade e permeabilidade do maciço (COSTA, 2012, p. 24; CAPUTO, 2008b, p. 460). É preferencial que os materiais provenham de jazidas de empréstimo no interior da área a ser inundada visando a manutenção da qualidade ambiental (BRASIL, 2002, p. 58).

Como forma típica, a estrutura das barragens de aterro apresenta seção trapezoidal, representada no plano vertical pela cota superior (crista), a face inclinada exposta que delimita a massa de solo (talude) e a cota inferior junto à superfície de fundação (pé), como apresenta a Figura 1.

Figura 1 - Elementos básicos de uma barragem



Fonte: Marangon (2004, p. 1)

Especificamente, pequenas barragens classificam-se de acordo com alturas máximas inferiores e volume represado, sendo o critério usual limitadas a 10 m, 3.000.000 m<sup>3</sup>, respectivamente (CIGB, 2008b, p. 5). Também, considera-se na prática aquelas até 100 km<sup>2</sup> (TOMAZ, 2013, p. 4).

Quanto as estruturas de acumulação não naturais de recursos hídricos para atividades de irrigação, a FEPAM (2014, não paginado) define açudes como sendo para “águas freáticas, pluviais diretamente incidentes ou oriundas de desvio de parte da vazão de curso hídrico” enquanto barragens são “localizadas no leito do curso hídrico superficial, com a área alagada atingindo área de preservação permanente (APP)”.

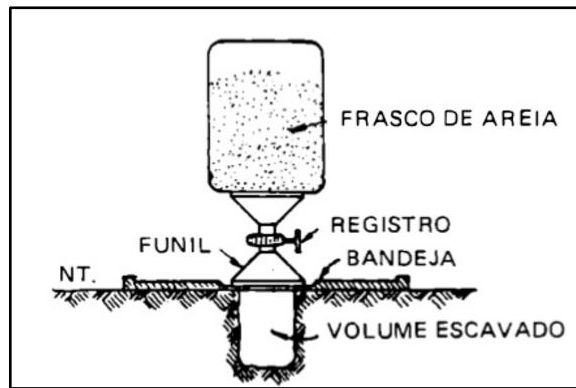
## **2.2 Estudos geotécnicos**

Conforme Matos et al. (2012, p. 30), em função de sua menor complexidade, alguns estudos mínimos para barragens de terra são importantes para caracterização e reconhecimento do comportamento do solo a ser trabalhado.

Algumas propriedades físicas básicas são necessárias para correlacionar com diversos outros parâmetros, como por exemplo, o peso específico que são os sólidos contidos em um volume de terra e o teor de úmidade, que é a proporção entre o peso da água e do solo, os quais podem expressar o arranjo das fases sólidas, líquidas e gasosas.

Segundo Costa (2012, p. 182), o peso específico pode ser determinado em condições naturais de campo pelo método do frasco de areia (Figura 2), através da instalação de um frasco plástico e funil metálico com registro aberto, escoando areia seca de peso específico padronizado, em um orifício de paredes igual a 15 cm perfurado com gabarito circular. A diferença de massas inicial do conjunto rosqueável com areia comparado com a introduzida no solo é o peso específico aparente *in situ*.

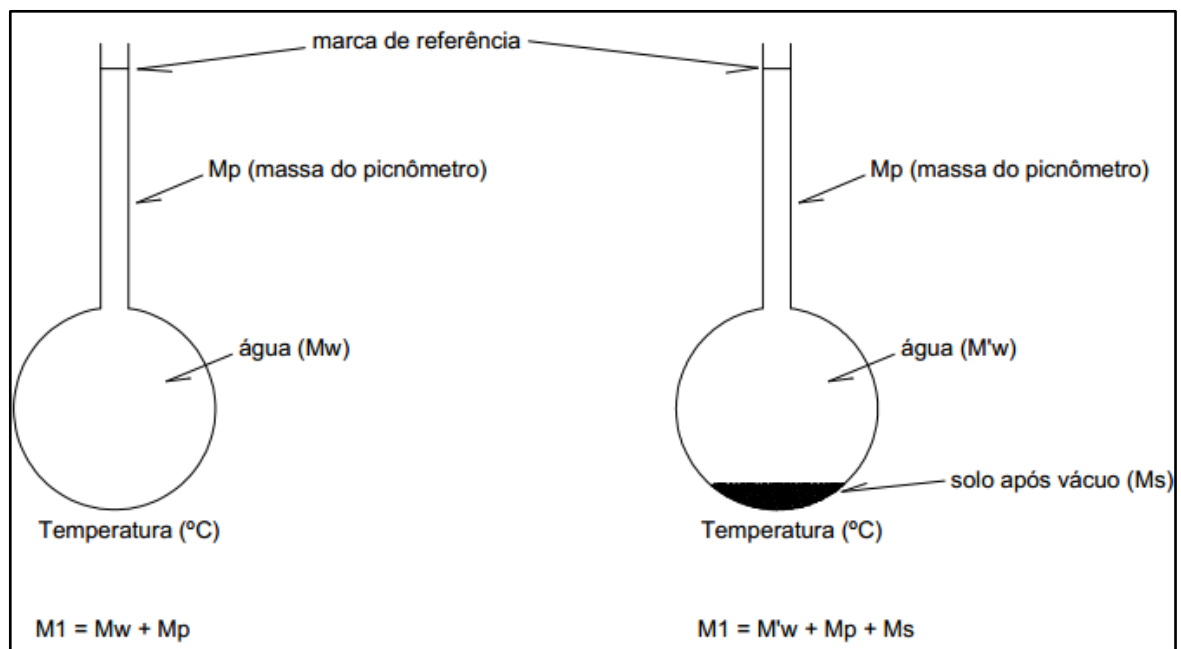
Figura 2 - Ensaio de frasco de areia



Fonte: Caputo (2008a, p. 40)

O peso específico real pode ser determinado pelo método do picnômetro (Figura 3). O ensaio é realizado nesse tipo de recipiente, onde é colocada certa quantidade de solo e água destilada, succionado com bomba a vácuo e fervido o sistema para retirada de ar. Esse conteúdo é levado a secagem para obtenção de solo seco e comparado com um picnômetro de referência, apenas com água destilada, sendo o peso do grãos igual à água deslocada pelo volume dos sólidos (FIORI, 2009, p. 36)

Figura 3 - Método do picnômetro



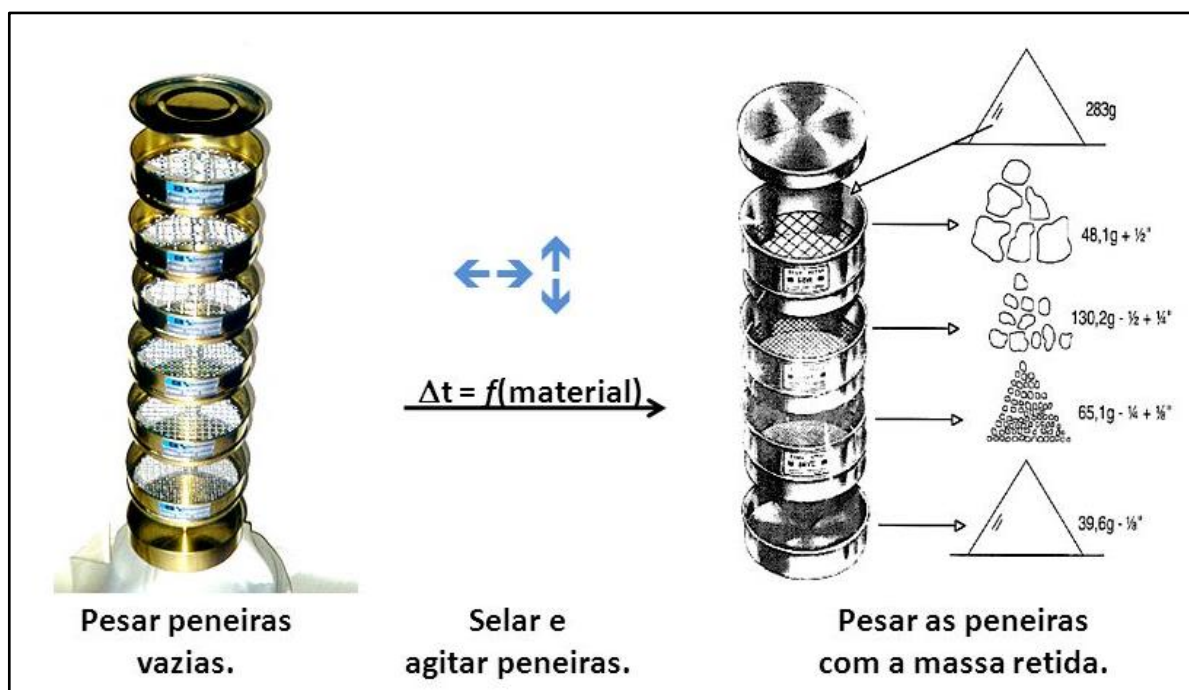
Fonte: Carvalho (2011, não paginado)

O teor de úmidade é condicionado à própria quantidade de água do solo úmido e pode ser medido pelo método da estufa, onde realiza-se a secagem de amostras e verificação da diferença das massas úmida e seca (FIORI, 2009, p. 35).

Há também a granulometria, que é utilizada para determinar a faixa de tamanho das partículas e depende de ensaios de peneiramento e sedimentação (DAS, 2007, p. 22).

O peneiramento fraciona em porcentagens um certo volume total de material pela retenção cumulativa desse em um conjunto de peneiras com malhas de aberturas diferentes (CRAIG, 2001, p. 5), como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Esquema simplificado do conjunto do peneiramento

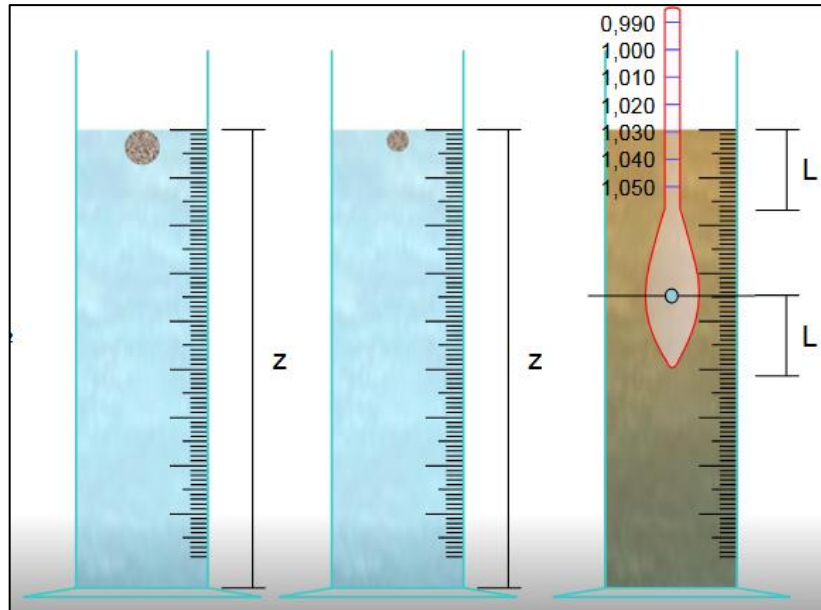


Fonte: Souza (2013, p. 19)

Já a sedimentação (Figura 5), baseada na Lei de Stokes, relaciona a velocidade de decantação das partículas finas do solo a partir de sua dispersão em água (DAS, 2007, p. 23).



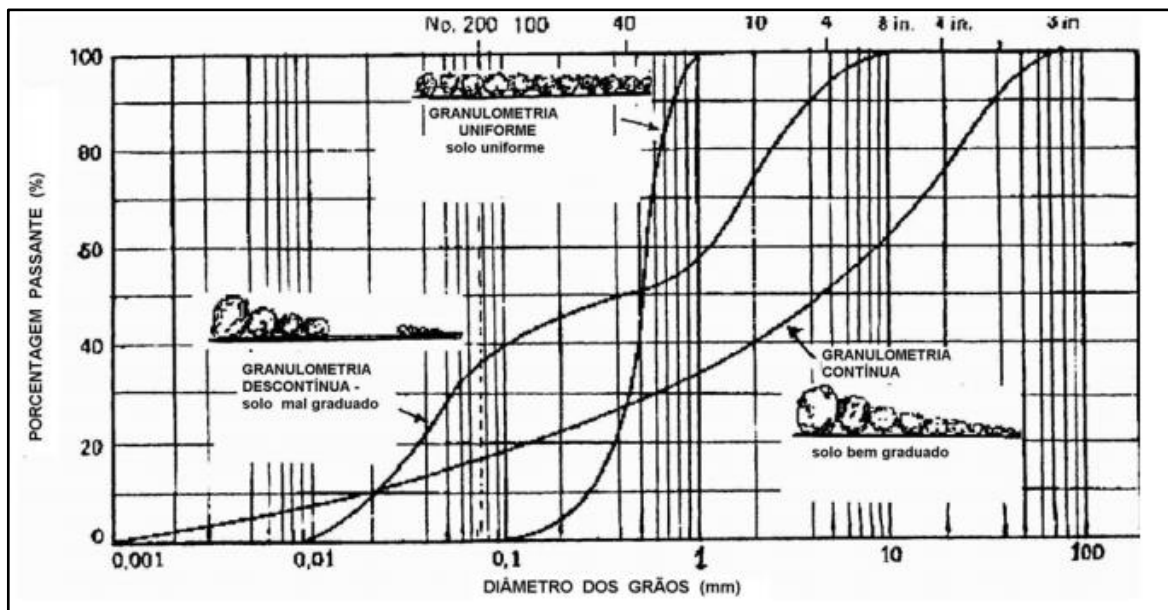
Figura 5 - Esquema representativo do ensaio de sedimentação de solos



Fonte: Roza (2006, p. 23)

Esses dados são colocados em um diagrama de escala logarítmica conhecido como curva de distribuição granulométrica, onde se pode avaliar qual a predominância de diâmetros dos grãos (DAS, 2007, p. 28), como apresentado na Figura 6.

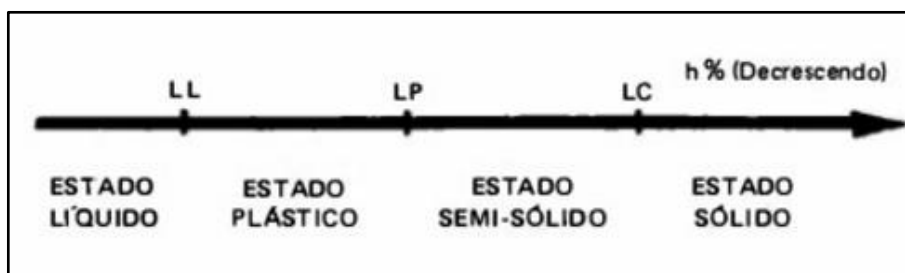
Figura 6 - Curva granulométrica típica



Fonte: Bastos ([20--]b, não paginado)

Além disso, o comportamento dos solos pode ser dividido em quatro estados básicos: sólido, semi-sólido, plástico e líquido, como mostra a Figura 7. De interesse para as obras de terra, tratam-se a variação de umidade que proporciona a transição entre os estados semi-sólido para o plástico (limite de plasticidade) e do plástico para o líquido (limite de liquidez). Esses intervalos são conhecidos como limites de Atterberg ou índices de consistência (CAPUTO, 2008a, p. 53).

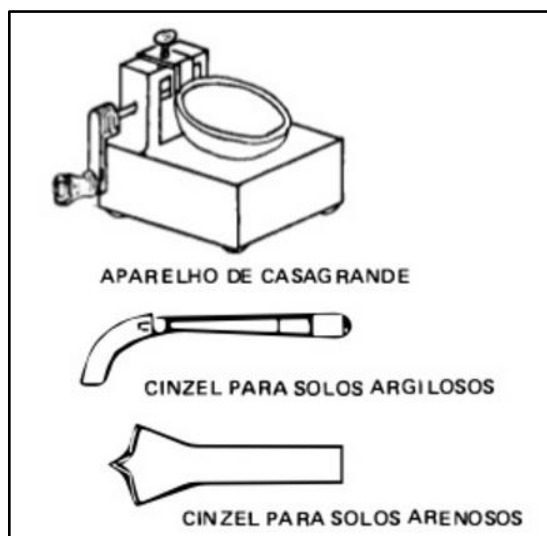
Figura 7 - Estados de consistência e seus limites



Fonte: Caputo (2008a, p. 53)

A determinação do limite de liquidez (LL) utiliza o aparelho de Casagrande (Figura 8) e consiste em uma concha de latão que recebe uma pasta de solo, marcada com sulco central por cinzel, e é golpeado sobre a base de borracha rígida operado por manivela. O teor de umidade necessário para fechar essa abertura é contabilizado em golpes (DAS, 2007, p. 52).

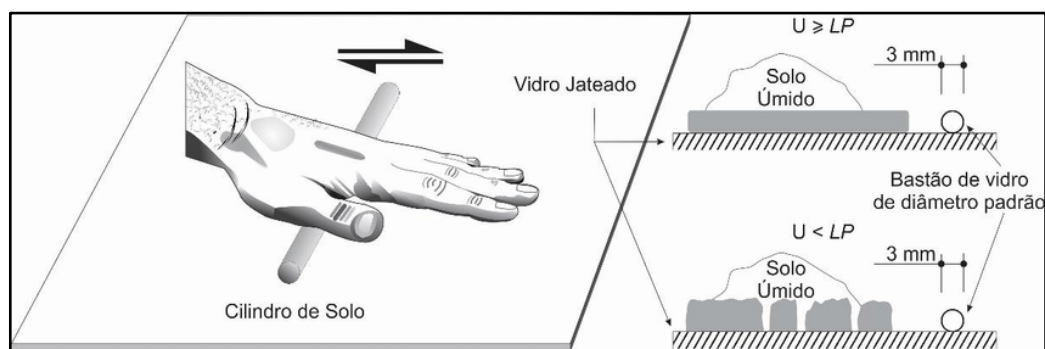
Figura 8 - Aparelho de Casagrande



Fonte: Fiori (2009, p. 51)

O limite de plasticidade (LP) é o ponto mais inferior do intervalo plástico, identificado quando o solo começa a fraturar, e o ensaio para sua determinação baseia-se no teor de úmidade que permita o rolamento manual do solo sobre uma placa de vidro fosca até o comprimento e espessura de um cilindro padronizado (DAS, 2007, p. 55), o que se nota na Figura 9.

Figura 9 - Ensaio do cilindro

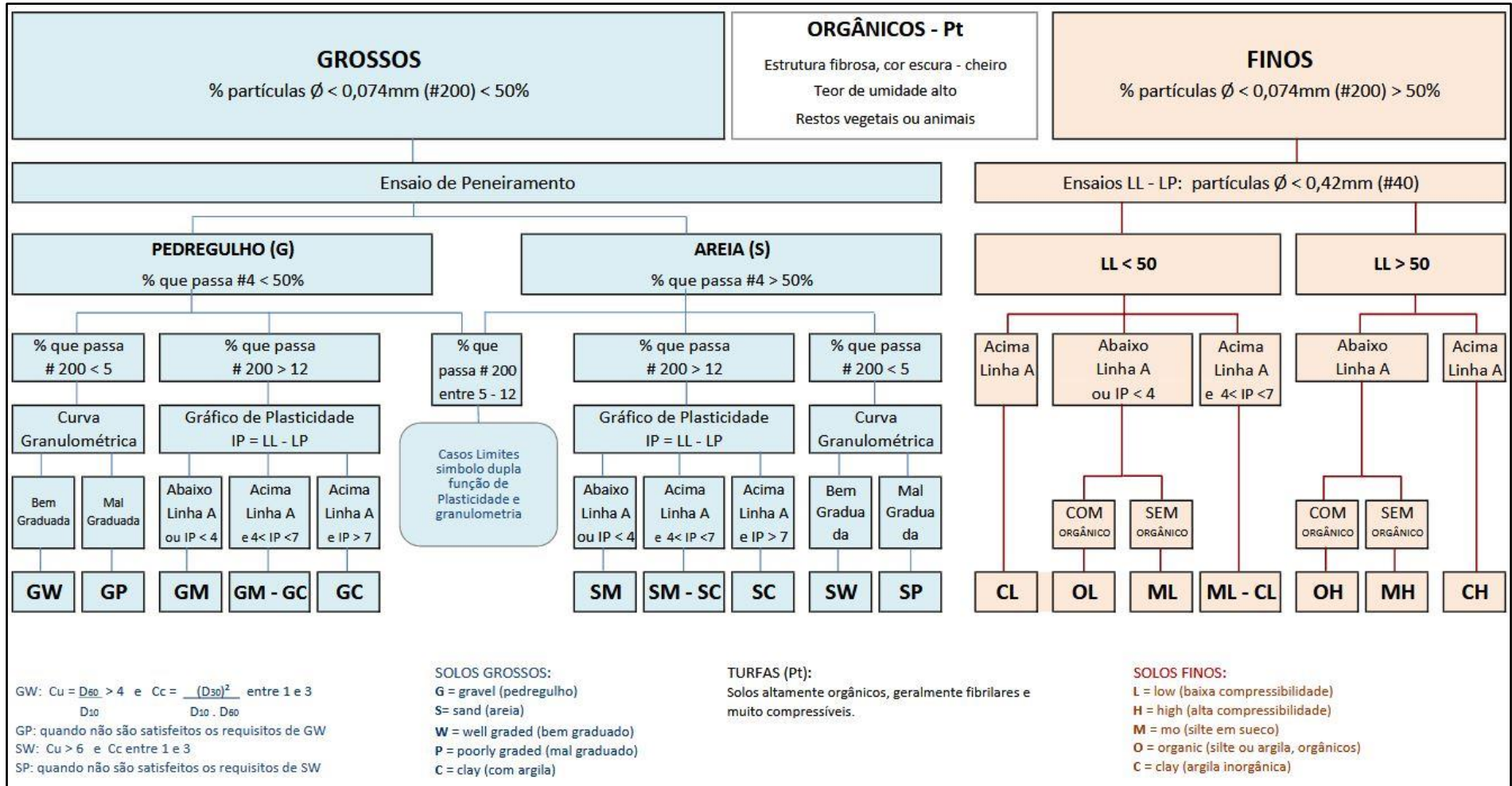


Fonte: Molina (2017, p. 70)

O índice de plasticidade (IP) é a diferença entre o limite de liquidez e de plasticidade e é importante para classificação de solos finos (DAS, 2007, p. 57).

Com base em todos esses ensaios de caracterização, pode-se realizar a classificação dos solos de acordo do ponto de vista da engenharia. Há diversos sistemas utilizados, e segundo FAO (2011, p. 23), para o caso de barragens de terra o mais adequado é o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) que assimila os materiais em grupos, como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Tabela de classificação SUCS



Fonte: Santos (2013, não paginado)

### 2.3 Compactação de solos

A forma mais rápida de conformar um solo natural em um maciço terroso estável é por meio da compactação. Esse é um processo, geralmente mecânico, de compressão que visa reduzir o volume de vazios por expulsão do ar retido entre os grãos (MASSAD, 2010, p. 148). Com a homogeneização do material ocorre melhoria nas propriedades de permeabilidade, reduz recalques e absorção de água. Além disso, a densificação aumenta o peso específico melhorando a capacidade resistente do aterro (CAPUTO, 2008a, p. 172).

Ao interferir na estrutura trifásica (grãos, água e ar), um mesmo solo pode possuir comportamento distinto quando houver variação do teor de umidade. Em um primeiro momento, quando há pouca água, as partículas de solo fino sofrem cimentação e tendem aglutinar-se (estrutura flokulada), favorecendo que os grãos atuem efetivamente e contribuam na absorção de carregamentos (CRAIG, 2011, p. 3). Ao passo em que vai sendo molhado, o efeito é oposto, ou seja, há um afastamento das partículas pelo excesso de água entre elas tornando a massa amolecida (estrutura dispersa) e todo carregamento transferido é distribuído entre as partículas sólidas e líquidas, elevando a pressão neutra e levando ao cisalhamento até o efeito conhecido como borrachudo (CRAIG, 2011, p. 3;).

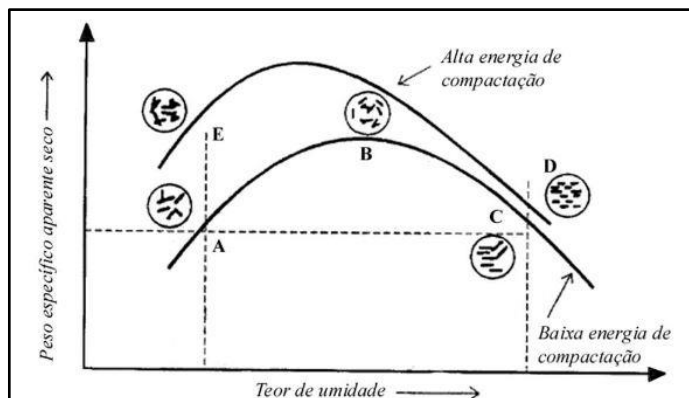
Condicionado às variações do conteúdo de água, Proctor compatibilizou o maior valor de peso específico com o menor valor de umidade com um método que tenta aproximar-se das condições de execução em campo, simulando por impacto a energia imposta pelos equipamentos de terraplanagem que, ao longo dos anos, alcançaram maiores compacidades (CAPUTO, 2008a, p. 173; MASSAD, 2010 p. 148).

Sendo assim, as energias mundialmente empregadas para a compactação dos solos são a Normal, a Intermediária e a Modificada, e diferem-se pelo uso do soquete empregado, número de camadas e quantidade de golpes aplicados ao solo (MASSAD, 2010, p. 152).

O ensaio de laboratório consiste na determinação de vários pontos que formem um diagrama, de formato hiperbólico, que expressa o peso específico seco conforme a variação do teor de umidade. Quando há corpos de prova suficientes para controlar o comportamento da compactação, a curva típica tem como característica dois ramos (seco e úmido) e sua transição é indicada pela umidade ótima onde o

peso específico é máximo (CAPUTO, 2008a, p. 175). A Figura 11 indica o resultado genérico de um ensaio de compactação e o aspecto do solo no interior da massa compactada.

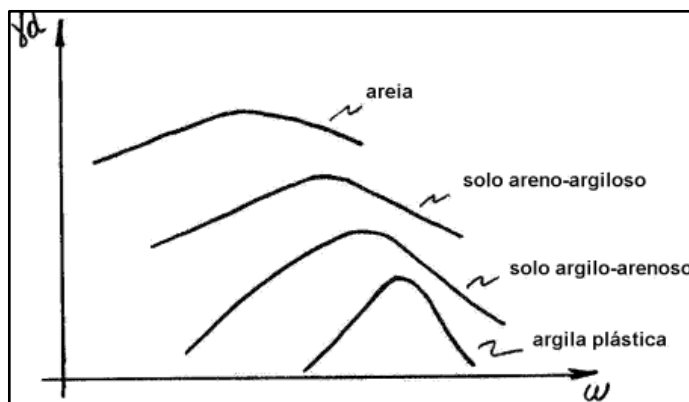
Figura 11 - Curvas de compactação em função das energias aplicadas



Fonte: Lima et al. (2003, p. 304)

Também há de se considerar que uma mesma energia de compactação provoca diferente comportamento em relação ao tipo de solo, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Curvaturas para diferentes tipos de solo



Fonte: Bastos ([20--]a, não paginado)

Fiori (2015, p. 13) declara que “uma massa de solo pode ser descrita por suas propriedades físicas, como peso específico, teor de umidade, índices de vazios, entre outras”. Por isso, considera que índices físicos expressam matematicamente, através de relações, condições do solo no estado em que se encontra. Logo, diversas propriedades podem ser correlacionados em razão das grandezas obtidas através do ensaio de compactação.

## 2.4 Mecanismos de ruptura

A ruptura é conceituada como a perda de integridade da estrutura, que ocorre quando a resistência do solo se torna inferior às forças instabilizantes. Uma barragem com execução inadequada, que colapsa total ou parcialmente, libera grande energia e volume de material resultando em impactos danosos às áreas adjacentes, provocando prejuízos econômicos, sociais, ambientais e humanos (BRASIL, 2002, p. 16).

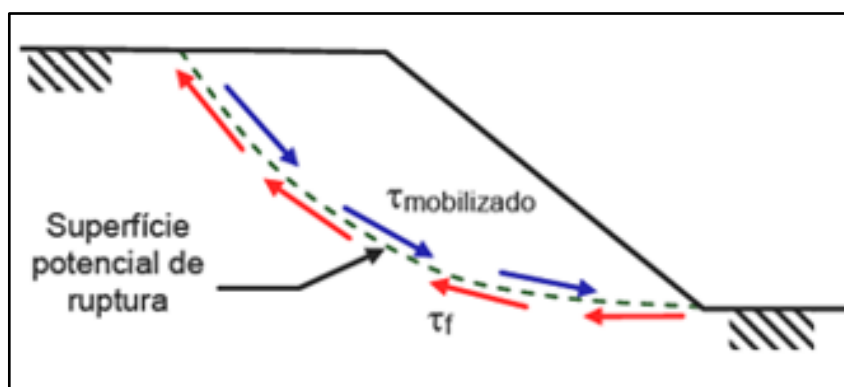
Conforme Gusmão (2006, p. 399), em barragens de terra “os mecanismos de ruptura mais frequentes são transbordamento, erosão interna no corpo e fundação da barragem, deslizamento de taludes e fissuramento”.

## 2.5 Movimentação de massa

As movimentações de massa são geradas pelos mecanismos de ruptura. São causadas pela ação de forças externas na remoção súbita de uma quantidade considerável de solo ou pelas internas, por erosão através da percolação de água e aumento do carregamento de partículas de material do corpo e, principalmente, predispostas pela geometria do talude e natureza do material (GERSCOVICH, 2012, p. 17).

Essa falha ocorre em uma zona de cisalhamento (Figura 13), onde forma-se preferencialmente e com configuração bem definida a chamada superfície de ruptura e seu comportamento depende do tipo de material a que está associado.

Figura 13 - Zona de cisalhamento



Fonte: Gerscovich (2012, p. 31).

No caso de barragens de terra, ocorre escorregamento com média velocidade, com pequenos a grandes volumes de material e forma-se geralmente uma geometria circular (solos espessos homogêneos), ocorrendo em formato tridimensional, com forma cilíndrica ou de colher.

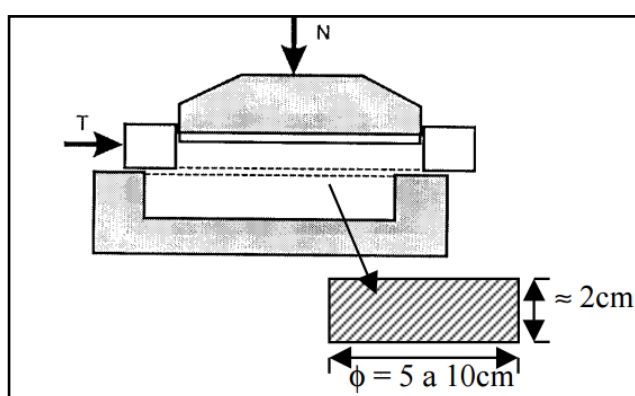
## 2.6 Resistência ao cisalhamento dos solos

De acordo com o que declara Fiori (2015, pg. 105), as forças no solo podem ter qualquer direção relativamente ao plano em que atuam: se perpendicularmente é dita normal, se paralelamente, é chamada de cisalhante. O critério de ruptura de Mohr-Coulomb estabelece que um material se rompe por causa das combinações das tensões normal e de cisalhamento.

O fenômeno de cisalhamento dos solos é caracterizado pelo ângulo de atrito interno ( $\phi$ ) e coesão ( $c$ ). A resistência ao cisalhamento é predominantemente dependente do contato causado entre as partículas devido à tensão normal. Isso ocorre quando se verifica a tendência ao movimento por ação de forças, sendo o atrito uma força resistente que se opõe às forças provocadoras do deslocamento. Já a coesão é compreendida pela cimentação ou ligações eletroquímicas entre as partículas. Logo, os solos como material de construção dependem, essencialmente, desses dois parâmetros.

Para definição dos parâmetros de ângulo de atrito e coesão, pode ser utilizado o ensaio de cisalhamento direto (Figura 14), que trata-se do mais antigo e simples para tal objetivo. É baseado no critério de Coulomb em que uma reta relaciona as e tensões normais e tangenciais aplicadas ao material ensaiado.

Figura 14 - Esquema do ensaio de cisalhamento direto



Fonte: Pinto (2006), adaptado pelo autor.

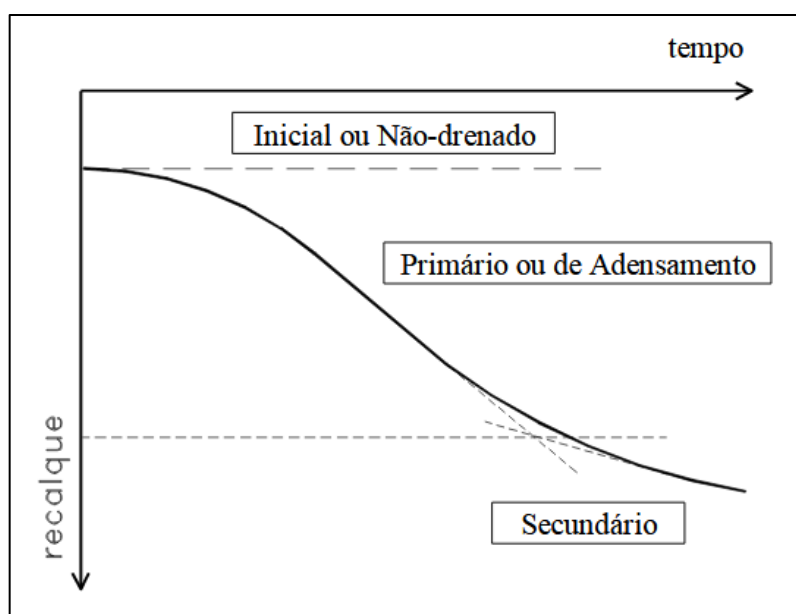


O ensaio de cisalhamento direto consiste em duas etapas: adensamento e cisalhamento. Inicialmente, o corpo de prova de solo é colocado entre pedras porosas e confinado em uma caixa metálica, partida horizontalmente à meia altura. É então aplicada a força normal (N) a fim de provocar o adensamento pela drenagem da água eventualmente contida no solo. Se os poros do material estiverem cheios de água, pequena ou nenhuma redução deverá ocorrer imediatamente, mas sim ao longo do tempo. Isso caracteriza a condição consolidado-drenado (CD) em que é realizado o ensaio, por permitir a drenagem livre de forma lenta.

A Teoria do Adensamento propõe que, a deformação sofrida no volume do corpo de prova, para uma determinada carga aplicada, inclui três estágios: 1) compressão inicial, predominantemente por carregamento prévio; 2) adensamento primário, resultante da poropressão excessiva que se transfere gradualmente em tensão efetiva em função da expulsão da água dos poros; 3) compressão secundária ocorrida após a dissipação do excesso de poropressão, conseqüente do reajuste plástico da estrutura do solo. O adensamento gera uma curva altura do corpo de prova vs. tempo, baseado no método de Taylor.

A Figura 15 mostra a curva de adensamento típica e os estágios consolidação.

Figura 15 - Curva típica de adensamento



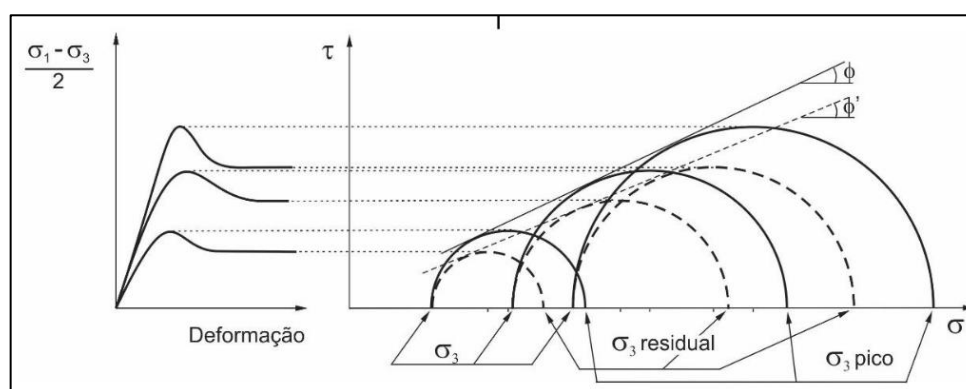
Fonte: Gerscovich (2011a, p. 26)

A etapa de adensamento em um corpo de prova deve ser encerrada quando as deformações verticais se mantêm aproximadamente constantes, pois deve-se garantir, no mínimo, o adensamento primário. Seguidamente, é aplicada gradualmente uma força tangencial ( $T$ ), causando um deslocamento horizontal progressivo da parte superior da caixa em relação à inferior, que se mantém fixa. É importante salientar que esse plano de ruptura é imposto e não é necessariamente o mais fraco no corpo de prova. A fase de cisalhamento deve ser lenta, com baixas velocidades aplicadas e de valores constantes, para favorecer a dissipação das pressões neutras.

Ocorrem variações horizontais ( $\delta h$ ) e verticais ( $\delta v$ ) no corpo de prova, ao longo do cisalhamento, os quais são detectadas por deflectômetros (LVDTs) instalados. Com o registros dessas deformações, consegue-se avaliar o comportamento volumétrico, que pode ser de contração ou expansão.

Além disso, os ensaios são realizados em diferentes níveis de tensões normais, onde para cada uma, há um novo critério de ruptura que o descreve, e conseqüentemente, as tensões cisalhantes associadas. Esse aspecto está mostrado na Figura 16.

Figura 16 - Envoltória de Mohr obtida para ensaio de cisalhamento, considerando os critérios de tensão de ruptura



Fonte: Molina (2017, p. 94)

A envoltória de ruptura dos solos é não linear, mas para uma faixa limitada de tensões, pode ser razoavelmente ajustada por uma reta (MOLINA, 2017). Essa reta descreve o critério de Mohr-Coulomb como uma reta envelope que tangencia o círculo de Mohr (representando as condições críticas de combinação dos esforços normais). É conhecida como envoltória de ruptura e descrita pela Equação 1.

$$\tau = c + \sigma \cdot \text{tg}\varphi \quad (1)$$

Onde:

$\tau$  = pico do esforço cisalhante

$\varphi$  = ângulo de atrito interno entre duas superfícies

$c$  = coesão

$\sigma$  = componente do esforço que atua perpendicularmente ao plano de ruptura

Esse mesmo critério é também utilizado para representar a resistência residual ao esforço, isto é, o esforço mínimo oferecido pelo material após o pico de deformação. Percebe-se na Figura 16 que os ensaios são praticados até alcançarem o trecho residual, onde tendem à estabilização.

A definição das tensões normal e cisalhantes relacionadas às forças aplicadas no ensaio de cisalhamento direto, é feita pela divisão da força  $N$  pela área de aplicação dessa carga, da mesma forma que para  $T$  pela área do plano determinado para o cisalhamento. Em função da redução progressiva dessa área durante o ensaio, devido aos deslocamentos horizontais, Gerscovich (2011b, p. 31) recomenda que seja corrigida pela Equação 2:

$$A_c = A_0 - (\delta h \cdot L) \quad (2)$$

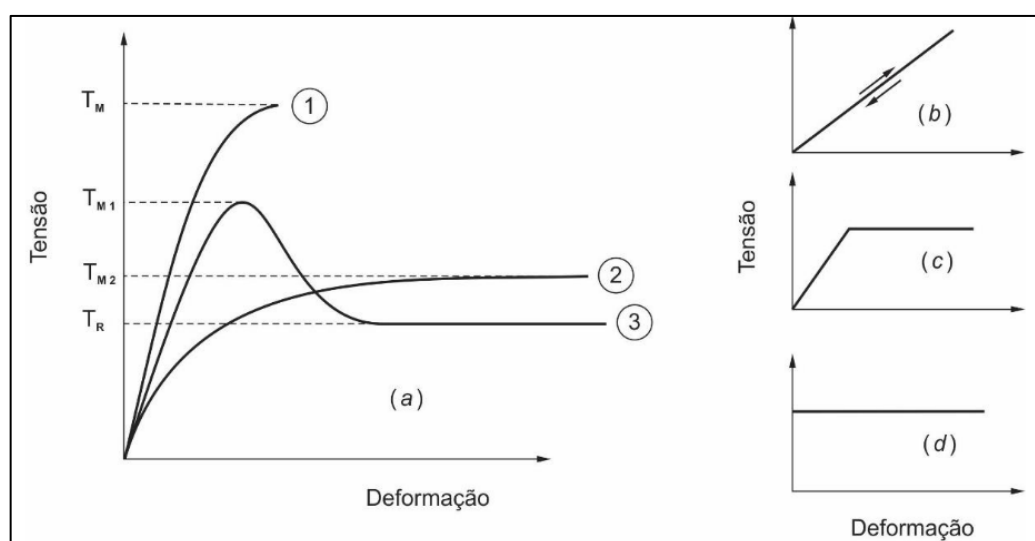
Para descrever uma envoltória de ruptura, relacionam-se as tensões de cisalhamento máximas e os pontos de tensões de no mínimo 3 carregamentos normais diferentes, ajustados à dispersão dos dados ao melhor tipo de tendência (linear), determinando-se as equações da reta a fim de obter os valores de ângulo de atrito interno e intercepto coesivo.

O ensaio de cisalhamento direto, por ser realizado em condição drenada, conseqüentemente, não permite medir as poropressões internas do corpo de prova. Portanto, as tensões medidas são as totais, embora essas sejam iguais as efetivas quando a poropressão é nula.

Além disso, é importante considerar o processo de ruptura dos solos, a qual é progressiva e caracteriza-se pelo excessivo movimento relativo entre as partículas, falhando no momento em que os acréscimos das deformações não são mais

suportados pelas tensões que atuam no plano. As teorias da plasticidade e da elasticidade explicam as deformações e rupturas provocadas pelas tensões nos solos. Sendo assim, a Figura 17 mostra os aspectos típicos das curvas dos solos submetidos à ruptura. Nela, percebe-se o caso (b) onde solo tem comportamento elástico quando a curva de descarregamento coincide com a de carregamento. Quando essa curva é uma reta, o comportamento do solo é elástico-linear. Porém, na maioria das vezes, o solo tem comportamento elástico-plástico, ou seja, se comporta de forma elástica até um certo valor da tensão, a partir do qual toda deformação não elástica permanece (c). Em certos casos, assume-se que o solo tem comportamento rígido plástico, ou seja, em qualquer nível de tensão decorrem deformações permanentes (d).

Figura 17 - Comportamento tensão-deformação em solos: (1) frágil; (2) plástico; (3) plástico com residual



Fonte: Molina (2017, p. 81)

Também nota-se na Figura 17 (a) três curvas que representam os seguintes casos de ruptura: 1) frágil; 2) plástica e 3) plástica com residual. No tipo frágil, o valor máximo da tensão de ruptura é bem definido, correspondendo ao que ocorre com os solos quebradiços. No tipo plástico, a curva cresce até um determinado valor em que a tensão passa ser praticamente constante, tendo sido a deformação excessiva e sem um valor característico para definir o ponto de ruptura, o que corresponde aos solos mais soltos. No terceiro tipo, a resistência cresce até um pico máximo para em seguida decrescer rapidamente até um valor constante (residual), a partir do qual as

deformações tendem estabilizar sem variação de tensão, caracterizando a ruptura dos solos firmes.

O comportamento das argilas é singular devido sua baixa permeabilidade (PINTO, 2006, p. 295). Por isso, é importante conhecer suas características de resistência quando submetida a carregamentos drenados, pois depende primordialmente do atrito entre as partículas e, conseqüentemente, das tensões efetivas, ainda que na maioria dos casos a água dos poros possa estar sobre pressão

As argilas em estado natural sempre apresentam um pré-adensamento (PA). Por esse motivo, o comportamento tensão-deformação de uma argila dependerá da situação relativa da tensão confinante perante a sua tensão de pré-adensamento. Sendo assim, para tensões acima da tensão de pré-adensamento, o solo está normalmente adensado (NA), e abaixo dessa tensão, está sobreadensado (SA), na tensão de ensaio.

Por esse motivo, as envoltórias de ruptura sofrem uma mudança em sua configuração e, conseqüentemente, na equação que as descrevem. Logo, as argilas NA podem ser ajustadas com uma reta passando pela origem, compreendendo apenas o ângulo de atrito interno efetivo (Equação 3), enquanto as argilas PA caracterizam-se pela Equação 1.

$$\tau = \sigma' \cdot \text{tg}\varphi' \quad (3)$$

É importante salientar que não deve-se confundir o intercepto coesivo com coesão, pois não tem significado físico, é apenas o coeficiente linear da reta que se ajustou à envoltória curvilínea representativa da resistência do solo. Pinto (2006) observa o intercepto de coesão é tanto maior quanto maior a tensão de PA, ou seja, para tensões baixas, o intercepto de coesão é elevado e o ângulo de atrito é pequeno enquanto para as tensões normais, o intercepto de coesão é menor e o ângulo de atrito é maior.

Sendo assim, para as argilas PA,  $\varphi'$  e  $c'$  são variáveis com o nível de tensões e para NA tem-se que  $\varphi'$  é menor quanto mais argiloso o solo. Logo, na Tabela 1 são apresentados alguns valores de ângulo de atrito interno sobre argilas NA, em função do índice de plasticidade.

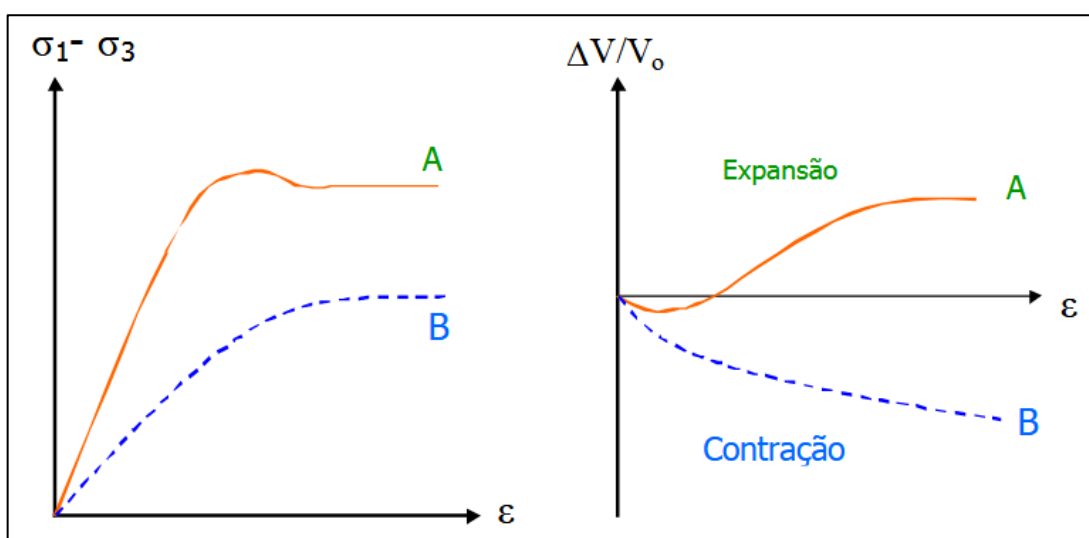
Tabela 1 - Valores típicos de  $\phi$  para argilas Normalmente Adensadas em função do Índice de Plasticidade

Índice de Plasticidade	Ângulo de atrito interno efetivo (°)	
	Geral	São Paulo
10	30 a 38	30 a 35
20	26 a 34	27 a 32
40	20 a 29	20 a 25
60	18 a 25	15 a 17

Fonte: Pinto (2006, p. 300)

Pelo mencionado, os comportamentos PA e NA tem comportamentos comuns aos mostrados na Figura 18, a qual identifica as argilas PA com nítido pico de resistência e maior rigidez em relação às argilas NA.

Figura 18 - Curvas do comportamento da resistência drenada nas argilas: (A) Pré-adensado; (B) Normalmente adensado



Fonte: Albuquerque (2003, pg. 20)

Também, nota-se na Figura 18, que durante o cisalhamento as argilas podem apresentar dois comportamentos de variação volumétrica: para PA (semelhante às areias densas), ocorrendo um aumento de volume ou redução, para NA (semelhante às areias fofas).

## 2.7 Estabilidade de taludes em barragens

Fiori (2015, p. 151) define talude como uma superfície inclinada que limita um maciço de terra e se apresenta como uma massa de solo submetida à três campos de forças, sendo elas devido ao peso dos materiais, ao escoamento da água e à resistência cisalhante. No estudo da estabilidade, entre outros fatores que o tornam bastante complexo, o efeito do equilíbrio dessas forças deve ser levado em consideração, pois enquanto o peso próprio soma-se e tende a movimentar o maciço, o cisalhamento atua de forma contrária, contendo os deslocamentos.

Para um talude artificial proporcionar estabilização do aterro da barragem, seu projeto e execução devem observar todos efeitos da estrutura. O talude de montante fica diretamente em contato com a água, porém o de jusante é o mais solicitado, pois se torna desfavorável em função das pressões neutras que podem se desenvolver pelo fluxo de percolação. Matos et al. (2012, p. 80) explica que deve-se conceber em projeto, o talude de montante com menor inclinação que o de jusante para, além de permitir maior estabilidade do aterro, devido ao decréscimo da componente horizontal da força da água (que tende a empurrar a barragem), proporciona menor infiltração.

Os taludes de montante e jusante estão expostos à diferentes aspectos físicos mas deverão atender as condições de equilíbrio para todos os níveis de reservatório e condições de operação (MARANGON, 2004, p. 17). Por isso, a declividade dessas superfícies é condicionada ao carregamento e ao tipo de material do maciço, sendo aconselhável que para as barragens de terra sejam mais abatidos e atendam, no mínimo, às inclinações usuais da Tabela 2.

Tabela 2 - Inclinação de taludes (Vertical:Horizontal)

<b>Material do Aterro</b>	<b>H ≤ 5,00 metros</b>
Solos Argilosos	Montante – 1:2,00
	Jusante – 1:1,75
Solos Arenosos	Montante – 1:2,25
	Jusante – 1:2,00
Areias e Cascalhos	Montante – 1:2,75
	Jusante – 1:2,25
Pedras de mão (barragens mistas)	Montante – 1:1,35
	Jusante – 1:1,3

Fonte: Carvalho (2011, não paginado), adaptado pelo autor

Existem ferramentas computacionais que empregam modelagem de elementos finitos para simular a ruptura hipotética de forma mais sofisticada e auxiliam com maior confiabilidade na utilização em barragens. A análise determinística adota o critério do fator de segurança (FS), que relaciona como atuam os esforços resistentes em relação aos instabilizantes. O Quadro 1 condiciona esse valor arbitrário com as possíveis condições de estabilidade.

Quadro 1 - Condições de estabilidade dos taludes

<b>Fator de segurança (FS)</b>	<b>Condição do Talude</b>
FS<1	Talude instável – não tem significado físico
FS=1	Limite de estabilidade – iminência de ruptura
FS>1	Talude estável

Fonte: Pereira (2013, p. 24)

Para cada um dos casos em que ocorrem alteração nas solicitações impostas ao barramento, são considerados como aceitáveis os valores contidos na Tabela 3.

Tabela 3 - Fatores de segurança de taludes

<b>Condições de carregamento</b>	<b>FS mínimo de segurança</b>	<b>Talude</b>
Percolação permanente com o reservatório na cota máxima normal	1,5	Jusante
Esvaziamento rápido *FS maiores podem ser necessários caso, ocorram rebaixamentos com uma relativa frequência durante a operação normal	de 1,2 a 1,3	Montante
Término da construção antes do enchimento do reservatório	de 1,25 a 1,3	Jusante e montante

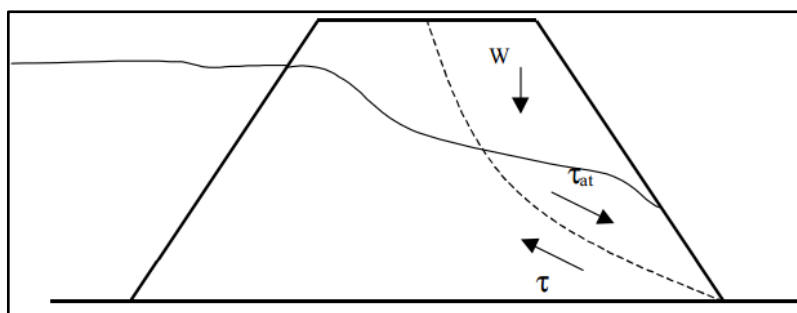
Fonte: Brasil (2002, p. 58), adaptado pelo autor

Nota-se que a condição mais crítica é a do reservatório cheio, sendo estabelecido como ideal o fator de segurança mínimo igual ou superior a 1,5 para o talude ser considerado estável (NBR 11.682, ANBT, 2009), o que já atende as demais situações.

A superfície crítica é de importante determinação para reconhecer a iminência da ruptura, em função do fator de segurança mínimo associado. A ruptura em uma barragem de terra ocorre de modo tridimensional, porém, para simplificação de análise, muitas obras geotécnicas podem ser tratadas em termos bidimensionais, como no caso do aterro de barragens (Figura 19).



Figura 19 - Superfície de ruptura planar genérica em uma barragem



Fonte: Bastos ([20--], não paginado)

Os softwares para resolução de problemas geotécnicos limitam-se aos métodos em que foram programados. Logo, é necessário conhecer qual o mais adequado para a entrada de dados e simulação com saídas de valores toleráveis. Alguns dos métodos de equilíbrio-limite estão organizados, em função de sua adequação, no Quadro 2.

Quadro 2 - Métodos de equilíbrio-limite

Método	Circular	Não Circular	Equilíbrio de Momentos	Equilíbrio de Forças
Talude infinito		x		x
Método das Cunhas		x		x
Fellenius	x	x	x	
Bishop	x	(x)	x	(x)
Bishop Simplificado	x	(x)	x	
Janbu Simplificado	(x)	x		x
Lowe e Karafiath	x	(x)		x
Spencer	x	(x)	x	x
Morgenstern e Price	x	x	x	x
Janbu Rigoroso	x	x	x	x
Fredlund e Krahn	x	x	x	x

Fonte: Fredlund e Krahn (1997) apud (PEREIRA, 2013)

Se tratando apenas das rupturas circulares, à que estão sujeitas as barragens de terra, exceto os métodos de taludes infinitos e método das cunhas são adequados para as análises.

Nos últimos 50 anos, os métodos das fatias descritos por Bishop e Janbu tem sido os mais utilizados por apresentar facilidade e rapidez nos cálculos (AGUILERA, 2009, p. 62) e se encontram nas ferramentas virtuais adequadas a essas análises (GEO-SLOPE, 2012). Porém, os métodos resultam em fatores de segurança diferentes em função de não adotarem as mesmas conceituações, incluindo sobre a distribuição interna dos esforços lamelares (SILVA, 2011, p. 17). Alguns são mais

simplificadores que outros, e por isso, geralmente tem-se um erro de 5% do Bishop em relação aos métodos mais rigorosos (conservadores), conforme afirma Aguilera (2009, p. 66).

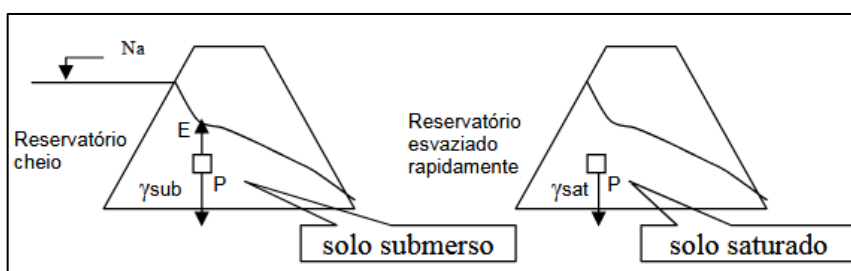
Considerando algumas simplificações feitas por Silva (2011, p. 10), as quais são usadas nas modelagens computacionais, em relação ao comportamento dos solos, assume-se como rígido-plástico perfeito e as equações de equilíbrio estático são válidas até a iminência da ruptura, desprezado o fato de esta ser evolutiva. O mesmo é feito para o fator de segurança, que é admitido como constante ao longo da superfície de ruptura, quando na realidade o processo é progressivo.

Além disso, segundo Fiori (2015, p. 1), as propriedades mecânicas podem variar de forma sensível com o tempo, método de análise e condições externas. Sendo assim, uma pequena alteração de seus valores pode influir consideravelmente na distribuição de esforços e na natureza do equilíbrio. Com relação à isso, as barragens de terra são submetidas à esforços diversos, desde sua construção até a operação.

Na maior parte do tempo, os barramentos estão constantemente em contato com a lâmina de água. Nessa situação, a água presente nos vazios está sob a ação da gravidade, portanto, as partículas estão sujeitas ao empuxo que atua sobre as mesmas (condição de submersão). Porém, caso ocorra um esvaziamento rápido do reservatório, os vazios continuam preenchidos por água, porém o empuxo deixa de existir (condição saturada). Essa segunda situação é considerada crítica, pois há um aumento do peso do solo pelo acréscimo do grau de saturação e consequente elevação da pressão neutra no interior do maciço, o que causa perda da coesão aparente e leva à redução dos níveis de pressão efetiva. Por isso, nesse momento a possibilidade de desabamento do talude de montante é a maior possível.

A Figura 20 faz um comparativo dos esforços atuantes em um elemento de solo submerso e saturado.

Figura 20 - Comparativo entre reservatório cheio e esvaziado rapidamente



Fonte: Almeida (2005, p. 30)

A fim de garantir o efeito da água que age no sentido de desestabilizar, ao reduzir as forças resistentes e aumentar as desencadeadoras do movimento, os ensaios de resistência devem ser realizados sob condição saturada (ALMEIDA, 2005, p. 30). A saturação é a relação do volume da água com os vazios contidos no solo (CAPUTO, 2008a, p. 43). A Tabela 4 expressa os limites de saturação, que vão desde 0% para um solo seco à 100% para um solo saturado.

Tabela 4 - Classificação do grau de saturação

<b>Grau de saturação (%)</b>	<b>Denominação</b>
0 – 0,25	Naturalmente seco
0,25 – 0,50	Úmido
0,50 – 0,80	Muito úmido
0,80 – 0,95	Altamente saturado
0,95 – 1,00	Saturado

Fonte: laeg (1974, apud Fiori, 2015, p. 16)

Também, nesses casos, para o cálculo das tensões totais deverão ser utilizados os pesos específicos saturados.

## 2.8 Trabalhos relacionados

Alguns trabalhos encontrados na literatura, contendo dados de ensaios de cisalhamento direto em condição inundada estão compilados nas Tabelas 5 e 6, que destacam as velocidades de ensaio e os resultados de parâmetros de resistência.

Tabela 5 - Velocidades utilizadas em ensaios de cisalhamento direto

<b>Autor</b>	<b>Tipo de solo</b>	<b>Velocidade</b>
Leme (2009)	Areia siltosa	0,20 mm/min
Knierim (2016)	Argiloso não-laterítico	0,05 mm/min
Rodrigues et al. (2015)	Predominância de silte argilo-arenosos	0,0307 mm/min

Fonte: Elaboração própria

Tabela 6 - Pârametros de coesão e ângulo de atrito sob condição saturada  
(ensaio inundado)

<b>Autor</b>	<b>Localidade</b>	<b>Tipo de solo</b>	<b>Amostra</b>	<b>Carregamentos</b>	<b>C' (kPa)</b>	<b>Fi ' °</b>
Leme (2009)	Barragem Pesqueiro - CE	Areia siltosa	Indeformada	50, 100, 200 kPa	13,2	31,9
Knierim (2016)	Barragem de pequeno porte Rincão de São Miguel	Argiloso não-laterítico	Compactada sob energia Normal	50, 100, 200 kPa	18,73	48
Rodrigues et al. (2015)	Barragem Rio Taió Rio Perimbó Rio Ribeirão Braço do Trombudo	Silte argilo-arenosos	Compactada sob energia Normal	31,35, 74,12, 113,12 kPa	15 15,6 20,6	32,4° 33,2° 28,1°

Fonte: Elaboração própria

### 3 METODOLOGIA

A descrição metodológica, conforme o Esquema 1, contempla desde a seleção das barragens de terra à pesquisa experimental de campo e laboratório a fim de gerar dados para utilização de recursos computacionais de análise, destinados à atender os objetivos propostos neste estudo. Sendo assim, será apresentado, em etapas, o roteiro de desenvolvimento desta pesquisa.

Esquema 1 – Fluxograma síntese da metodologia



Fonte: Elaboração própria

#### 3.1 Características das áreas do estudo

O desenvolvimento deste trabalho é uma continuação dos estudos experimentais realizados por Quevedo (2015) e Pagnossin (2015). Sendo assim, foram estudados três tipos de solos, caracterizados pelo seu uso na construção de barramentos de açudes e barragens de pequeno porte, na cidade de Alegrete/RS. É importante salientar que nas pesquisas desses autores, as amostras foram designadas como solos A1 e A2 (para os dois originários da Serra Geral) e solo C (para o proveniente do Botucatu). Já neste trabalho, para evidenciar ao longo do texto de forma

compreensível à qual se refere, optou-se por adotar como nomenclatura dos solos S1, S2 e S3, respectivamente.

As jazidas dos solos S1 e S2 são caracterizadas pela proximidade entre elas. Estão localizadas no 8° Sub-distrito Rincão de São Miguel e inseridas na formação geológica Serra Geral. Ambos os solos foram aproveitados para a construção de uma mesma barragem, sendo extraídos às margens de sua área de inundação. A área de jazida do solo S1 corresponde às coordenadas geográficas 29°34'48,5"S e 55°46'05,2"W, enquanto a do solo S2 está posicionado à 29°34'44,7"S e 55°45'49,1"W.

A Figura 21 mostra a vista panorâmica da barragem construída a partir dos solos S1 e S2.

Figura 21 - Vista panorâmica da barragem correspondente aos solos S1 e S2



Fonte: Elaboração própria

A jazida do solo S3 está localizada no 8° Sub-distrito Rincão de São Miguel/ Encruzilhada, nas coordenadas 29°48'59,4"S e 55°41'10,5"W, e inserida na formação geológica Botucatu.

O solo S3 caracteriza-se pela sua disponibilidade e uso na edificação de barramentos de reservatórios.

A Figura 22 mostra o açude construído a partir do uso do solo S3.

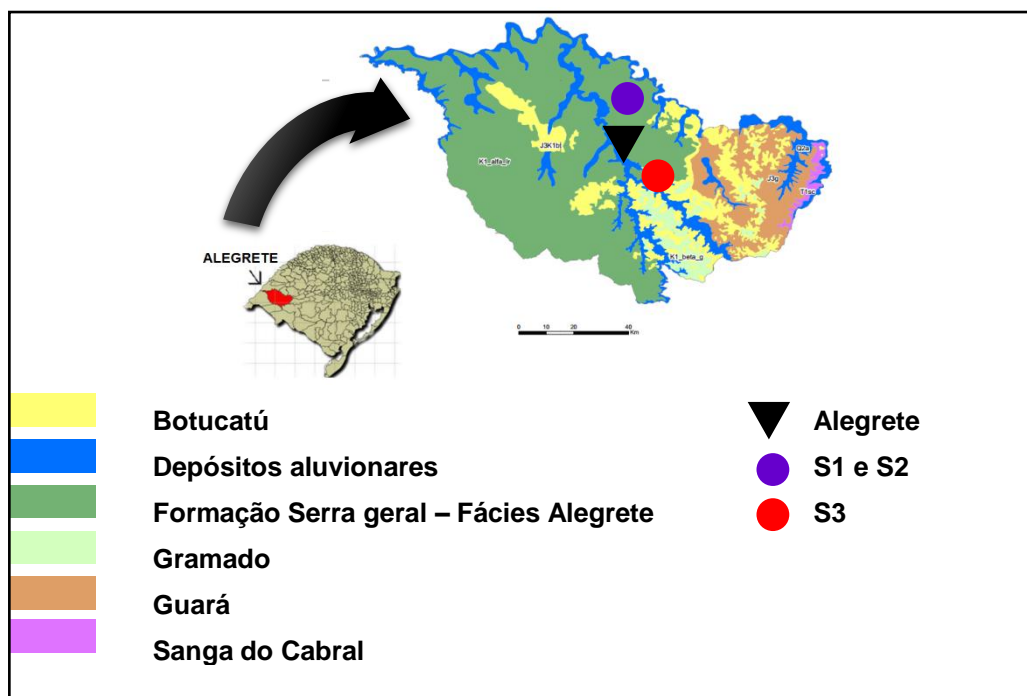
Figura 22 - Vista panorâmica do açude correspondente ao solo S3



Fonte: Elaboração própria

Está assinalado, no mapa geológico do município de Alegrete/RS, a localização das jazidas referentes às duas estruturas de reservatórios em estudo (Figura 23). E para melhor visualização sobre a orientação espacial dessas localidades, também é mostrado o contexto urbano em relação às propriedades rurais onde estão as barragens de terra.

Figura 23 - Distribuição espacial das jazidas no mapa geológico de Alegrete/RS



Fonte: Quevedo (2015, p 21), adaptado pelo autor

### 3.2 Coleta de solo

Houve uma preocupação em garantir qualidade das amostras de forma a serem o mais representativas possível do material original. As coletas de amostras deformadas dos solos foram executadas seguindo as orientações da norma NBR 9.604 (ABNT,1986), utilizando a técnica de sondagem de poço manual. A Figura 24 mostra a etapa de extração de amostra da jazida correspondente ao solo S2.

Figura 24 - Coleta de solo



Fonte: Elaboração própria

Por não ter sido possível ensaiar as amostras provenientes do campo logo após sua chegada ao laboratório, foram colocadas em sacos plásticos fechados para protegê-las das condições externas. Também foram afixadas etiquetas para identificação, com o local de extração e data. A Figura 25 mostra como foram estocados os volumes, com quantidade suficiente para repetições.

Figura 25 - Armazenagem das amostras de solo



Fonte: Elaboração própria



### 3.3 Levantamento topográfico dos barramentos

Com intuito de conhecer as seções dos barramentos, localizados próximos às jazidas dos solos estudados, foram executados levantamento topográfico. Para isso, utilizou-se a Estação Total, modelo Leica TS02 Power 7". A partir da identificação do local de referência por um piquete, centralizado com auxílio de laser sob o equipamento, o operador gravou digitalmente os dados das visadas nos prismas, os quais foram posicionados nos limites da crista, no nível d'água e no pé do talude.

Foram priorizadas poucas mudanças do ponto de apoio, sendo avaliados antes da instalação da Estação Total, os melhores locais com condição de observação para o operador. Além disso, os intervalos do caminhamento dependeram da dimensão da barragem, tendo sido as leituras espaçadas entre 10 e 30 m para obtenção de mais pontos para o traçado.

A Figura 26 mostra alguns dos procedimentos realizados para o levantamento topográfico.

Figura 26 - Coleta de coordenadas geográficas (a) e instalação do equipamento para medição (b)



Fonte: Elaboração própria

Após o levantamento dos dados em campo, esses foram processados com softwares topográficos. Para importar as informações foi utilizado o Leica FlexOffice Standard e para as manipular empregou-se o TopoCal 2017, a fim de gerar as seções transversais típicas a serem analisadas para escolha das seções críticas que serviram de objeto de estudo para as condições de equilíbrio.

### 3.4 Compilação de dados de caracterização e compactação dos solos

Dados de caracterização geotécnica e compactação dos solos foram compilados dos trabalhos já desenvolvidos por Pagnossin (2015) e Quevedo (2015). Dessa forma, o solo S1 foi estudado por Pagnossin visando a sua estabilização química sob adição de cal e sílica de casca de arroz. Já Quevedo (2015) estudou a influência da energia de compactação no comportamento hidráulico dos solos S1, S2 e S3.

Na execução dos ensaios geotécnicos, os autores supracitados, utilizaram a NBR 7.181 (ABNT, 1984) para o ensaio de granulometria, NBR 6.459 (ABNT, 1984) e NBR 7.180 (ABNT, 1984), correspondendo aos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade. Na determinação da massa específica real dos grãos do solo utilizaram a metodologia da norma cancelada NBR 6.508 (ABNT, 1984). Finalmente, os ensaios de compactação ocorreram segundo orientações da norma NBR 7.182 (ABNT, 1986) sob energia Proctor Normal e Proctor Modificada. Em relação ao comportamento hidráulico dos solos, foram realizados ensaios de permeâmetro com carga variável, conforme a NBR 14.545 (ABNT, 2000).

### 3.5 Preparação de corpos de prova para os ensaios de resistência

As amostras coletadas e utilizadas nos experimentos foram tratadas conforme a NBR 6.457 (ABNT, 1986). Sendo assim, foram dispostas em bandejas para secagem ao ar em local ventilado sem exposição solar, até a umidade higroscópica, para posterior destorroamento em almofariz de porcelana com mão de gral e homogeneização do material (Figura 27), a fim de passá-lo no conjunto de peneiras correspondentes exigidas em cada tipo de ensaio.

Figura 27 - Destorroamento do solo seco ao ar



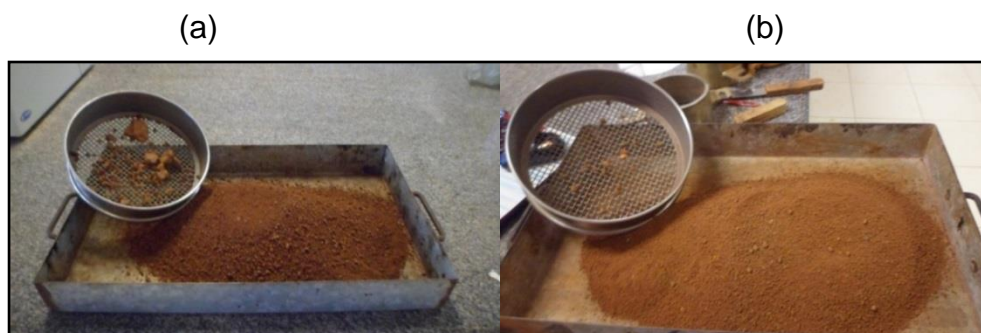
Fonte: Elaboração própria

Os corpos de prova dos solos S1, S2 e S3 foram confeccionados sob moldagem estática. Para isso, utilizou-se um macaco hidráulico e um molde metálico desenvolvido por Schroder (2017). Comparado à cravação ou entalhe, esse aparato é melhor por permitir padronização dimensional e uniformidade na conformação de amostras com solo indeformado, como constatado por Knierim (2016).

Dessa forma, os corpos de prova foram moldados utilizando os resultados obtidos por Quevedo (2015) para os teores de umidade ótimo e massas específicas secas máximas de cada solo, compactados sob energia Normal e Modificada (Apêndice A).

Por se tratarem de solos finos, as dimensões dos corpos de prova foram convencionadas à uma área de 5 cm x 5 cm e 2 cm de altura. Para os solos S1 e S2, identificaram-se agregados maiores que 10% do maior lado do molde (Figura 28), necessitando-se passar na peneira 4,8 mm para manter as dimensões de moldagem e não precisar alterar o tamanho de conformação do corpo de prova (D3080, ASTM, 2011).

Figura 28 - Fração retida na peneira 4,8 mm, dos solos S1 (a) e S2 (b)



Fonte: Elaboração própria

Essa retirada da fração foi sem substituição de solo, visando assim não causar distorções nos resultados de resistência ao cisalhamento (SILVA, 2012, p. 28).

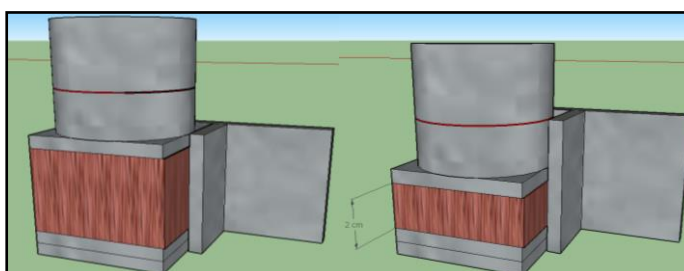
As Figuras 29 a 31, mostram os detalhes dos equipamentos utilizados e parte dos procedimentos executados na confecção dos corpos de prova para o ensaio de cisalhamento direto.

Figura 29 - Molde metálico utilizado na confecção dos corpos de prova



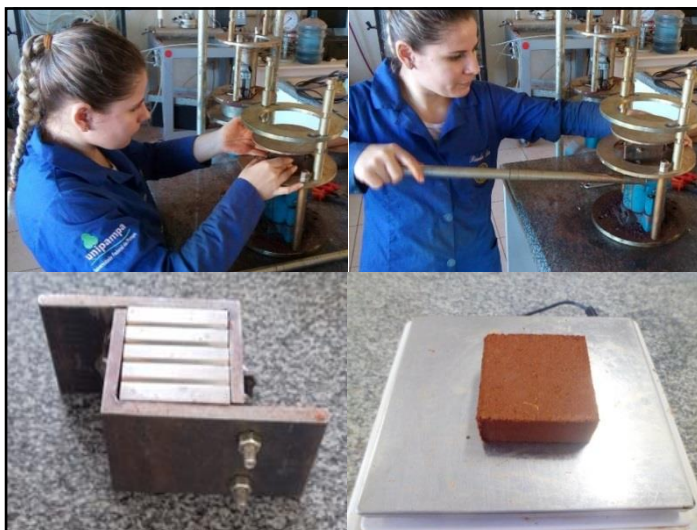
Fonte: Elaboração própria

Figura 30 - Esquema da compactação estática com molde



Fonte: Elaboração própria

Figura 31 - Etapa de execução da moldagem dos corpos de prova de solo



Fonte: Elaboração própria

Na Figura 31, observa-se o processo de execução de moldagem de corpos de prova de solo, compactados utilizando o molde metálico e macaco hidráulico.

Após a confecção dos corpos de prova, os mesmos foram identificados e protegidos por uma película plástica, seguidamente, envolvidos por parafina derretida. Posterior a isso, todos os corpos de prova parafinados foram submetidos a



cura por um intervalo de 28 dias, para possibilitar desenvolvimento de interações químicas nos solos finos, permitindo um ganho de resistência. Foram conservados em câmara climatizada com temperatura constante de 20°C. A Figura 32 mostra detalhes dos corpos de prova embalados e parafinados.

Figura 32 - Corpos de prova de solo protegidos para armazenagem



Fonte: Elaboração própria

### 3.6 Ensaios de resistência ao cisalhamento

As normas brasileiras não compreendem a execução desse ensaio. Sendo assim, utilizou-se como guia a norma internacional sugerida pela ABNT, D3080 (ASTM, 2011).

O equipamento utilizado foi uma prensa de cisalhamento direto da marca Contenco, ligada ao computador que registra automaticamente as leituras com o software Pavitest. A Figura 33 mostra detalhes da prensa de cisalhamento.

Figura 33 - Prensa de cisalhamento automatizada



Fonte: Elaboração própria

Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados na condição consolidado-drenado com a amostra inundada.

Prévia à procura da tensão cisalhante, aplicou-se inicialmente uma tensão normal sobre o corpo de prova ensaiado, por um tempo médio de 12 horas, possibilitando assim a ocorrência do adensamento imediato e primário, caracterizado pela constância das deformações verticais (Apêndice B). As cargas normais adotadas corresponderam a 50, 100, 200 e 400 kPa.

Após estabilização do adensamento vertical devido à carga normal, iniciou-se a aplicação da força cisalhante sob uma velocidade de deslocamento horizontal constante. Dessa forma, com o intuito de tentar trabalhar as cargas em termos de tensões efetivas, procurou-se evitar o desenvolvimento do aumento da poropressão no interior de cada corpo de prova, sendo necessário para isso, a execução do ensaio de forma lenta com o uso de velocidade mínima horizontal igual a 0,025 mm/min.

Cada corpo de prova permaneceu na prensa até ser observado o comportamento de ruptura, quando atingiu a tensão de cisalhamento máxima e, posteriormente, manifestou a estabilização das tensões cisalhantes (tensão residual). Além disso, durante o processo de cisalhamento foi possível monitorar nos corpos de prova as deformações horizontais e verticais (Apêndice G).

Ao final de cada ensaio de cisalhamento direto, foi medido o teor de umidade do núcleo da amostra rompida, a fim de conferir o grau de saturação.

### **3.7 Simulação de estabilidade dos taludes**

Essa etapa compreende uma análise de simulação de estabilidade de taludes em barramentos, quando utilizados os solos S1, S2 e S3. Para isso, foram aproveitadas as seções topográficas das barragens de terra que estão próximas às jazidas e também utilizaram-se os resultados dos ensaios de laboratório. As simulações foram realizadas aplicando as condições da obra em operação.

O software geotécnico foi o pacote GeoStudio (GEO-SLOPE, 2012), que além de outras ferramentas, possui o Slope/W (para análise de estabilidade de taludes) e Seep/W (para análise do fluxo de águas) que atendem as aplicações deste estudo através do método de equilíbrio-limite em situação de barragem pronta e com esvaziament rápido, nas seções mais críticas encontradas em campo.

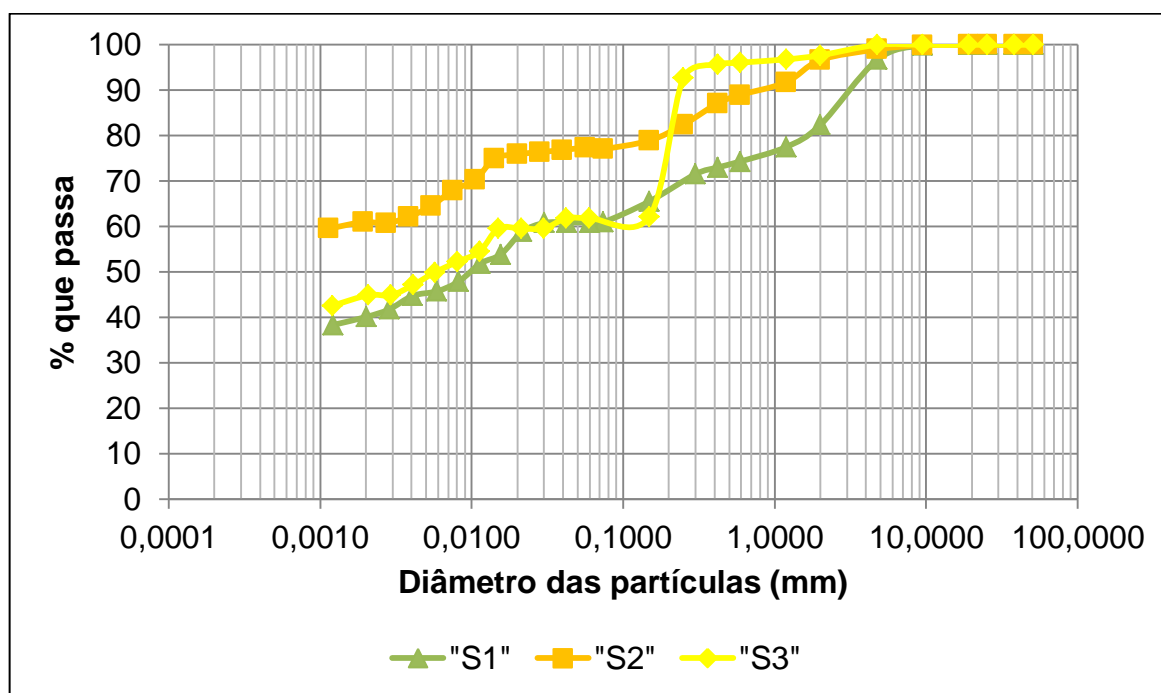
## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esse capítulo reúne os dados apurados ao longo da pesquisa e trás uma discussão dos resultados.

### 4.1 Ensaios de caracterização geotécnica e classificação dos solos

A partir dos trabalhos publicados por Quevedo (2015) e Pagnossin (2015), foram compilados os dados correspondentes a ensaios geotécnica dos solos S1, S2 e S3. Dessa forma, no Gráfico 1 são mostradas as curvas de granulometria que os caracterizam.

Gráfico 1 - Curvas de granulometria dos solos S1, S2 e S3



Fonte: Quevedo (2015), adptado pelo autor

Na Tabela 7 apresenta-se um resumo dos resultados de ensaios de caracterização geotécnica dos solos S1, S2 e S3.

Tabela 7 - Resultados de ensaios de caracterização dos solos S1, S2 e S3

Solo	Limite de Liquidez (LL)	Limite de Plasticidade (LP)	Índice de Plasticidade (IP)	Densidade relativa dos grãos (g/cm <sup>3</sup> )	Classificação	Sigla
S1	45,277	34,520	10,757	2,862	Argila pouco plástica	CL
S2	65,719	30,385	35,334	2,862	Argila muito plástica com areia	CH
S3	40,506	25,722	14,784	2,721	Argila pouco plástica arenosa	CL

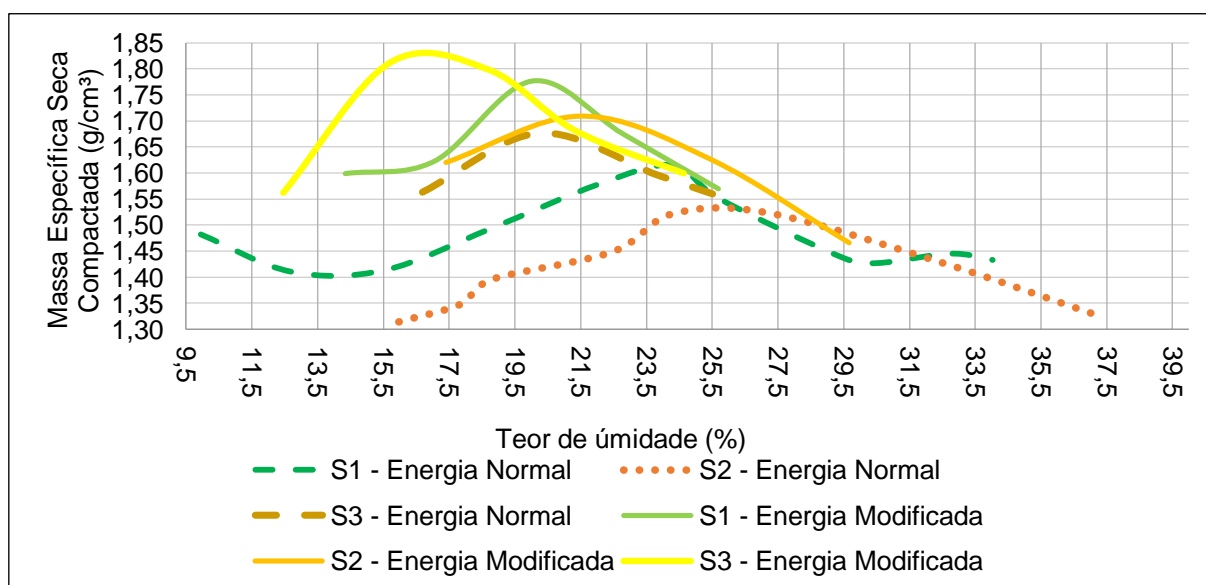
Fonte: Quevedo (2015), adaptado pelo autor

Com base nos resultados dos ensaios de caracterização (Gráfico 2 e Tabela 7), utilizando a metodologia SUCS, Quevedo (2015) classifica o solo S1 como um argila pouco plástica. Já o solo S2 é definido como Argila muito plástica com areia. Finalmente, o solo S3 é classificado como Argila pouco plástica arenosa.

#### 4.2 Resultados de ensaios de compactação e permeabilidade

A partir dos resultados brutos de ensaios compactação dos solos S1, S2 e S3 executados por Quevedo (2015, p. 82) e Pagnossin (2015, p. 70), foi possível processar as informações e confeccionar as curvas de compactação sob energia Normal e Modificada. O Gráfico 2 mostra o comportamento das curvas de compactação para todos os solos estudados.

Gráfico 2 - Curvas de compactação dos solos S1, S2 e S3



Fonte: Quevedo (2015) e Pagnossin (2015), adaptado pelo autor



A Tabela 8, para os solos estudados nesta pesquisa, apresenta os valores de massa específica seca máxima e dos teores de umidades ótimos, oriundos das curvas de compactação.

Tabela 8 - Parâmetros de compactação dos S1, S2 e S3

Solo	Energia de compactação	Massa específica aparente seca máxima (g/cm <sup>3</sup> )	Teor de umidade ótimo (%)
S1	Normal	1,62	24
	Modificada	1,78	20,20
S2	Normal	1,53	25,5
	Modificada	1,71	21,5
S3	Normal	1,68	20,5
	Modificada	1,83	16,7

Fonte: Quevedo (2015), adaptado pelo autor

Analisando a Tabela 8 e o Gráfico 3 é constatado que, para um mesmo solo, aumentando a energia de compactação, influencia na elevação da massa específica máxima e na redução do teor de umidade ótimo. Além disso, observa-se também, que os maiores valores de massa específica seca máxima correspondem ao solo S3, enquanto as menores seriam do solos S2, tanto na energia Normal como Modificada.

Com o intuito de fazer uma análise de estabilidade de taludes em barramentos sob condição de fluxo permanente, quando utilizados os solos S1, S2 e S3, compilaram-se os dados de coeficiente de permeabilidade (K) obtidos por Quevedo (2015, p. 93). Os resultados da Tabela 9 correspondem a ensaios de carga variável executados em corpos de prova compactados sob energia Normal.

Tabela 9 - Parâmetros de permeabilidade em solos sob energia Normal

Solo	Coeficiente de permeabilidade (K)
S1	$3,73 \times 10^{-7}$
S2	$7,97 \times 10^{-7}$
S3	$2,80 \times 10^{-7}$

Fonte: Quevedo (2015), adaptado pelo autor

### 4.3 Ensaio de cisalhamento direto

A seguir serão apresentados detalhadamente todos os resultados obtidos dos solos estudados para o ensaio de cisalhamento direto, segmentado nas fases de adensamento e cisalhamento.

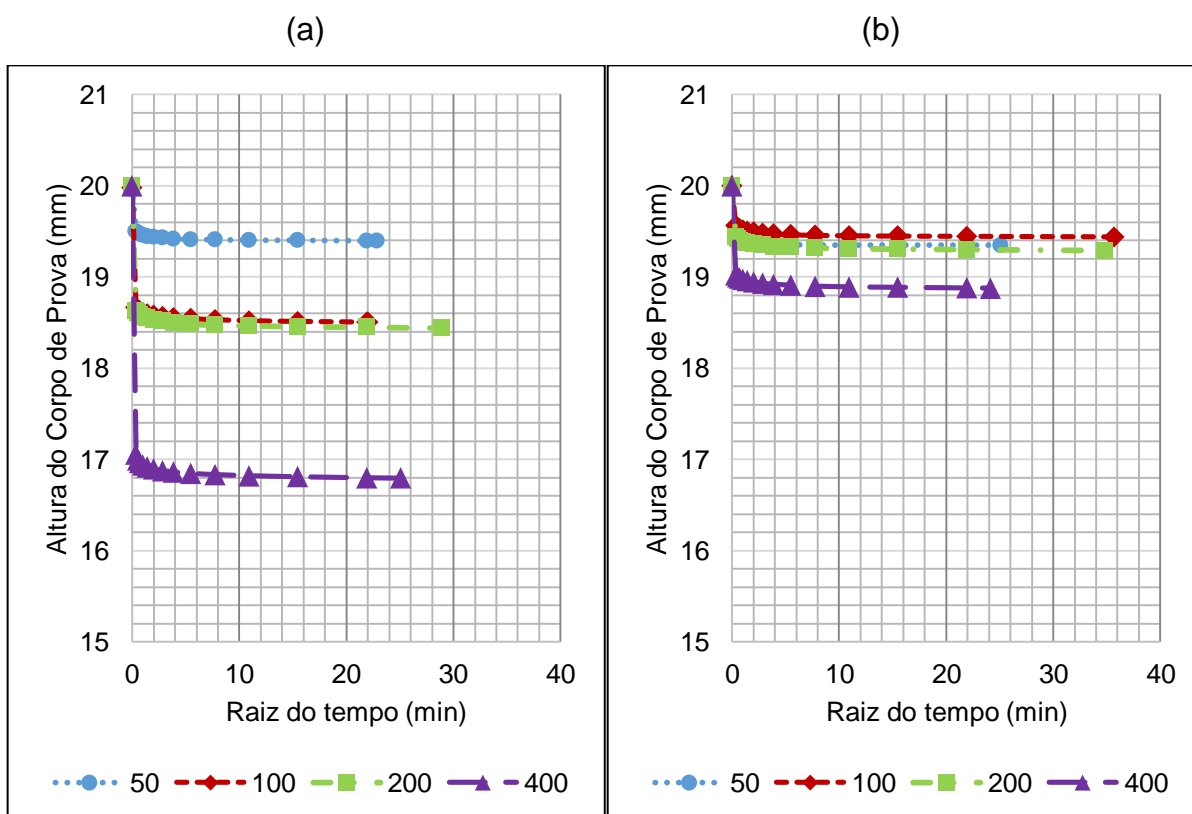
### 4.3.1 Fase adensamento

A fase de adensamento tem a finalidade de consolidar o solo sob pressão normal e os intervalos, para dar-se por terminado o ensaio, foram escolhidos quando atingia-se a constância das deformações verticais. No Apêndice D encontra-se, detalhadamente, o registro dos intervalos de tempo feitos pelo equipamento (média de 12 horas).

Os gráficos foram elaborados a partir do método de Taylor, que considera a variação de altura vs. a raiz quadrada do tempo. À seguir, serão apresentados os gráficos de todos os solos.

O Gráfico 3 mostra para o solo S1 o adensamento dos corpos de prova devido à aplicação das respectivas cargas normais: 50, 100, 200 e 400 kPa.

Gráfico 3 - Curvas de adensamento dos CPs do solo S1: (a) sob Energia Normal; (b) sob Energia Modificada



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

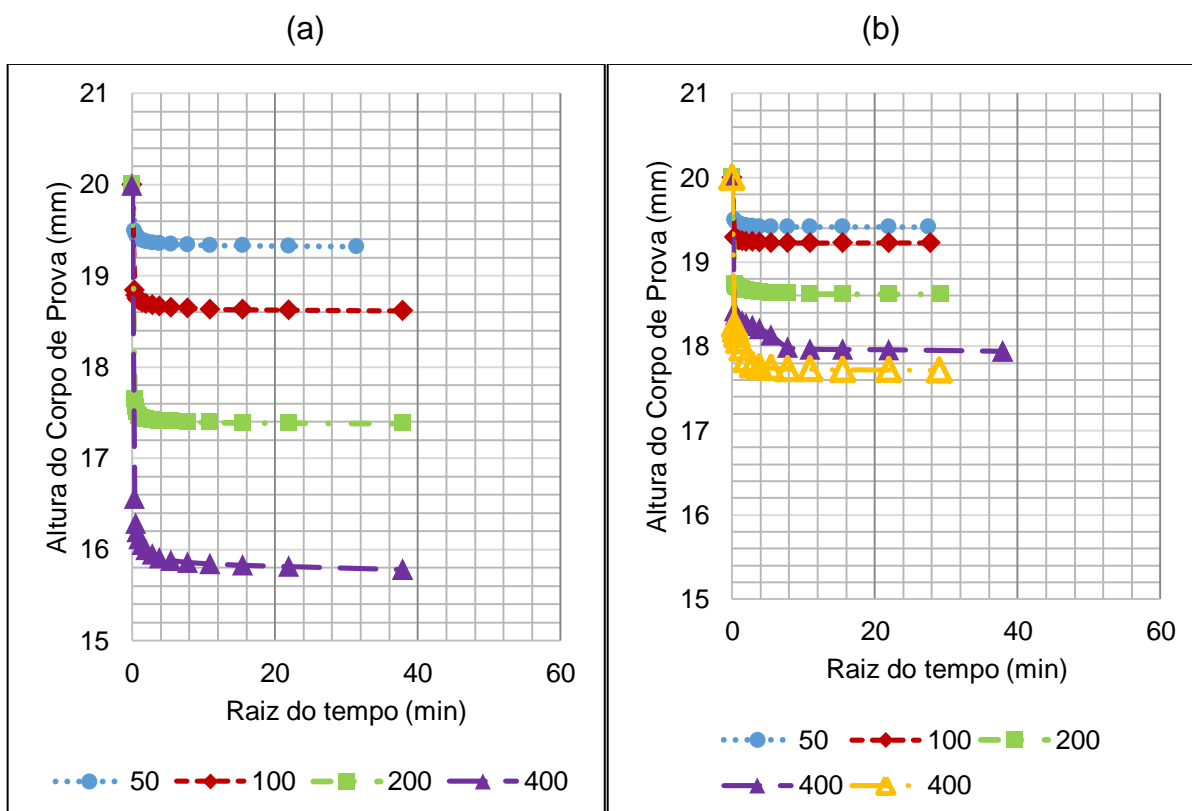
Para o solo S1 (Gráfico 3), tanto na condição de energia Normal como a Modificada, é possível observar que quando aplicou-se a menor carga de 50 kPa,

houve pequena variação na sua altura inicial. E ao aplicar a maior carga de 400 kPa, os corpos de prova obtiveram o maior adensamento, ou seja, a maior eliminação da parte líquida da composição do solo.

Os CPs submetidos a 100 e 200 kPa resultaram em alturas finais próximas, no caso do Gráfico 3a. O mesmo ocorreu para os carregamentos de 50 e 200 kPa, no Gráfico 3b.

Para os corpos de prova do solo S2, sob energia Normal (Gráfico 4a), é possível observar que o adensamento aconteceu de forma proporcional à carga aplicada, ou seja, conforme a carga foi elevada, houve uma maior redução da altura do corpo de prova.

Gráfico 4 - Curvas de adensamento dos CPs do solo S2: a) sob energia Normal; b) sob energia Modificada



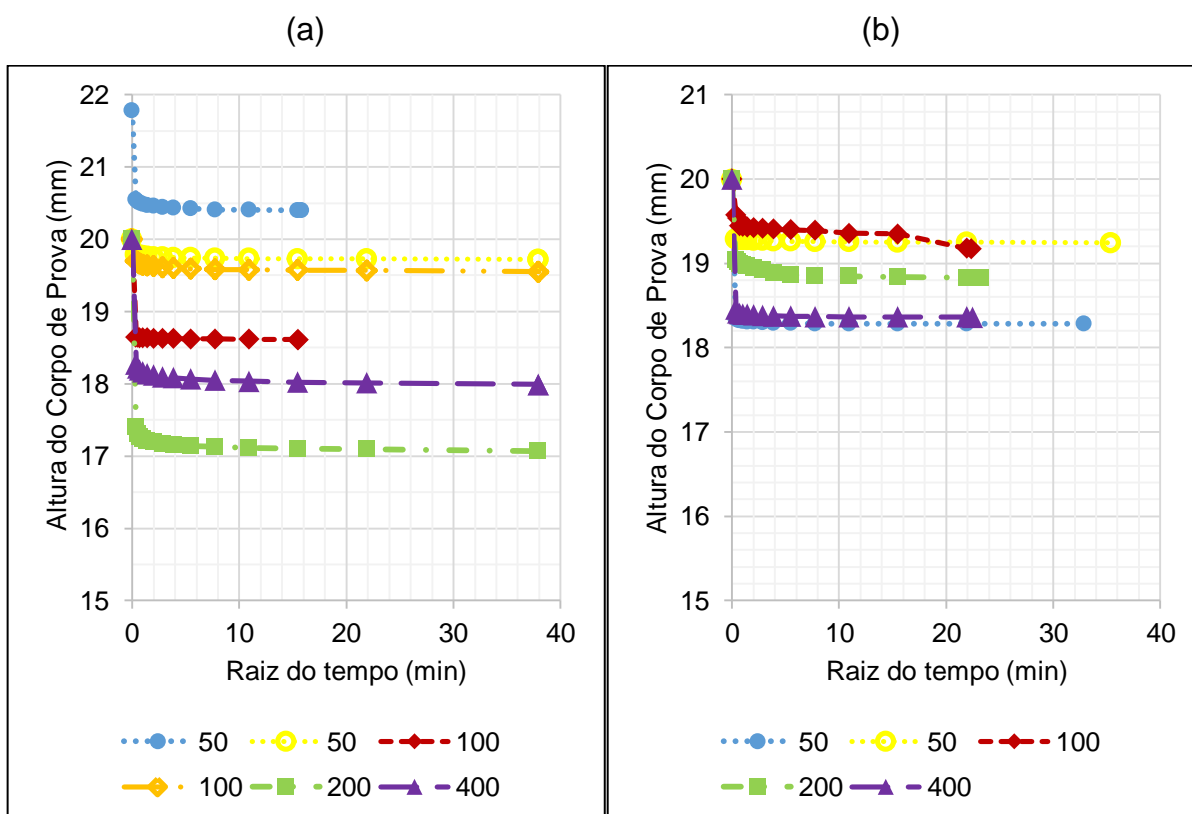
Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

O Gráfico 4b, mostra para os corpos de prova compactados sob energia Modificada, adensamentos relativamente próximos entre as cargas de 50 e 100 kPa. Assim, também nota-se, a ocorrência de duas repetições de ensaios para a carga de

400 kPa, implicando intervalos de estabilização de adensamento distintos, onde o CP6 obteve maior redução de espessura em um menor intervalo de tempo.

As parcelas de adensamento dos corpos de prova do solo S3, tanto para a energia Normal como para a energia Modificada, são mostrados no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Curvas de adensamento dos CPs do solo S3: a) sob energia Normal; b) sob energia Modificada



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

Observa-se no Gráfico 5 que as curvas de adensamento, para os solos compactados com energia Normal e Modificada, não acompanharam a tendência dos gráficos anteriores, onde o adensamento sofrido pelo solo é aumentado com a carga. Para as repetições com tensão normal de 50 kPa, compactados nas duas energias, a altura final alcançada na estabilização foi diferente, acontecendo o mesmo para as repetições de 100 kPa sob energia Normal. Verifica-se que os CPs de 50 e 100 kPa, na energia Normal, resultaram em alturas próximas mesmo submetidos à carregamentos diferentes. Ocorreu também de menores cargas provocarem maior adensamento, como nos casos dos carregamentos de 200 e 400

kPa compactados com a energia Normal, 50 e 100 kPa e 50 e 400 kPa, sob energia Modificada.

Dessa forma, observa-se que todos os corpos de prova foram rompidos por cisalhamento só após a estabilização do adensamento. Constatou-se que após o adensamento, houve pouca variação na espessura dos corpos de prova compactados sob energia Modificada, em relação à energia Normal. Além disso, com o intuito de conferir resultados pontuais, alguns ensaios tiveram que ser repetidos, o que implicou na confecção de mais de uma curva de adensamento para um mesmo carregamento normal.

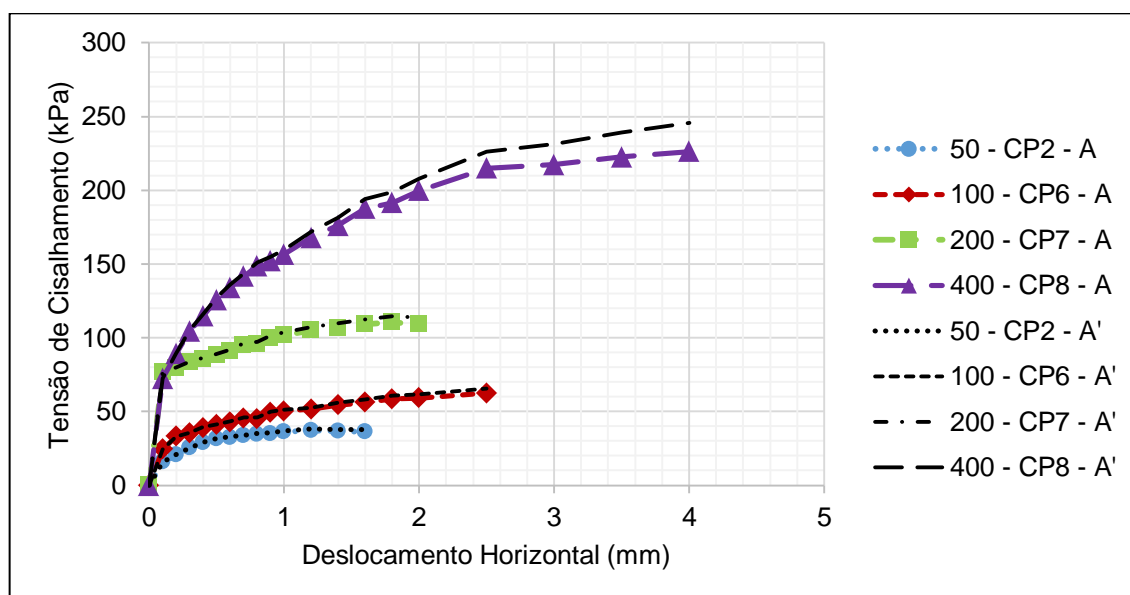
#### **4.3.2 Fase cisalhamento**

O cisalhamento propriamente dito, foi executado após a consolidação e tem por característica a drenagem livre. Essa fase associa diretamente as forças normais às cisalhantes, aplicadas ao corpo de prova até a ruptura.

Em um primeiro momento, serão apresentados os resultados dos solos cisalhados com corpos de prova compactados sob energia Normal e, posteriormente, os obtidos para a compactação com energia Modificada.

Para o solo S1, sob energia Normal de compactação, o Gráfico 6 mostra os deslocamentos horizontais desenvolvidos em função das tensões de cisalhamento aplicadas. As curvas de tensão cisalhante vs. deslocamentos horizontais foram traçadas a partir dos valores sujeitos às áreas de cisalhamento constante (A) e corrigidas pelo deslocamento horizontal (A').

Gráfico 6 - Curvas deslocamentos horizontais vs. tensões cisalhantes dos corpos de prova do solo S1 – Energia Normal



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

Quando se analisa a tensão aplicada, entre a área constante e a área corrigida, identifica-se um incremento na inclinação das curvas. Nesse caso, os valores encontrados foram próximos. No Apêndice F é possível verificar detalhadamente cada uma das curvas. Também, constata-se que não há um pico definido de tensões cisalhantes máximas, em consequência da ruptura plástica. Sendo assim, as curvas indicam um comportamento de solo como Normalmente Adensado (NA). Em função do mencionado, foi possível detectar, no Apêndice E, o momento em que a aplicação de forças cisalhantes foi máxima em cada um dos ensaios, ou seja, quando deixou de sofrer incremento devido à ruptura.

A Tabela 10 apresenta os resultados das tensões cisalhantes máximas de acordo com a sua tensão normal correspondente, tanto para a área constante como para a área corrigida.

Tabela 10 - Tensões normais vs. Tensões cisalhantes máximas – solo S1 sob energia Normal

Solo	Energia de compactação	CP	Com área de cisalhamento constante		Com área de cisalhamento corrigida	
			Tensão Vertical (kPa)	Tensão de Cisalhamento (kPa)	Tensão Vertical (kPa)	Tensão de Cisalhamento (kPa)
S1	Normal	2	50	37,19	51,23	38,10
		6	100	45,41*	101,42	46,05*
		7	200	110,27	207,47	114,39
		8	400	226,16	434,78	245,83

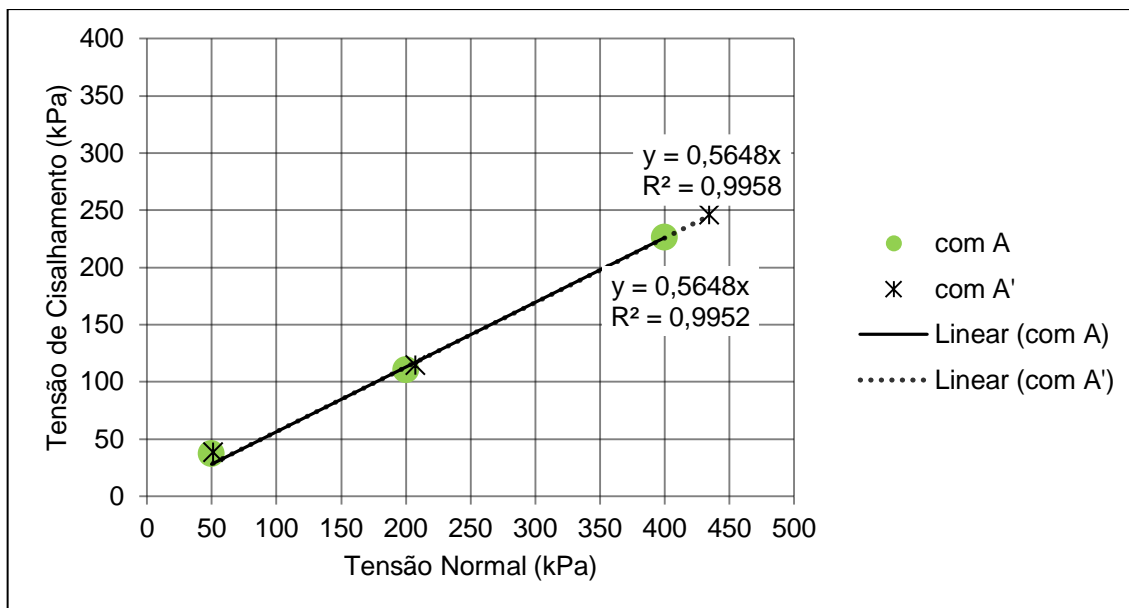
Legenda: [ \* ]: desconsiderado na envoltória de ruptura; [CP]: corpo de prova

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

A partir das tensões da Tabela 10, foi possível traçar a envoltória de ruptura do solo S1 sob energia Normal de compactação (Gráfico 7), tanto para área constante como área corrigida. No entanto, por meio de uma análise de regressão linear, apurou-se que as tensões relacionadas ao CP6 mantinham-se isoladas da linha de tendência, influenciando no ajuste, resultando em valores negativos que não condizem com o usual. Como o mínimo de três pontos confirma a existência de uma linha de tendência válida, optou-se por desconsiderá-lo na determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento desse solo.

O comportamento desconforme do CP6 pode ser explicado pela análise dos deslocamentos verticais e horizontais durante o processo de cisalhamento, que mostrou uma contração próxima a ocorrida pelo CP8, submetido a um carregamento normal superior, sem esse sustentar a aplicação de maiores forças horizontais, rompendo sob uma tensão menor, o que pode indicar alguma falha interna do corpo compactado.

Gráfico 7 - Envolvória de Ruptura do Solo S1 sob energia Normal



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

O Gráfico 7 mostra para o solo S1 sob energia Normal, que não há diferenças significativas entre as envoltórias correspondentes à área constante e área corrigida. A expressão que representa ambas envoltórias de ruptura é a Equação 4:

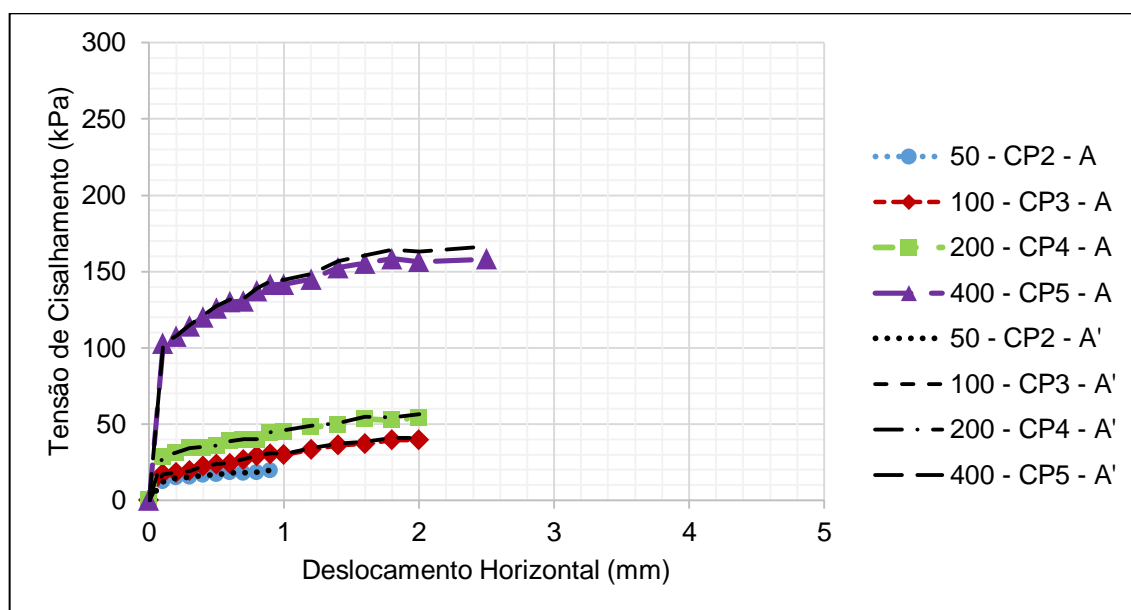
$$y = 0,5648x \quad (4)$$

De acordo com a análise dos resultados de Knierim (2016, p. 89), cada parcela da equação expressa um dos parâmetros de resistência: o intercepto coesivo é a constante ou coeficiente linear da reta, enquanto o ângulo de atrito interno é equivalente ao ângulo de inclinação da reta, ou seja, é a inversa da tangente do coeficiente angular. Nesse caso, para o solo S1, compactado com energia Normal, obtiveram-se para o intercepto coesivo o valor de 0 kPa e de ângulo de atrito interno de 29°, nas duas situações analisadas (com área de cisalhamento constante e corrigida pelo deslocamento horizontal).

Para o solo S2, compactado sob energia Normal, temos o Gráfico 8 que mostra os deslocamentos horizontais desenvolvidos durante o ensaio em função das tensões de cisalhamento aplicadas. Essas foram comparadas a partir dos valores sujeitos às áreas de cisalhamento constante (A) e corrigida pelo deslocamento horizontal (A').



Gráfico 8 - Curvas deslocamentos horizontais vs. tensões cisalhantes dos corpos de prova do solo S2 – Energia Normal



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

Percebe-se que, nessas curvas, não há um pico definido de tensões cisalhantes máximas, em consequência da ruptura plástica. Sendo assim, tipificam-se como Normalmente Adensadas (NA).

A Tabela 11 organiza os resultados das tensões normais de acordo com as suas tensões de cisalhamento máximas correspondentes.

Tabela 11 - Tensões normais vs. tensões cisalhantes máximas – Solo S2 sob energia Normal

Solo	Energia de compactação	CP	Com área de cisalhamento constante		Com área de cisalhamento corrigida	
			Tensão Vertical (kPa)	Tensão de Cisalhamento (kPa)	Tensão Vertical (kPa)	Tensão de Cisalhamento (kPa)
S2	Normal	2	50	17,92	50,61	18,13
		3	100	30,39	101,83	30,95
		4	200	39,66*	202,84	40,22*
		5	400	158,33	414,94	164,24

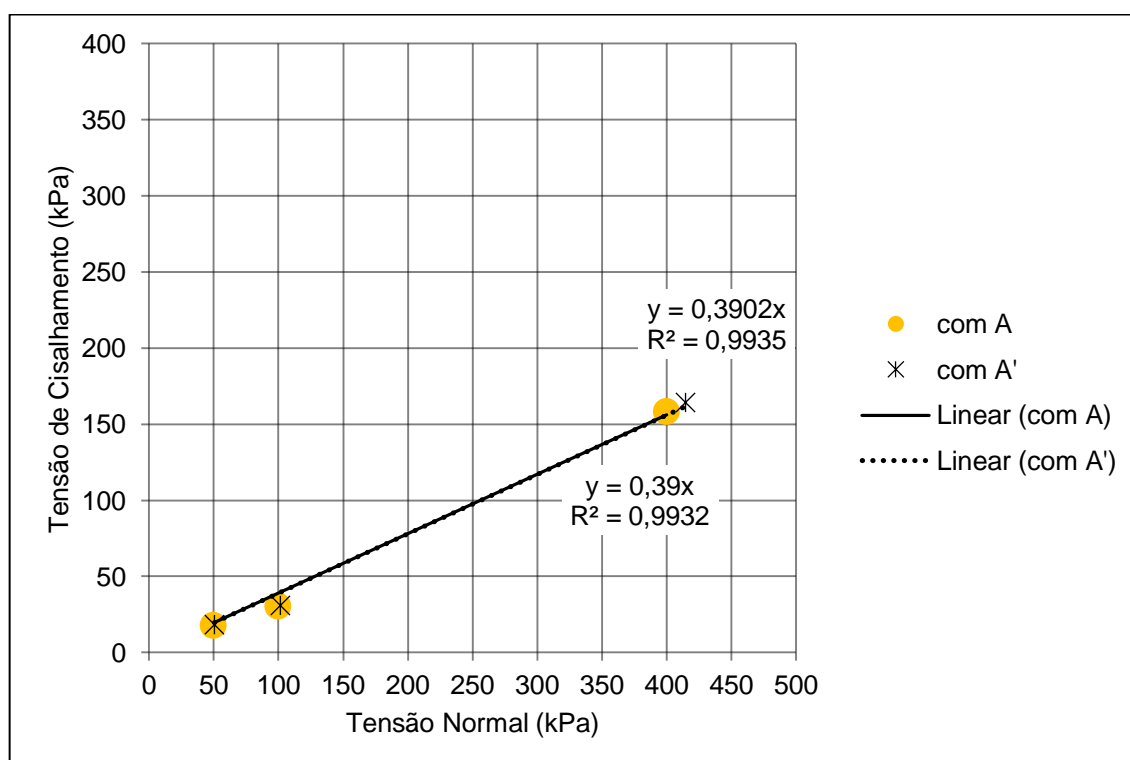
Legenda: [ \* ]: desconsiderado na envoltória de ruptura; [CP]: corpo de prova

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

A partir das tensões da Tabela 11, pode-se traçar a envoltória de ruptura do solo S2 sob energia Normal de compactação, conforme apresentado no Gráfico 9. Feita

uma análise de regressão linear, apurou-se que as tensões relacionadas ao CP4 mantinham-se isoladas da linha de tendência, influenciando no ajuste ao modelo, resultando em valores negativos que não condizem com o usual. Como o mínimo de três pontos confirma a existência de uma linha de tendência válida, optou-se por desconsiderá-lo na determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento desse solo. O comportamento desconforme do CP4 pode ser explicado pelos deslocamentos verticais e horizontais registrados durante o processo de cisalhamento, que mostrou que houve pouca contração no material, o que pode indicar que a acomodação interna foi insuficiente para elevar sua resistência à ruptura.

Gráfico 9 - Envoltória de Ruptura do solo S2 sob energia Normal



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

As envoltórias de ruptura se equiparam numericamente e podem ser representadas pela Equação 5, para as tensões calculadas com área de cisalhamento constante.

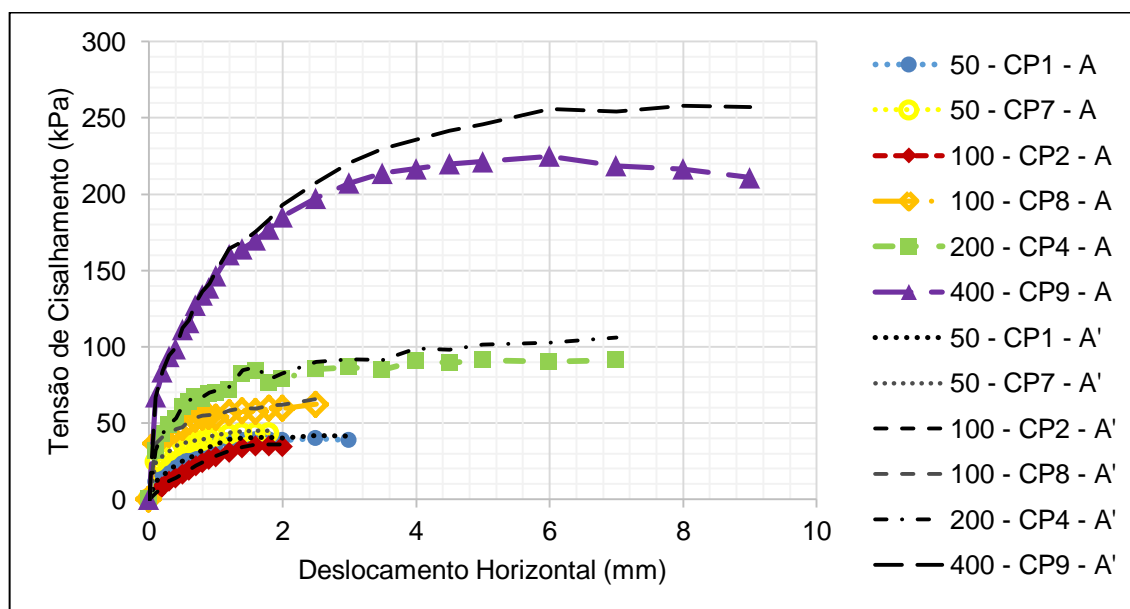
$$y=0,39x$$

(5)

Utilizando a mesma metodologia de cálculo descrita anteriormente, tem-se para o solo S2, compactado com energia Normal, o intercepto coesivo igual a 0 kPa e ângulo de atrito interno de  $21^\circ$ , nas duas situações analisadas (com área de cisalhamento constante e corrigida pelo deslocamento horizontal).

Ainda para a energia Normal de compactação, o Gráfico 10, referente ao solo S3, mostra os deslocamentos horizontais desenvolvidos durante o ensaio em função das tensões de cisalhamento aplicadas. Essas foram comparadas a partir dos valores sujeitos às áreas de cisalhamento constante (A) e corrigida pelo deslocamento horizontal (A').

Gráfico 10 - Curvas deslocamentos horizontais vs. tensões cisalhantes dos corpos de prova do solo S3 – Energia Normal



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

No Gráfico 10 nota-se que, tal como os solos anteriores, de modo geral, há um aumento da tensão cisalhante conforme ocorre aumento dos carregamentos. Apesar dessa tendência se manifestar entre as curvas, o CP2 apresentou características desproporcionais, tanto comparado à outra repetição de mesmo carregamento assim como aos demais aplicados. Além disso, percebe-se que nessas curvas, não há um pico definido de tensões cisalhantes máximas, em consequência da ruptura plástica. Sendo assim, tipificam-se como Normalmente Adensadas (NA).

A Tabela 12, para o solo S3 sob energia Normal, apresenta os resultados das tensões normais de acordo com suas tensões de cisalhamento máximas correspondentes.

Tabela 12 - Tensões normais vs. tensões cisalhantes máximas – solo S3 sob energia Normal

Solo	Energia de compactação	CP	Com área de cisalhamento constante		Com área de cisalhamento corrigida	
			Tensão Vertical (kPa)	Tensão de Cisalhamento (kPa)	Tensão Vertical (kPa)	Tensão de Cisalhamento (kPa)
S3	Normal	1	50	39,23*	51,87	40,69*
		7	50	43,37	51,87	44,99
		2	100	34,96*	103,31	36,12*
		8	100	54,11	101,83	55,11
		4	200	66,72*	202,84	67,66*
		9	400	224,99	454,54	255,67

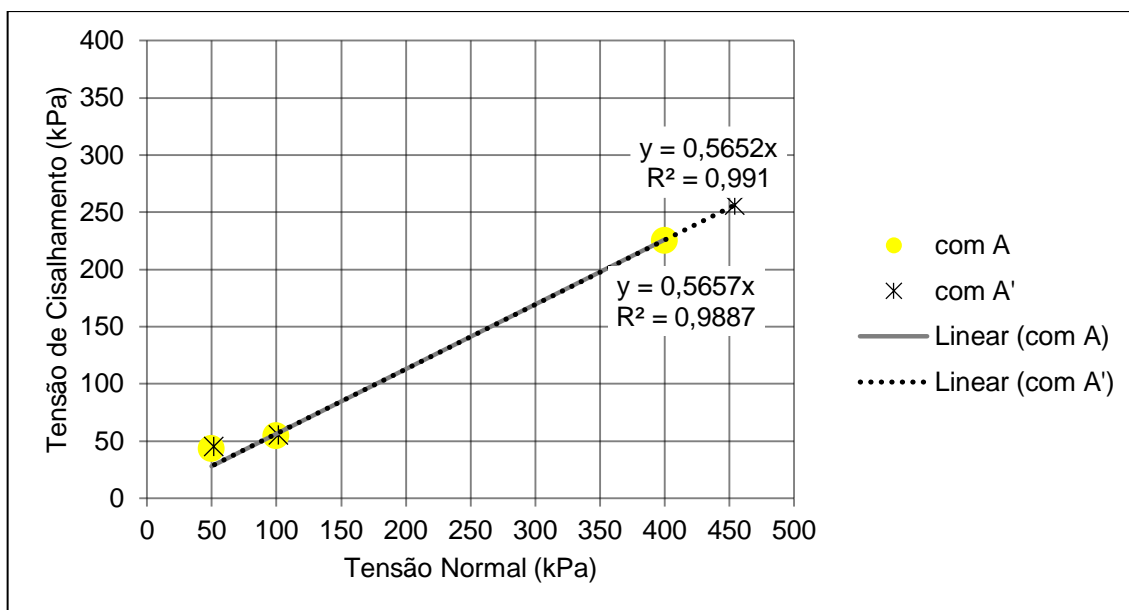
Legenda: [ \* ]: desconsiderado na envoltória de ruptura; [CP]: corpo de prova

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

A partir dessas tensões mostradas na Tabela 12, pode-se traçar a envoltória de ruptura do solo S3 sob energia Normal de compactação (Gráfico 11). No entanto, após uma análise de regressão linear, apurou-se que as tensões relacionadas ao CP1, CP2 e CP4 mantinham-se dispersas à linha de tendência, influenciando no ajuste ao modelo, resultando em valores negativos que não condizem com o usual. Isso se justifica pelo CP1 ter alcançado uma tensão de cisalhamento máxima inferior à da repetição submetida ao mesmo carregamento de 50 kPa, o que se observa no Gráfico 12. Já para o CP2, por ter tido comportamento incompatível com as tensões e apresentado uma deformação atípica. Também, explica-se pelo fato do CP4 manifestar irregularidade na continuidade das tensões, podendo ter sofrido alguma interferência nos resultados por ter tido sucessivos rearranjos na sua estrutura interna. Como o mínimo de três pontos confirma a existência de uma linha de tendência válida, optou-se por desconsiderá-los na determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento desse solo.

O Gráfico 11 apresenta a envoltória de ruptura do solo S3, sob energia Normal de compactação, com as tensões calculadas para as áreas de cisalhamento constante e corrigida pelo deslocamento horizontal ocorrido durante o cisalhamento.

Gráfico 11 - Envoltória de Ruptura do solo S3 sob energia Normal



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

As envoltórias de ruptura se equiparam numericamente e podem ser representadas pela Equação 6, para as tensões calculadas com área de cisalhamento constante.

$$y=0,5657x$$

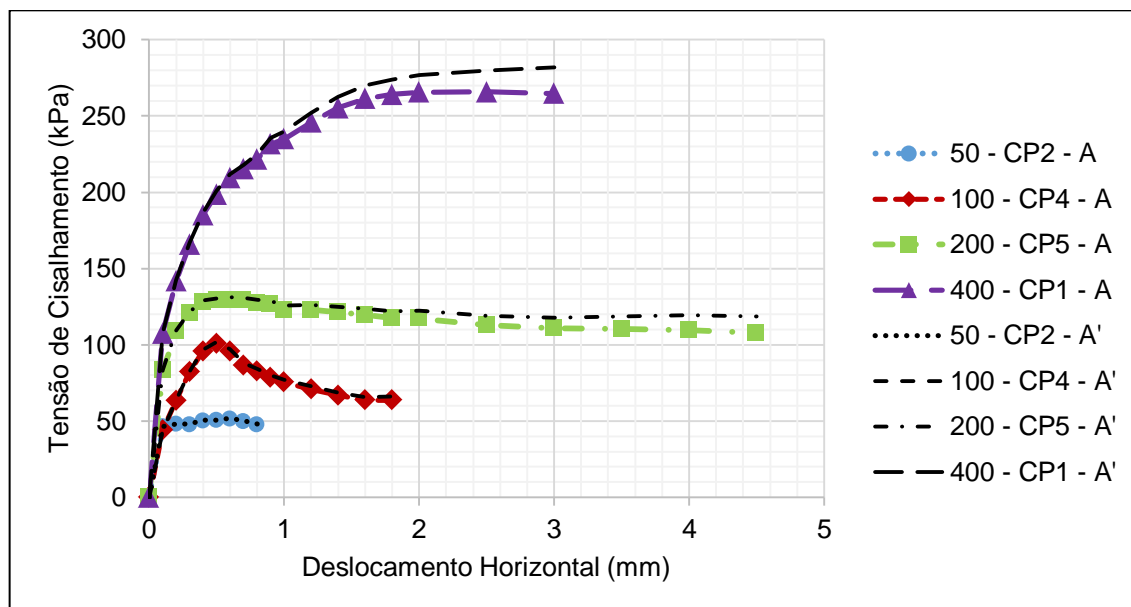
(6)

Utilizando a mesma metodologia de cálculo descrita anteriormente, tem-se para o solo S3, compactado com energia Normal, o intercepto coesivo igual a 0 kPa e ângulo de atrito interno de 29°, nas duas situações analisadas (com área de cisalhamento constante e corrigida pelo deslocamento horizontal).

À continuação são apresentados os resultados executados com corpos de prova submetidos à energia Modificada.

Referente ao solo S1, o Gráfico 12 mostra os deslocamentos horizontais, desenvolvidos no decorrer das tensões de cisalhamento aplicadas. Essas foram comparadas a partir dos valores sujeitos às áreas de cisalhamento constante (A) e corrigida pelo deslocamento horizontal (A').

Gráfico 12 - Curvas deslocamentos horizontais vs. tensões cisalhantes dos corpos de prova do solo S1 – energia Modificada



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

Percebe-se que há um aumento de tensão cisalhante conforme ocorre aumento dos carregamentos. As curvas demonstram que o solo apresentou um comportamento elástico-plástico durante o ensaio executado com os menores carregamentos aplicados (50 e 100 kPa), pois inicialmente ambas tensões seguem na mesma trajetória reta até sofrerem deformações distintas em função do acréscimo dos esforços. Também apresentou comportamento plástico nas maiores tensões (200 e 400 kPa), devido às deformações permanentes ocorrerem de forma gradativa, conforme os esforços aplicados. Quando se analisa a tensão aplicada, entre a área de cisalhamento constante e a corrigida, identifica-se um incremento na inclinação das curvas à medida que se aumentam os esforços aplicados. Nesse caso, os valores encontrados foram próximos. No Apêndice F é possível verificar detalhadamente cada uma das curvas. Finalmente, constata-se que há picos de tensões cisalhantes máximas evidentes para os carregamentos de 50 e 100 kPa, em consequência da ruptura frágil. Para 200 kPa também identifica-se essa queda, mesmo que branda. Sendo assim, as curvas indicam um comportamento de solo como Pré-Adensado (PA). Já para o carregamento de 400 kPa, não há esse ponto mais alto em consequência da ruptura plástica, tipificando o comportamento como Normalmente Adensado (NA).

Esses valores foram utilizados para a determinação do valor da tensão de cisalhamento máxima, utilizando as áreas constante (A) e corrigidas (A'). Também, foram corrigidas as áreas de aplicação das forças verticais, para o momento da ruptura. A Tabela 13 organiza os resultados das tensões normais de acordo com sua tensões de cisalhamento máximas correspondentes.

Tabela 13 - Tensões normais vs. tensões cisalhantes máximas – solo S1 sob energia Modificada

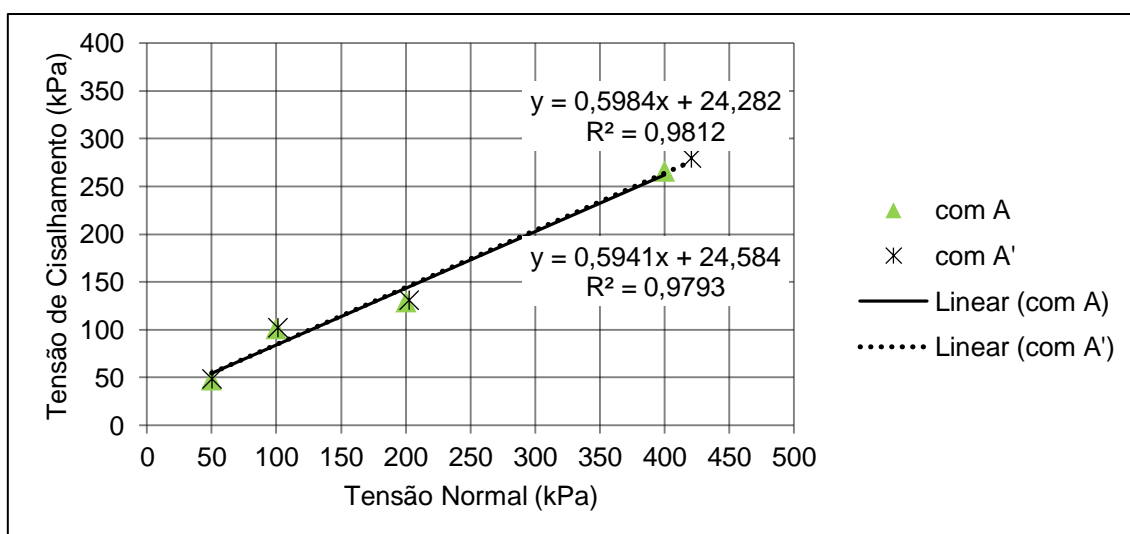
Solo	Energia de compactação	CP	Com área de cisalhamento constante		Com área de cisalhamento corrigida	
			Tensão Vertical (kPa)	Tensão de Cisalhamento (kPa)	Tensão Vertical (kPa)	Tensão de Cisalhamento (kPa)
S1	Modificada	2	50	47,81	50,20	48,01
		4	100	100,88	101,01	101,90
		5	200	129,42	202,43	130,99
		1	400	265,82	421,06	279,81

Legenda: [CP]: corpo de prova

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

A partir dessas tensões da Tabela 13, pode-se traçar a envoltória de ruptura do solo S1 sob energia Modificada de compactação (Gráfico 13). Feita uma análise de regressão linear, apurou-se que todos os corpos de prova resultaram em valores delineados pelo modelo para determinação dos parâmetros de resistência ao cisalhamento desse solo.

Gráfico 13 - Envoltória de Ruptura do solo S1 sob energia Modificada



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

A expressão que representa a envoltória de ruptura formada por tensões calculadas com área constante é a Equação 7. Dessa forma, tem-se para o solo S1, compactado com energia Modificada, o intercepto coesivo de aproximadamente 25 kPa e ângulo de atrito interno de 31°, nessa situação.

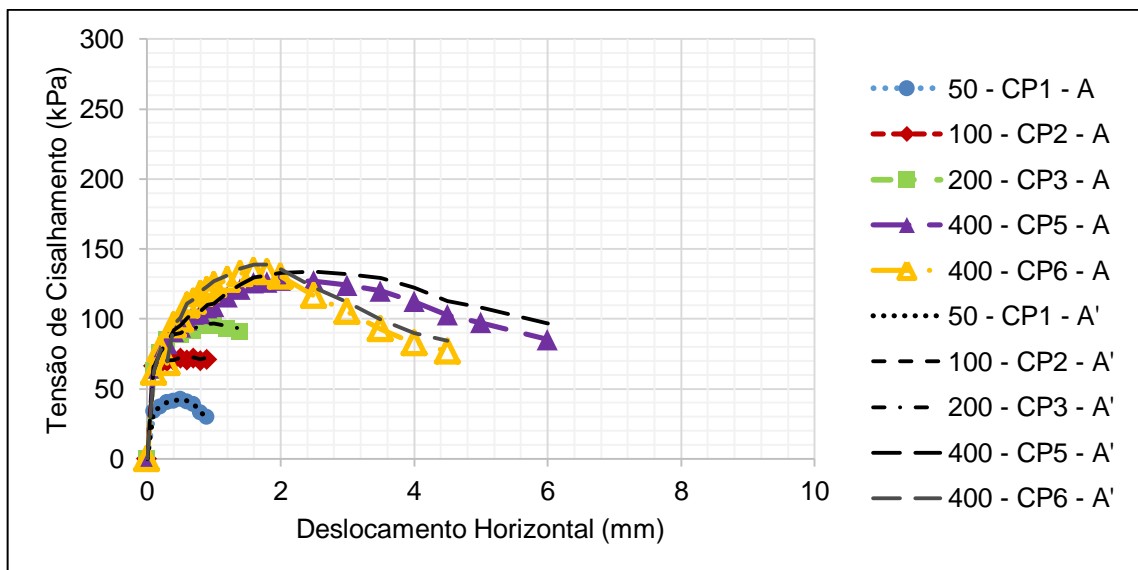
$$y = 0,5984x + 24,584 \quad (7)$$

A expressão que representa a envoltória de ruptura formada por tensões calculadas com área corrigida é a Equação 8. Nesse caso, obtiveram-se para o intercepto coesivo o valor de aproximadamente 24 kPa e de ângulo de atrito interno de 31°.

$$y = 0,5941x + 24,282 \quad (8)$$

Para o solo S2, compactado sob energia Modificada, temos o Gráfico 14 que mostra os deslocamentos horizontais desenvolvidos durante o ensaio em função das tensões de cisalhamento aplicadas. Essas foram comparadas a partir dos valores sujeitos às áreas de cisalhamento constante (A) e corrigida pelo deslocamento horizontal (A').

Gráfico 14 - Curvas deslocamentos horizontais vs. tensões cisalhantes dos corpos de prova do solo S2 – energia Modificada



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa



No Gráfico 14, percebe-se que há um aumento de tensão cisalhante conforme ocorre aumento dos carregamentos. As curvas demonstram que o solo apresentou um comportamento elástico-plástico durante os ensaios executados para 50, 200 e 400 kPa, pois inicialmente ambas seguem na mesma trajetória reta até sofrerem deformações distintas em função do acréscimo dos esforços. Também apresentou comportamento plástico na tensão de 100 kPa, devido às deformações permanentes ocorrerem de forma gradativa, conforme os esforços aplicados.

Constata-se que há picos de tensões cisalhantes máximas evidentes para os carregamentos de 50 e 400 kPa, em consequência da ruptura frágil. Para 200 kPa também identifica-se essa queda, mesmo que branda. Sendo assim, as curvas indicam um comportamento de solo como Pré-Adensado (PA). Já para o carregamento de 100 kPa, não há esse ponto mais alto em consequência da ruptura plástica, tipificando o comportamento como Normalmente Adensado (NA).

A Tabela 14 organiza os resultados das tensões normais de acordo com sua tensão de cisalhamento máximas correspondentes, tanto para as áreas constantes (A) e corrigidas (A').

Tabela 14 - Tensões normais vs. tensões cisalhantes máximas – solo S2 sob energia Modificada

Solo	Energia de compactação	CP	Com área de cisalhamento constante		Com área de cisalhamento corrigida	
			Tensão Vertical (kPa)	Tensão de Cisalhamento (kPa)	Tensão Vertical (kPa)	Tensão de Cisalhamento (kPa)
S2	Modificada	1	50	42,38	50,50	42,81
		2	100	71,91	101,01	72,63
		3	200	91,37	202,43	92,48
		5	400	127,57	416,67	132,89
		6	400	78,02*	401,61	78,34*

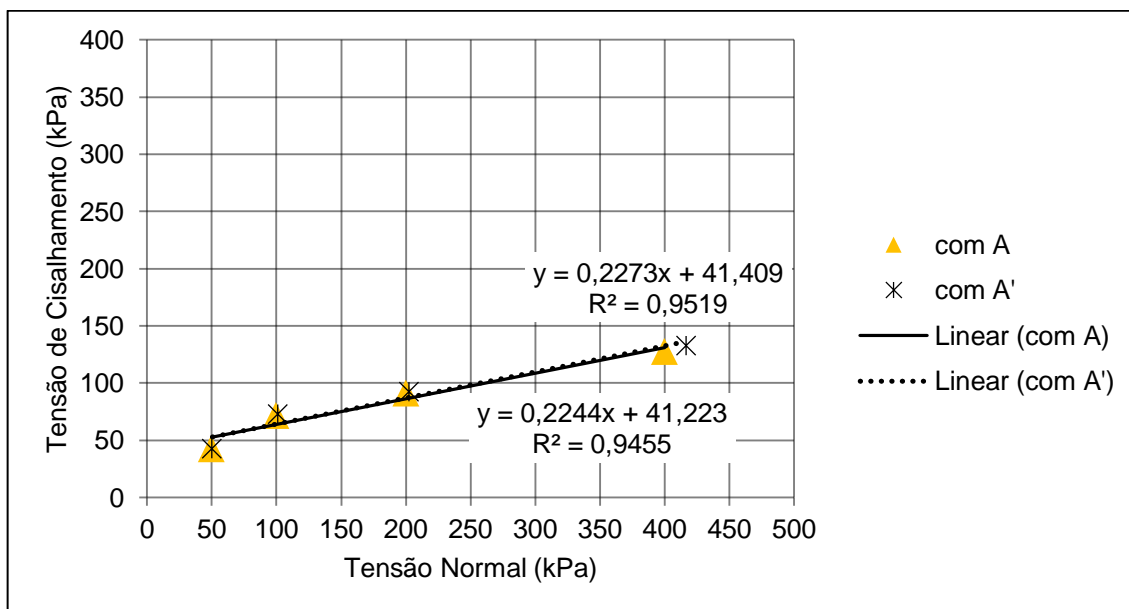
Legenda: [ \* ]: desconsiderado na envoltória de ruptura; [CP]: corpo de prova

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

A partir dessas tensões da Tabela 14, pode-se traçar a envoltória de ruptura. No entanto, para isso, desconsiderou-se o CP6 por ser uma repetição da aplicação do carregamento de 400 kPa e ter resultado em um valor de tensão de cisalhamento máxima inferior ao submetido a 200 kPa, quando deveria superá-lo. O Gráfico 15 apresenta a envoltória de ruptura do solo S2, sob energia Modificada de

compactação, com as tensões calculadas para as áreas de cisalhamento constante e corrigida.

Gráfico 15 - Envoltória de Ruptura do solo S2 sob energia Modificada



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

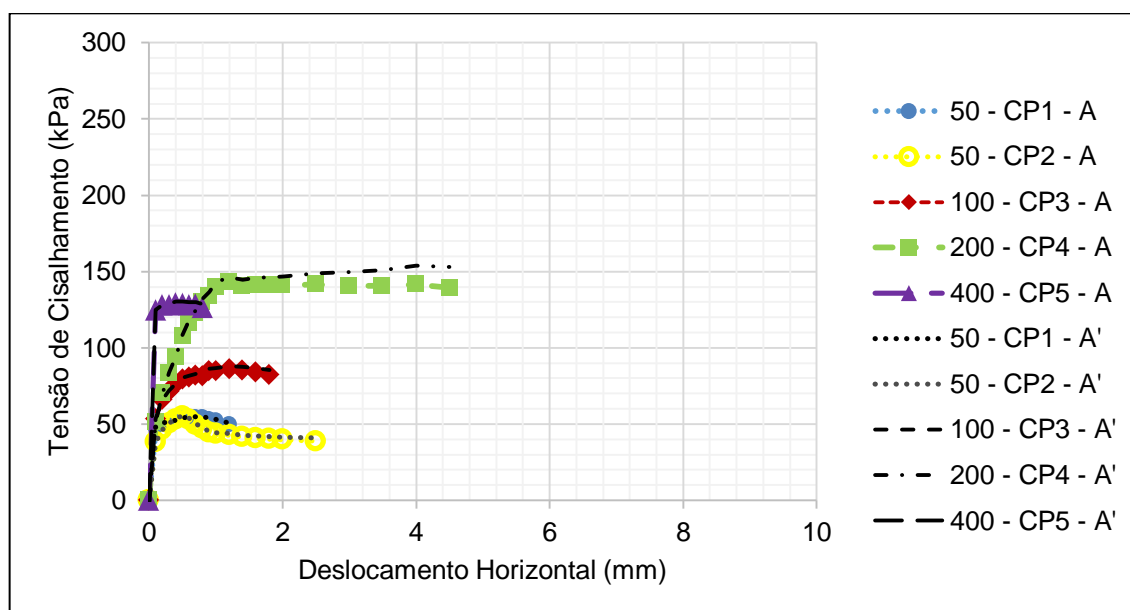
Pelo observado no Gráfico 15, as envoltórias de ruptura do solo S2, sob tensões de área constante e área corrigida, se equiparam numericamente e podem ser representadas pela Equação 9. Para o solo S2, compactado com energia Modificada, o intercepto coesivo igual a 41 kPa e ângulo de atrito interno de 13°, nas duas situações analisadas.

$$y = 0,2244x + 41,223$$

(9)

Finalmente, para o solo S3 compactado sob energia Modificada, temos o Gráfico 16 que mostra os deslocamentos horizontais desenvolvidos durante o ensaio em função das tensões de cisalhamento. As curvas correspondem a valores sujeitos à área de cisalhamento constante (A) e área corrigida (A').

Gráfico 16 - Curvas deslocamentos horizontais vs. tensões cisalhantes dos corpos de prova do solo S3 – energia Modificada



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

No Gráfico 16, referente ao solo S3 sob energia Modificada, percebe-se que há um aumento de tensão cisalhante conforme ocorre aumento dos carregamentos, apesar do CP sujeito à 400 kPa não ter superado o submetido à 200 kPa. As curvas demonstram que o solo apresentou um comportamento elástico-plástico durante os ensaios executados, para os CP2 e CP4 (com picos definidos) e CP1 (com pico brando). Exceto para os CP2 e CP5, seguem na mesma trajetória reta até sofrerem deformações distintas em função do acréscimo dos esforços. Além disso, apresentou comportamento plástico na tensão de 100 e 400 kPa, devido às deformações permanentes ocorrerem de forma gradativa, conforme os esforços aplicados. As curvas com picos definidos indicam uma ruptura frágil e comportamento de solo como Pré-Adensado (PA). Já para os carregamentos onde não há esse ponto mais alto em consequência da ruptura plástica, tipificam o comportamento como Normalmente Adensado (NA).

A Tabela 15, para o solo S3 compactado sob energia Modificada, apresenta os resultados das tensões normais de acordo com suas tensões de cisalhamento máximas correspondentes. A partir dessas tensões, pode-se traçar a envoltória de ruptura do solo S3 (sob área constante e área corrigida), conforme mostrados no Gráfico 17.

Tabela 15 - Tensões normais vs. tensões cisalhantes máximas – solo S3 sob energia Modificada

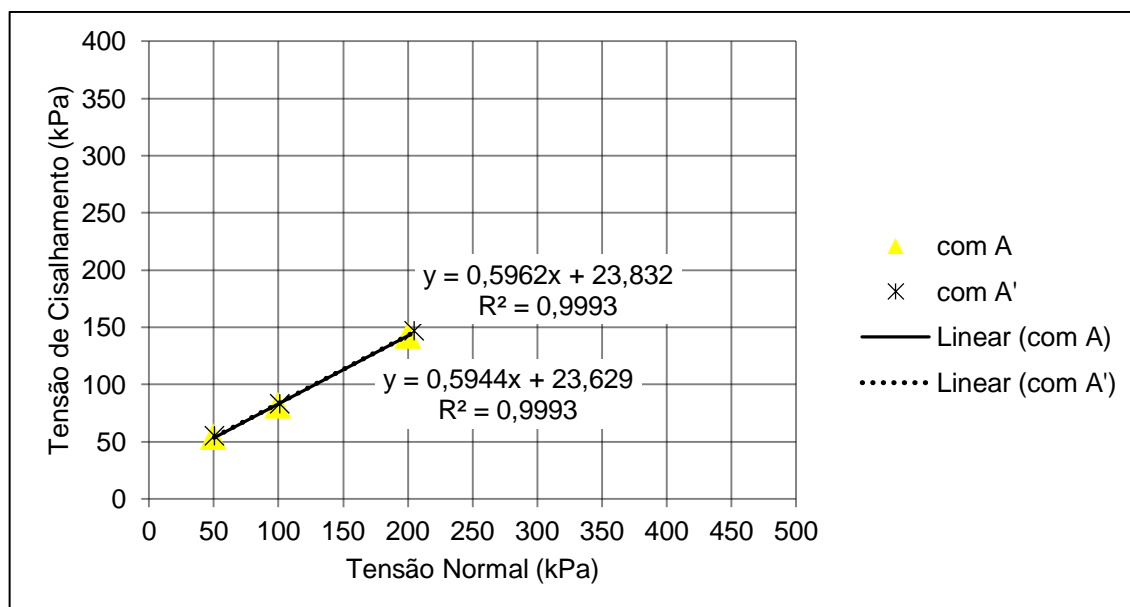
Solo	Energia de compactação	CP	Com área de cisalhamento constante		Com área de cisalhamento corrigida	
			Tensão Vertical (kPa)	Tensão de Cisalhamento (kPa)	Tensão Vertical (kPa)	Tensão de Cisalhamento (kPa)
S3	Modificada	1	50	54,24	50,71	55,01
		2	50	54,92*	50,50	55,47*
		3	100	81,73	101,42	82,89
		4	200	142,95	204,92	146,47
		5	400	129,11*	403,23	130,15*

Legenda: [ \* ]:desconsiderado na envoltória de ruptura; [CP]: corpo de prova

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

Nesse caso, para obtenção da envoltória de ruptura, foi desconsiderado o CP2 por ser uma repetição da aplicação do carregamento de 50 kPa, que apesar de ser numericamente similar ao do CP1, este trouxe melhor ajuste. Também foi desconsiderado o CP5 referente à 400 kPa, em função de ter tido um valor de tensão de cisalhamento máxima inferior ao submetido a 200 kPa, quando deveria superá-lo, o que pode ser explicado pela contração limitada.

Gráfico 17 - Envoltória de Ruptura do solo S3 sob energia Modificada



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

Pelo observado no Gráfico 17, para os corpos de prova do solo S3 compactados sob energia Modificada, as envoltórias de ruptura, tanto da área constante como da área corrigida, se equiparam numericamente e podem ser representadas pela Equação 10, para as tensões calculadas com área de cisalhamento constante. Tem-se, nesse caso, o intercepto coesivo igual a 24 kPa e ângulo de atrito interno de 31°, nas duas situações analisadas.

$$y = 0,5944x + 23,629$$

(10)

#### 4.3.3 Resumo dos parâmetros obtidos nos ensaios de cisalhamento direto

Na Tabela 16 são apresentados os valores dos parâmetros de resistência ao cisalhamento dos solos S1, S2 e S3, obtidos das envoltórias de ruptura, tanto para a condição de área constante como para área corrigida.

Tabela 16 - Parâmetros de resistência ao cisalhamento para os solos S1, S2 e S3

Solo	Energia de compactação	Com área de cisalhamento constante		Com área de cisalhamento corrigida	
		c (kPa)	$\Phi$ (°)	c (kPa)	$\Phi$ (°)
S1	Normal	0	29	0	29
	Modificada	25	31	24	31
S2	Normal	0	21	0	21
	Modificada	41	13	41	13
S3	Normal	0	29	0	29
	Modificada	24	31	24	31

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

Pelo observado na Tabela 16 não houveram variações nos valores de intercepto coesivos e ângulos de atrito interno, calculados a partir das envoltórias de ruptura com a área constante e a corrigida. Isso pode ser justificado pelos deslocamentos ocorridos durante o ensaio terem sido de pequena ordem em relação às dimensões totais dos corpos de prova, os quais não provocaram redução significativa nas seções que influenciavam na determinação das tensões e consequente obtenção dos parâmetros de resistência ao cisalhamento.

Confrontando os valores do intercepto coesivo para um mesmo solo submetido à energias de compactação diferentes (Tabela 16), pode-se perceber o ganho de

coesão em todos os casos, ou seja, alteração na consistência do solo. Isso é resultado, provavelmente, de um maior contato entre as partículas do solos, motivados pelo uso de uma maior energia de compactação (energia Modificada), permitindo uma melhor interação química/elétrica, possibilitando o desenvolvimento de um intercepto coesivo.

Fazendo o mesmo para o ângulo de atrito interno, nota-se que nos solos S1 e S3 melhora-se, ligeiramente, a colaboração do atrito conforme o aumento da energia de compactação (acréscimo de 6,89%), enquanto para o solo S2, há uma significativa queda no seu desempenho (decréscimo de 38,09%), a partir do momento em que este passa a ter a parcela coesiva. Além disso, é possível notar que os solos S1 e S3 resultaram em valores similares de intercepto coesivo e ângulo de atrito, tanto para as energias Normal como Modificada.

A tabela a seguir (Tabela 17) apresenta uma correlação entre os ângulos de atrito obtidos dos corpos de prova preparados sob energia Normal, que manifestaram ruptura plástica devido o comportamento Normalmente Adensado (NA), e os parâmetros de resistências propostos por Pinto (2006) em função do índice de plasticidade (IP). Percebe-se que os ângulos de atrito obtidos para os solos S1, S2 e S3 guardam relação com os encontrados pelo autor.

Tabela 17 - Correlação dos valores de IP e  $\phi$

Solo	Ensaio		Pinto (2006)	
	IP	$\phi$	IP	$\phi$
S1	10,757	29	20	26 a 34
S2	35,334	21	40	20 a 29
S3	14,784	29	20	26 a 34

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

#### 4.3.4 Verificação da saturação

Os barramentos de barragens e açudes estão constantemente em contato com a água e essa é considerada a conjuntura mais desfavorável a que estão submetidos. Para simular essa situação, os ensaios de cisalhamento direto foram realizados em condição inundada a fim de viabilizar a saturação dos solos. Porém, é difícil o controle da quantidade de água presente na estrutura porosa do solo, não tendo como saber com exatidão se toda amostra saturou. Para simplificação dessa determinação, optou-se por verificar o grau de saturação dos corpos de prova em

função dos teores de úmidade após o cisalhamento (Apêndice H), para assim compará-los com a referência para atingir a condição saturada (Tabela 18)

Tabela 18 - Condição de saturação dos corpos de prova de solos submetidos ao ensaio de cisalhamento direto

Solo	Energia	CP	Teor de úmidade após moldagem (%)	Grau de saturação após moldagem	Teor de úmidade para saturação (%)	Teor de úmidade após cisalhar (%)	Grau de saturação após cisalhar	Condição
S1	EN	2	23,173	89,65	25,85	27,63	<b>106,88</b>	<b>SATURADO</b>
		6	23,173	86,26	26,86	26,38	<b>98,21</b>	<b>SATURADO</b>
		7	23,173	92,78	24,98	25,43	<b>101,84</b>	<b>SATURADO</b>
		8	23,173	89,13	26,00	24,67	<b>94,89</b>	<b>NÃO SATURADO</b>
S2	EN	2	25,693	87,98	29,20	31,60	<b>108,19</b>	<b>SATURADO</b>
		3	25,693	85,54	30,04	30,22	<b>100,62</b>	<b>SATURADO</b>
		4	25,693	87,73	29,29	29,51	<b>100,76</b>	<b>SATURADO</b>
		5	25,693	86,02	29,87	27,03	<b>90,51</b>	<b>NÃO SATURADO</b>
S3	EN	1	17,958	78,49	22,88	24,95	<b>109,07</b>	<b>SATURADO</b>
		2	17,958	80,47	22,32	24,37	<b>109,22</b>	<b>SATURADO</b>
		4	17,958	80,22	22,39	23,21	<b>103,68</b>	<b>SATURADO</b>
		7	17,958	81,23	22,11	23,82	<b>107,76</b>	<b>SATURADO</b>
		8	17,958	80,35	22,35	23,41	<b>104,74</b>	<b>SATURADO</b>
		9	17,958	80,35	22,35	22,64	<b>101,31</b>	<b>SATURADO</b>
S1	EM	1	18,911	100,31	18,85	22,62	<b>120,00</b>	<b>SATURADO</b>
		2	18,911	90,78	20,83	23,29	<b>111,79</b>	<b>SATURADO</b>
		4	18,911	96,71	19,56	23,52	<b>120,26</b>	<b>SATURADO</b>
		5	18,911	92,56	20,43	24,94	<b>122,08</b>	<b>SATURADO</b>

Continua...

Continuação...

S2	EM	1	21,193	94,48	22,43	26,98	<b>120,28</b>	<b>SATURADO</b>
		2	21,193	89,38	23,71	29,10	<b>122,74</b>	<b>SATURADO</b>
		3	21,193	90,30	23,47	24,01	<b>102,29</b>	<b>SATURADO</b>
		5	21,193	90,30	23,47	26,85	<b>114,39</b>	<b>SATURADO</b>
		6	21,193	91,35	23,20	25,72	<b>110,85</b>	<b>SATURADO</b>
S3	EM	1	16,711	87,42	19,11	22,58	<b>118,13</b>	<b>SATURADO</b>
		2	16,711	87,43	18,90	21,74	<b>115,07</b>	<b>SATURADO</b>
		3	16,711	90,64	18,44	22,53	<b>122,23</b>	<b>SATURADO</b>
		4	16,711	90,79	18,41	21,28	<b>115,60</b>	<b>SATURADO</b>
		5	16,711	90,49	18,47	20,85	<b>112,91</b>	<b>SATURADO</b>

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

Pelo observado na Tabela 18, após os ensaios de cisalhamento direto, quase a totalidade dos CPs ensaiados excederam o valor do teor de úmidade na condição saturada, enquanto os CP8 (do solo S1) e CP5 (do solo S2), na energia Normal, ficaram altamente saturados.

Após o ensaio, as amostras compactadas sob energia Normal superaram ligeiramente os seus valores do teor de úmidade em 100% de saturação. Já na energia Modificada o valor de saturação extrapola, talvez pelo fato de haver expansão após o cisalhamento, oportunizando a entrada de água na superfície de ruptura.

Para os CPs que não atingiram a saturação, pode ser explicado por alguma característica intrínseca da amostra ter influenciado na absorção, pois atentou-se para manter constante o nível que cobrisse o corpo de prova dentro da câmara de água.

É relevante enfatizar que, devido o ensaio ser realizado na condição inundada, há uma frente de infiltração, ou seja, o corpo de prova fica submerso e suas bordas se mantêm úmidas enquanto o interior está seco, até ocorrer a redistribuição da água da superfície para a profundidade. Sendo assim, é possível que os dados obtidos sejam a saturação da nova superfície de contato criada, durante o



cisalhamento. Diante disso, supõe-se que no momento em que se registraram as tensões máximas de cisalhamento, o solo não tenha sido capaz de alcançar a saturação. Por outro lado, levando-se em consideração as tensões residuais, essas estariam com mais condições de serem as representativas do momento da ruptura.

#### 4.4 Análise de estabilidade de taludes

Além dos parâmetros de cisalhamento do solo calculados em função da compactação sob energia Normal e Modificada, foi necessária a determinação do peso específico natural e do saturado em ambas condições, como mostra a Tabela 19. O peso específico natural reproduz o do solo após o término da construção do aterro do barramento, ainda na condição não inundada, enquanto o peso específico saturado representa a situação de barragem cheia, com esvaziamento rápido.

Tabela 19 - Peso específico natural e saturado dos solos S1, S2 e S3

Solo	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )		$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	
	Energia Normal	Energia Modificada	Energia Normal	Energia Modificada
S1	19,70	20,99	20,15	21,17
S2	18,84	20,39	19,58	20,73
S3	19,86	20,95	20,23	21,16

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

No Apêndice I encontram-se as plantas planialtimétricas das estruturas de barramentos. As seções para as simulações de estabilidade de taludes foram escolhidas a partir da análise dos perfis mais representativos, que delinearão os elementos de montante e de jusante. Sendo assim, conseguiu-se estabelecer os principais casos: 1) de projeto, como comparativo às condições reais de campo; 2) de maiores inclinações, ou seja, mais favoráveis à estabilidade do maciço em função do abatimento; 3) de menores inclinações, evidenciando as situações mais íngremes e 4) mais alta, pois é crítica devido à pressão provocada pela água.

Em razão disso, para a barragem situada no Rincão de São Miguel foram determinadas cinco seções e para o açude localizado na Encruzilhada, uma seção.

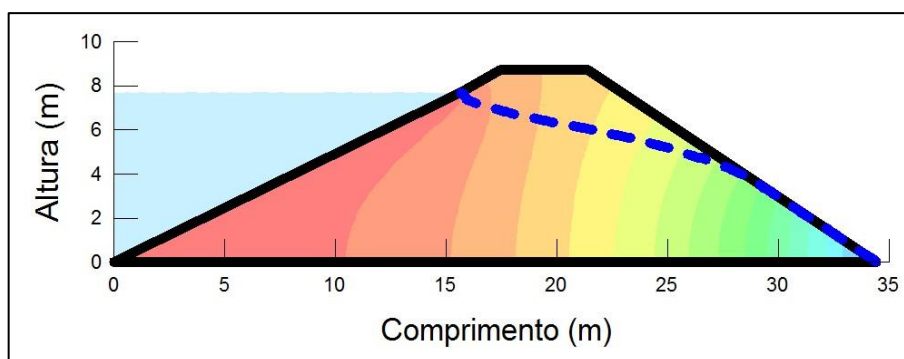
Quando medido em campo, o reservatório referente aos solos S1 e S2 (Figuras 34 a 38) estava com o nível d'água muito baixo, não sendo representativo da condição crítica. Por isso, baseado na verificação feita por Salinas (2017, p. 67), sobre os valores de bordas livres usuais em Alegrete/RS, adotou-se o valor de 1

metro nesse estudo, que é referente à um carregamento excepcional (nível de água máximo).

Nas simulações das seções transversais (Figuras 34 a 39), utilizou-se o Seep/W apenas para gerar a rede de fluxo, a linha piezométrica e considerar sua interferência no fator de segurança. Cabe salientar que na simulação do Seep/W foram aproveitados os resultados de Quevedo (2015), referente a ensaios de permeabilidade para corpos de prova na energia Normal, executados para os solos S1, S2 e S3.

As Figuras 34 a 39 apresentam os perfis transversais dos barramentos, já modelados com suas linhas piezométricas e diagramas de perdas de carga correspondentes, para ilustrar o comportamento permeabilidade no maciço. Essa perda de carga no meio poroso ocorre entre dois pontos devido à diferença de carga total. Também, são indicadas as inclinações dos taludes em relação à base.

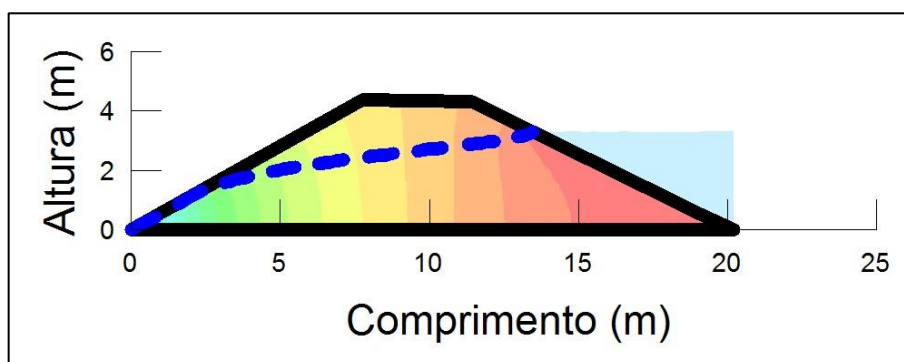
Figura 34 - Seção 1: Perfil transversal de projeto



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

A Figura 34 mostra a Seção 1, de projeto, que foi definida a partir de uma inclinação de  $63^\circ$  à montante e  $56^\circ$  à jusante.

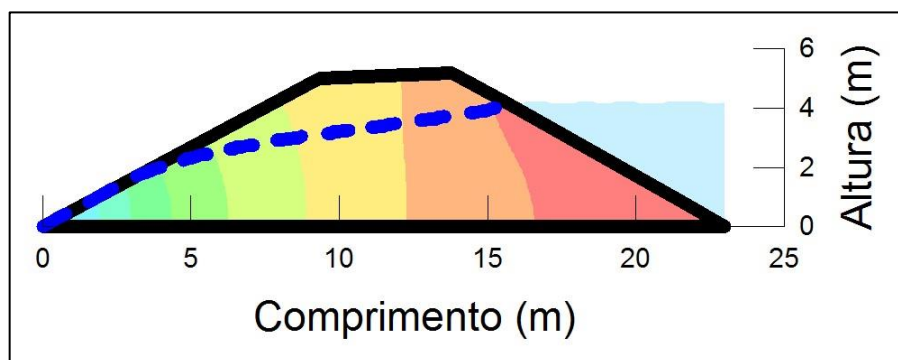
Figura 35 - Seção 2: Perfil transversal com maior ângulo à montante e maior altura total



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

A Figura 35 mostra a Seção 2, obtida através do levantamento topográfico das condições de campo, a qual revelou o maior ângulo à montante, sendo esse igual a  $66^\circ$ , o mesmo de jusante.

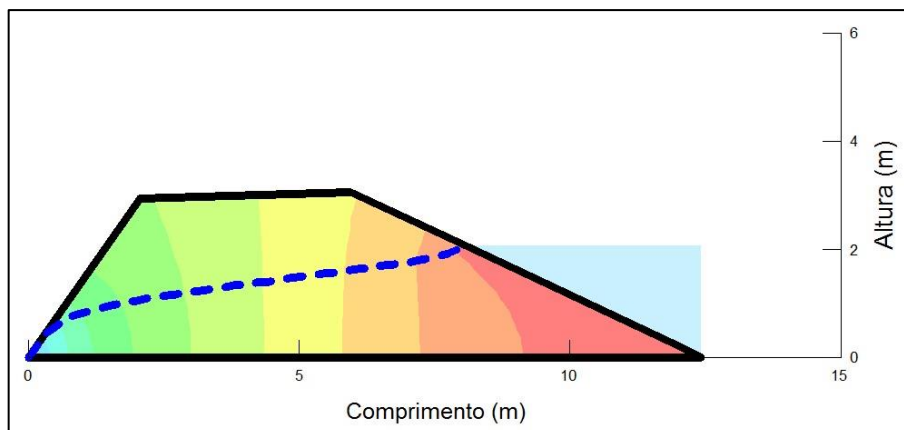
Figura 36 – Seção 3: Perfil transversal com maior ângulo à jusante e maior altura total



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

A Figura 36 mostra a Seção 3, obtida através do levantamento topográfico das condições de campo, a qual revelou o maior ângulo à jusante, sendo esse igual a  $68^\circ$ , enquanto à montante foi de  $63^\circ$ . Além disso, essa seção foi identificada com a maior altura, da base até a crista.

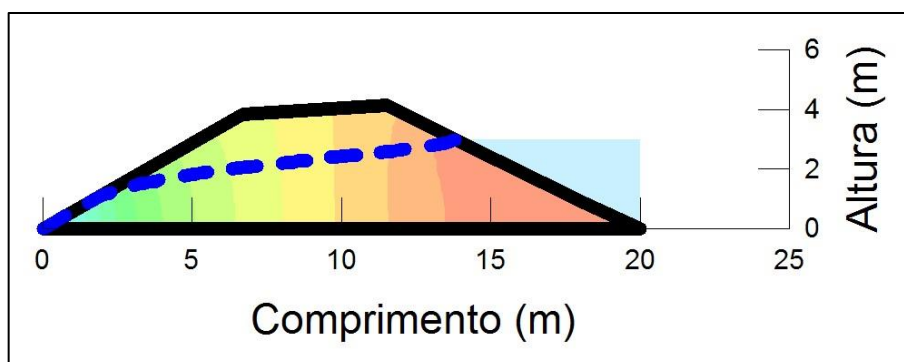
Figura 37 - Seção 4: Perfil transversal com menor ângulo à jusante



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

A Figura 37 mostra a Seção 4, obtida através do levantamento topográfico das condições de campo, a qual revelou-se mais crítica à jusante, com ângulo igual a  $35^\circ$ , enquanto à montante foi de  $64^\circ$ .

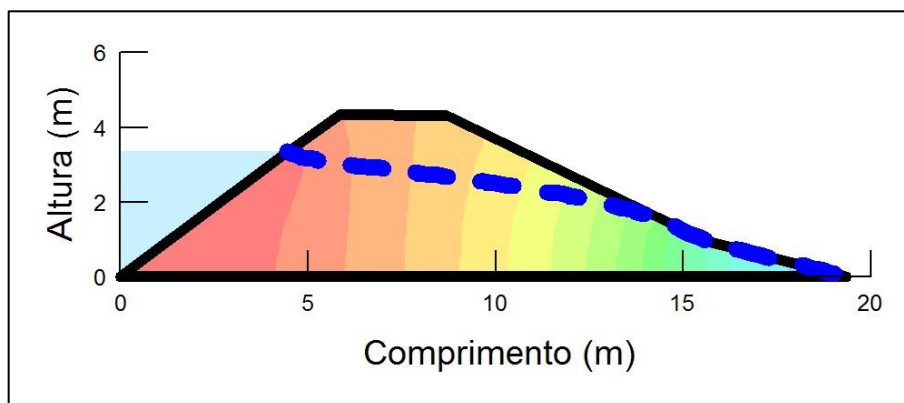
Figura 38 - Seção 5: Perfil transversal com menor ângulo à montante



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

A Figura 38 mostra a Seção 5, obtida através do levantamento topográfico das condições de campo, a qual revelou-se mais crítica à montante, com ângulo igual a  $61^\circ$ , enquanto à jusante foi de  $63^\circ$ .

Figura 39 - Seção 6: Perfil transversal com menor ângulo à jusante e maior altura total



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

A Figura 39 mostra a Seção 6, obtida através do levantamento topográfico das condições de campo, a qual revelou-se mais crítica à jusante, com ângulo igual a  $65^\circ$ , enquanto à montante foi de  $54^\circ$ . Além disso, essa seção foi identificada com a maior altura, da base até a crista.

Posteriormente, as seções simuladas no Seep/W foram extrapoladas para o Slope/W, a fim de realizar a análises de estabilidade de taludes de jusante e montante, para os diferentes solos utilizados (S1, S2 e S3). As simulações da estabilidade de taludes foram executadas para as condições de final de construção do barramento e operação dos reservatórios (com presença de água). Para admitir o mesmo fator de segurança para toda estrutura, descreveu-se a ruptura global do aterro. O método utilizado para análise da estabilidade dos taludes foi Bishop. No Apêndice J estão todas as simulações e a Tabela 20, apresenta os seus resultados.

Tabela 20 - Resultados dos fatores de segurança da análise de estabilidade de taludes

Solo		S1							
Seção	Nível d'água	SEM NA				COM NA			
1	Energia de compactação	EN		EM		EN		EM	
	Talude	J	M	J	M	J	M	J	M
	FS	0,849	1,046	2,640	3,133	0,849	1,042	2,630	4,256
	Condição	*	**	***	***	*	**	***	***
2	Energia de compactação	EN		EM		EN		EM	
	Talude	J	M	J	M	J	M	J	M
	FS	1,032	1,169	3,902	4,445	1,032	1,156	3,883	5,648
	Condição	**	**	***	***	**	**	***	***
3	Energia de compactação	EN		EM		EN		EM	
	Talude	J	M	J	M	J	M	J	M
	FS	1,065	1,001	3,823	3,504	1,065	1,003	3,806	4,829
	Condição	**	**	***	***	**	**	***	***
4	Energia de compactação	EN		EM		EN		EM	
	Talude	J	M	J	M	J	M	J	M
	FS	0,463	1,223	3,262	5,620	0,463	1,237	3,242	6,820
	Condição	*	**	***	***	*	**	***	***
5	Energia de compactação	EN		EM		EN		EM	
	Talude	J	M	J	M	J	M	J	M
	FS	1,001	1,140	4,116	4,419	1,002	1,144	4,033	5,673
	Condição	**	**	***	***	**	**	***	***
Solo		S2							
Seção	Nível d'água	SEM NA				COM NA			
1	Energia de compactação	EN		EM		EN		EM	
	Talude	J	M	J	M	J	M	J	M
	FS	0,588	0,724	2,377	2,815	0,588	0,722	2,349	4,289
	Condição	*	*	***	***	*	*	***	***
2	Energia de compactação	EN		EM		EN		EM	
	Talude	J	M	J	M	J	M	J	M
	FS	0,715	0,803	4,544	4,714	0,715	0,798	4,479	6,339
	Condição	*	*	***	***	*	*	***	***
3	Energia de compactação	EN		EM		EN		EM	
	Talude	J	M	J	M	J	M	J	M
	FS	0,737	0,690	4,078	3,780	0,737	0,686	4,022	5,410
	Condição	*	*	***	***	*	*	***	***
4	Energia de compactação	EN		EM		EN		EM	
	Talude	J	M	J	M	J	M	J	M
	FS	0,321	0,861	4,156	6,595	0,321	0,849	4,095	8,401
	Condição	*	*	***	***	*	*	***	***
5	Energia de compactação	EN		EM		EN		EM	
	Talude	J	M	J	M	J	M	J	M
	FS	0,682	0,790	4,782	4,911	0,685	0,792	4,820	6,643
	Condição	*	*	***	***	*	*	***	***
Solo		S3							
Seção	Nível d'água	SEM NA				COM NA			
6	Energia de compactação	EN		EM		EN		EM	
	Talude	J	M	J	M	J	M	J	M
	FS	1,166	0,783	4,244	3,319	1,186	0,774	4,224	4,792
	Condição	**	*	***	***	**	*	***	***

Legenda: [\*] Instável [\*\*] Estável mas não seguro [\*\*\*] Estável e seguro

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da pesquisa

Na Tabela 20, observa-se em todas as seções dos maciços compactados sob energia Normal, que as análises de estabilidade dos taludes mostram fatores de segurança inseridos na faixas de “estável mas não seguro” e “instável”. Já as simulações realizadas nas seções dos maciços compactados sob energia Modificada, mostram na sua totalidade, fatores de segurança inseridos na faixa “estável e seguro”. Isso permite justificar para as condições das seções dos barramentos estudados, os solos S1, S2, e S3 quando compactados sob energia Normal não apresentam parâmetros de resistência que possibilitem a estabilidade e segurança dos taludes nas geometrias analisadas. No entanto, para esses mesmos solos quando compactados sob energia Modificada, possibilitam estabilidade e segurança dos taludes. Para a seção de projeto, constata-se que o perfil longitudinal definido não corresponde ao de campo. Considerando que os barramentos aqui estudados estão fase em operação, acredita-se que os seus maciços foram construídos a partir de camadas compactadas com energias acima da Normal, garantindo assim na prática, a estabilidade dos seus taludes.

Cabe observar que o nível piezométrico favoreceu o fator de segurança à montante. Além disso, vale lembrar que os parâmetros de resistência utilizados nas simulações de estabilidade de taludes, são representativos de tensões totais, isso, devido ao fato dos ensaios de cisalhamento direto ser recomendado para solos granulares, além de não permitir monitorar as poropressões no interior dos corpos de prova.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

### 5.1 Conclusões

Com base nos resultados obtidos por Quevedo (2015) e Pagnossim (2015), pode-se dizer que os solos S1 e S3, embora coletados em locais distintos, são agrupados numa mesma classificação geotécnica, sendo denominados como argila pouco plásticas (CL), já o solo S2 foi classificado como uma argila muito plástica com areia (CH).

Os corpos de prova dos solos S1, S2 e S3 compactados sob energia Normal, quando submetidos a ensaios de cisalhamento direto, mostraram curvas tensão cisalhantes vs. deslocamento horizontal de comportamento normalmente adensados. Dessa forma, a envoltória de ruptura desses solos compactados sob energia Normal, apresentam como parâmetro de resistência somente ângulos de atrito.

Os solos estudados neste trabalho (S1, S2 e S3) quando compactados sob energia Modificada, mostram comportamento de curvas de tensão cisalhantes vs. deslocamento horizontal pré-adensados. Conseqüentemente, as envoltórias de ruptura desses solos apresentam como parâmetros de resistência o ângulo de atrito e o intercepto de coesão.

As simulações de análises de estabilidade dos taludes realizadas nas seções dos maciços compactados sob energia Normal, mostram fatores de segurança inseridos na faixa de “estável mas não seguro” a “instáveis”. Já as simulações realizadas nas seções dos maciços compactados sob energia Modificada, mostraram na sua totalidade, fatores de segurança inseridos na faixa “estável e seguro”. Também constata-se que as análises feitas para os reservatórios na situação após construção e com rebaixamento rápido do nível de água, não resultaram em mudanças nas condições de estabilidades dos taludes (apenas aumentou os fatores de segurança à montante, no caso da energia Modificada).

O aumento da energia de compactação num solo fino pode levar a aumentar significativamente a sua resistência ao cisalhamento direto.

Os solos estudados nesta pesquisa mostraram-se adequados para a construção de barragens e açudes de pequeno porte, desde que os mesmos sejam compactos sob energia Modificada.



Finalmente, salienta-se a importância de realizar ensaios geotécnicos nos solos usados para edificações de barragens e açudes .

## **5.2 Sugestões para pesquisas futuras**

Utilizando os resultados experimentais dos solos S1, S2 e S3, fazer simulações de estabilidade de taludes nos barramentos estudados propondo melhorias nas condições de segurança, compatibilizando geometrias e variação dos níveis de água.

Analisar se o solo compactado com úmidades nos ramos seco e úmido, em diferentes energias, tem grande influência na resistência ao cisalhamento e na permeabilidade.

Avaliar o efeito do aumento da energia de compactação no desenvolvimento do intercepto coesivo.

Realizar os ensaios de cisalhamento direto com amostras indeformadas, coletadas diretamente dos barramentos, a fim de fazer as simulações com as condições de resistência e permeabilidade do local.

Para os solos S1, S2 e S3, fazer as simulações utilizando os parâmetros de resistência e coeficientes hidráulicos para a energia Modificada.

Correlacionar os dados de resistência ao cisalhamento com a erodibilidade do solo.

## 6 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.681**: Controle tecnológico de aterros. Rio de Janeiro, 1977.

\_\_\_\_. **NBR 6.457**: Amostras de solo. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_. **NBR 6.459**: Limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_. **NBR 6.502**: Rochas e solos: terminologia. Rio de Janeiro, 1969.

\_\_\_\_. **NBR 6508**: Grãos de Solos que Passam na Peneira de 4,8mm. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_. **NBR 6.497**: Levantamento Geotécnico. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_. **NBR 7.180**: Limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_. **NBR 7.181**: Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_. **NBR 7.182**: Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_. **NBR 7.185**: Massa específica pelo frasco de areia. Rio de Janeiro, 1986

\_\_\_\_. **NBR 9604**: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_. **NBR 11.682**: Estabilidade de taludes. Rio de Janeiro, 2009.

AGUILERA, C. E. T. **Aplicação de Métodos de Análise de Estabilidade de Taludes de Grande Altura em Mineração**. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2009.

ALBUQUERQUE, P. **Notas de aula**. Sorocaba: FACENS, 2003. Disponível em: <<http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto4/Muros%20Arrimo/Ap%20Obras%20Terra.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2017.

ALMEIDA, G. C. P. **Caracterização Física e Classificação dos Solos**. Juiz de Fora: UFJF, 2005. Disponível em: <[http://ufrj.br/institutos/it/deng/rosane/downloads/material%20de%20apoio/APOSTILA\\_SOLOS.pdf](http://ufrj.br/institutos/it/deng/rosane/downloads/material%20de%20apoio/APOSTILA_SOLOS.pdf)>. Acesso em: 30 mai. 2017.

ANA – Agência Nacional das Águas. **Relatório de segurança de barragens 2015**. Brasília: ANA, 2016.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D3080/D3080M**: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. West Conshohocken: ASTM International, 2011.

BASTOS, C.A.B. **Compactação dos solos**. Rio Grande: FURG, [20--]a. Disponível em: <ftp://ftp.ifes.edu.br/cursos/Transportes/CelioDavilla/Solos/Literatura%20complementar/Apostila%20FURG%20Solos/07-%20COMPACTACAO.pdf>>. Acesso em: 30 nov. 2015.

BASTOS, C.A.B. **Textura e granulometria dos solos**. Rio Grande: FURG, [20--]b. Disponível em: <ftp://ftp.ifes.edu.br/cursos/Transportes/CelioDavilla/Solos/Literatura%20complementar/Apostila%20FURG%20Solos/05.3-%20TEXTURA.pdf> />. Acesso em: 30 nov. 2015.

BRASIL. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília: Ministério BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 21 set. 2010.

CAPUTO, H. P. . **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008a, v. 1.

CAPUTO, H. P. . **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008b, v. 2.

CARVALHO, D. **Barragens**: uma introdução para graduandos. Campinas: UNICAMP, 2011. Disponível em: <[http://www.fec.unicamp.br/~persio/Apostila\\_Barragens\\_FEAGR\\_2011.pdf](http://www.fec.unicamp.br/~persio/Apostila_Barragens_FEAGR_2011.pdf)>. Acesso em: 28 nov. 2015.

CIGANA, C. **Estado vai classificar risco de barragens**. *Zero Hora*, Porto Alegre, 11 nov. 2015: ZH, 2015. Disponível em: <<http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/noticia/2015/11/estado-vai-classificar-risco-de-barragens-4900207.html>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

CIGB – Comissão Internacional de Grandes Barragens. **80 anos**: Barragens para o desenvolvimento humano. Curitiba: CBDB, 2008b.

CIGB – Comissão Internacional de Grandes Barragens. **A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI**: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens. Rio de Janeiro: CBDB, 2011.

CIGB – Comissão Internacional de Grandes Barragens. **As barragens e a água do mundo**: Um livro educativo que explica como as barragens ajudam a administrar a água do mundo. Curitiba: CBDB, 2008a.

COSTA, W. D. **Geologia de barragens**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. da Integração Nacional, 2002.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo: DAEE, 2005.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations . **Manual sobre pequenas barragens de terra**: guia para localização, projecto e construção. Roma: FAO, 2011.

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Portaria FEPAM nº 30, de 22 de abril de 2014. **Diário Oficial [do] RS**. Porto Alegre, RS, 24 abr. 2014.

FIORI, A. P. ; CARMIGNAMI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas**: aplicações na estabilidade de taludes. 2.ed Curitiba: UFPR, 2009.

FIORI, A. P. ; CARMIGNAMI, L. **Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas**: aplicações na estabilidade de taludes. 3.ed Curitiba: São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

GEOSTUDIO. **Version 8**. Calgary, Canadá: GEO-SLOPE International Ltd., 2012.

GERSCOVICH, D. M. S. **Recalques em Solos Argilosos**. Rio de Janeiro: UERJ, 2011a. Disponível em: <<http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/compressibilidadeadensamento.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2017.

GERSCOVICH, D. M. S. **Resistência ao Cisalhamento**. Rio de Janeiro: UERJ, 2011b. Disponível em: <<http://www.eng.uerj.br/~denise/pdf/resistenciacisalhamento.pdf>>. Acesso em: 12 mai. 2017.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de taludes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

GOMES, C. **Secretaria do Ambiente capacita para fiscalização de barragens**. *Governo do Estado do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, 02 ago. 2016: RS, 2016. Disponível em: < <http://www.rs.gov.br/conteudo/243811/secretaria-do-ambiente-capacita-para-fiscalizacao-de-barragens>>. Acesso em: 10 mai. 2017.

GUSMÃO Filho, J. A. **Desempenho de obras geotécnicas**. Recife: UFPE, 2006.

KNIERIM, L. S. **Estudo do comportamento mecânico de um solo fino compactado e estabilizado quimicamente para utilização em barragens de pequeno porte**. . Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pampa. Alegrete, 2016.

LEME, R. F. **Influência da sucção mátrica nas condições de fluxo e estabilidade de taludes da barragem Pesqueiro**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Ceará. Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Fortaleza, 2009.

LIMA, D. C. ; TRINDADE, T.P. ; CARVALHO, C. A. B. ; MACHADO, C.C. ; PEREIRA, R.S. **Compactação de Solos**. In: VI Simpósio Brasileiro sobre Transporte e Estradas Florestais, 2003, Belo Horizonte. VI Simpósio Brasileiro sobre Transporte e Estradas Florestais, 2003. v. V.1. p. 297-325.

MARANGON, M. **Tópicos em geotecnia e obras de terra**. Juiz de Fora: UFJF, 2004. v.1 Disponível em: < <http://www.ufjf.br/nugeo/pagina-do-aluno/notas-de-aula/topicos-em-geotecnia-e-obras-de-terra/>>. Acesso em: 26 nov. 2015.

MASSAD, F. **Obras de terra: curso básico de geotecnia**. 2.ed. São Paulo. Oficina de Textos, 2010.

MATOS, A. T.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. **Barragens de Terra de Pequeno Porte**. Viçosa: UFV, 2012.

MENESCAL, R. A.; PERINI, D. S.; SCHERER-WARREN, M.; CARVALHO, M. S. B. S.; MARTINS, E. S. P. R.; SOARES, A. M. L.; CHAVES, L. C. G; OLIVEIRA, F. A. J. Identificação de reservatórios naturais e artificiais no Brasil. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2009, Campo Grande. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH.

MOLINA Junior, W.F. **Comportamento mecânico do solo em operações agrícolas**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2017.

PAGNOSSIN, M. L.. **Estudo da estabilização de um solo laterítico, sob adição de cal e sílica da casca de arroz para edificação de barragens**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola). Alegrete: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha/Universidade Federal do Pampa, 2015.

QUEVEDO, J. C. **Estudo do comportamento hidráulico de solos compactados para uso em barramentos de pequeno porte**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola). Alegrete: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha/Universidade Federal do Pampa, 2015.

PEREIRA, T. S.. **Avaliação do Desempenho de Diferentes Métodos de Análise de Estabilidade de Taludes em Barragens de Terra**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. 2013.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica Dos Solos Com Exercícios Resolvidos**. 2.ed. São Paulo. Oficina de Textos, 2006.

RODRIGUES Junior, N. ; MÜLLER, V. S. ; ESPÍNDOLA, M. S. ; BESSA, G. ; PARIZOTO, D. ; MAESTRI, M. A. P. **Ensaaios de caracterização física, compressibilidade e resistência ao cisalhamento de três misturas de solos para barragens de terra em Santa Catarina.** In. 15º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2015.

ROZA, A.E.D. **Geotecnia I: Granulometria dos solos.** Sinop: UNEMAT, 2006. Disponível em: <[http://sinop.unemat.br/site\\_antigo/prof/foto\\_p\\_downloads/fot\\_9692aula\\_6\\_-\\_gbanulometbia\\_dos\\_solos\\_pdf.pdf](http://sinop.unemat.br/site_antigo/prof/foto_p_downloads/fot_9692aula_6_-_gbanulometbia_dos_solos_pdf.pdf)>. Acesso em: 11 jun. 2018.

SALINAS, J. V. **Estudo dos processos construtivos e das patologias de açudes e barragens geotécnicas de pequeno porte.** Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Civil). Alegrete: Universidade Federal do Pampa, 2017.

SANTOS, J. N. B. **Classificação de solos: SUCS.** Joinville: UDESC, 2017. Disponível em: <[http://www.cct.udesc.br/arquivos/id\\_submenu/1470/classificacao\\_sucs\\_2017.pdf](http://www.cct.udesc.br/arquivos/id_submenu/1470/classificacao_sucs_2017.pdf)>. Acesso em: 26 nov. 2017.

SEMA - **Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável.** Licenciamentos de açudes e barragens destinados à irrigação serão simplificados. *Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável*, Porto Alegre, 04 mar. 2016: RS, 2016. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/licenciamentos-de-acudes-e-barragens-destinados-a-irrigacao-serao-simplificados>>. Acesso em: 10 mai. 2017

SILVA, J. P. M. **Os métodos de equilíbrio limite e dos elementos finitos na análise de estabilidade de taludes.** Dissertação (Mestrado). Universidade do Porto. Departamento de Engenharia Civil. Porto, 2011.

SILVA, P. B. A. **Discussão e proposta de ensaio de cisalhamento direto de Grande porte para obtenção de parâmetros de resistência de rejeito grosso de carvão mineral.** Rio de Janeiro: UFRJ/ESCOLA POLITÉCNICA, 2012

SOUZA, M. L. **Procesamiento de minerales I: caracterização de sólidos.** Montevideo: UDELAR, 2013. Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/3289928/>>. Acesso em: 30 nov. 2015.

TOMAZ, P. **Curso de manejo de águas pluviais.** [S.I], 2013. cap. 8 Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos\\_livros/livro\\_reservatórios/capitulo08.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_reservatórios/capitulo08.pdf)>. Acesso em: 26 nov. 2015.

WWC - World Water Council. **World Water Forum**. 3. Kyoto, 2003. Disponível em: <<http://www.iisd.ca/download/pdf/sd/sdvol82num8.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2015.



## APÊNDICES

## APÊNDICE A - Dados de moldagens dos corpos de prova para o ensaio de cisalhamento direto

Inicialmente, as amostras de solo coletadas em estado deformado tiveram seus teores de umidade verificados após variação de umidade por secagem em estufa.

Para a obtenção de uma moldagem eficiente dos corpos de prova, foi necessário conhecer a massa específica úmida das condições ótimas para cada solo ensaiado.

Através da relação de índices físicos, utilizando os valores determinados por Quevedo (2015) e expressos na Tabela 7, foi possível chegar nos resultados de massa específica úmida requerida para as energias em questão. A Tabela A-1 trás detalhadamente os resultados encontrados.

Tabela A-1 - Massa específica úmida das condições ótimas de compactação para os solos

<b>Solo</b>	<b>Energia de compactação</b>	<b>Massa específica úmida (g/cm<sup>3</sup>)</b>
S1	Normal	2,01
	Modificada	2,14
S2	Normal	1,92
	Modificada	2,08
S3	Normal	2,02
	Modificada	2,14

A partir da massa específica úmida calculada para a compactação nas energias empregadas, para o volume do molde de 50 cm<sup>3</sup> (5 cm x 5 cm x 2 cm), tem-se a massa úmida requerida por corpo de prova para atingir o peso específico máximo (Tabela A-2).

Tabela A-2 - Massa úmida requerida para moldagem de cada CP

<b>Solo</b>	<b>Energia de compactação</b>	<b>Massa úmida requerida por CP (g)</b>
S1	Normal	100,44
	Modificada	106,98
S2	Normal	96,01
	Modificada	103,88
S3	Normal	101,22
	Modificada	106,78

Na sequência, se encontram detalhadamente os dados de moldagem referentes à todos os corpos de prova compactados.

Tabela A-1 - Dados de moldagem dos CPs compactados sob energia Normal - solo S1

Massa inicial utilizada (g)	1100,78	passante na #4,8mm
Úmidade higroscópica (%)		
Água inicial utilizada (ml)	148,06	
Volume CP (cm <sup>3</sup> )	50	

CP	Massa solta inicial (g)	Massa compactada (g)	$\rho_{úm}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )
1	103,64	102,01	2,040	1,656
<b>2</b>	<b>102,94</b>	<b>101,30</b>	<b>2,026</b>	<b>1,645</b>
3	101,39	100,18	2,004	1,627
4	103,00	102,02	2,040	1,657
5	104,12	102,44	2,049	1,663
<b>6</b>	<b>101,22</b>	<b>99,67</b>	<b>1,993</b>	<b>1,618</b>
<b>7</b>	<b>104,02</b>	<b>102,78</b>	<b>2,056</b>	<b>1,669</b>
<b>8</b>	<b>102,16</b>	<b>101,08</b>	<b>2,022</b>	<b>1,641</b>
		Requerida na E.N	2,01	1,62

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
141	15,980	76,260	64,87	11,390	48,890	23,297	23,173
B13	18,53	97,670	82,88	14,790	64,350	22,984	
B120	13,83	76,99	65,080	11,910	51,250	23,239	
						Requerida na E.N.	24

Tabela A-2 - Dados de moldagem dos CPs compactados sob energia Modificada  
- solo S1

Massa inicial utilizada (g)	1100,74	passante na #4,8mm
Umidade higroscópica (%)		
Água inicial utilizada (ml)	111,75	
Volume CP (cm <sup>3</sup> )	50	

CP	Massa solta inicial (g)	Massa compactada (g)	$\rho_{úm}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )
<b>1</b>	<b>112,73</b>	<b>110,50</b>	<b>2,210</b>	<b>1,859</b>
<b>2</b>	<b>108,01</b>	<b>106,60</b>	<b>2,132</b>	<b>1,793</b>
3	110,38	108,83	2,177	1,830
<b>4</b>	<b>110,68</b>	<b>109,13</b>	<b>2,183</b>	<b>1,835</b>
<b>5</b>	<b>109,34</b>	<b>107,38</b>	<b>2,148</b>	<b>1,806</b>
6	108,52	107,49	2,150	1,808
7	111,57	109,71	2,194	1,845
8	109,04	107,67	2,153	1,811
		Requerida na E.M	2,14	1,78

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
214	16,740	79,910	69,88	10,030	53,140	18,875	18,911
9A	17,9	74,340	65,33	9,010	47,430	18,996	
165	15,28	73	63,840	9,160	48,560	18,863	
						Requerida na E.M.	20,2

Tabela A-3 - Dados de moldagem dos CPs compactados sob energia Normal -  
solo S2

Massa inicial utilizada (g)	1100,5	passante na #4,8mm
Úmidade higroscópica (%)		
Água inicial utilizada (ml)	154,33	
Volume CP (cm <sup>3</sup> )	50	

CP	Massa solta inicial (g)	Massa compactada (g)	$\rho_{úm}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )
1	100,92	100,05	2,001	1,592
2	<b>98,52</b>	<b>97,99</b>	<b>1,960</b>	<b>1,559</b>
3	<b>97,32</b>	<b>96,74</b>	<b>1,935</b>	<b>1,539</b>
4	<b>98,47</b>	<b>97,87</b>	<b>1,957</b>	<b>1,557</b>
5	<b>97,44</b>	<b>96,96</b>	<b>1,939</b>	<b>1,543</b>
6	98,39	97,79	1,956	1,556
7	97,53	97,01	1,940	1,544
8	98,45	98,02	1,960	1,560
9	98,97	98,08	1,962	1,561
10	98,01	97,68	1,954	1,554
		Requerida na E.N.	1,92	1,53

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
A5	14,390	33,260	29,37	3,890	14,980	25,968	25,693
130	13,96	38,610	33,65	4,960	19,690	25,190	
49	17,76	39,96	35,390	4,570	17,630	25,922	
						Requerida na E.N.	25,5

Tabela A-4 - Dados de moldagem dos CPs compactados sob energia Modificada  
- solo S2

Massa inicial utilizada (g)	1200,08	passante na #4,8mm
Umidade higroscópica (%)		
Água inicial utilizada (ml)	81,12	
Volume CP (cm <sup>3</sup> )	50	

CP	Massa solta inicial (g)	Massa compactada (g)	$\rho_{úm}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )
1	106,46	105,59	2,11	1,743
2	104,25	103,30	2,07	1,705
3	104,52	103,73	2,07	1,712
4	104,51	103,89	2,08	1,714
5	105,00	103,75	2,08	1,712
6	105,15	104,21	2,08	1,720
7	105,02	104,49	2,09	1,724
8	104,99	104,50	2,09	1,725
9	104,19	103,69	2,07	1,711
10	104,25	103,63	2,07	1,710
		Requerida na E.M.	2,08	1,71

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
132	15,860	40,580	36,22	4,360	20,360	21,415	21,193
14	17	41,240	37,05	4,190	20,050	20,898	
15	17,63	38,33	34,700	3,630	17,070	21,265	
						Requerida na E.M.	21,5

Tabela A-5 - Dados de moldagem dos CPs compactados sob energia Normal - solo S3

Massa inicial utilizada (g)	1200,03	passante na #4,8mm
Umidade higroscópica (%)		
Água inicial utilizada (ml)	159,99	
Volume CP (cm <sup>3</sup> )	50	

CP	Massa solta inicial (g)	Massa compactada (g)	$\rho_{úm}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )
<b>1</b>	<b>101,04</b>	<b>98,91</b>	<b>1,978</b>	<b>1,677</b>
<b>2</b>	<b>101,03</b>	<b>99,88</b>	<b>1,998</b>	<b>1,693</b>
3	101,07	99,11	1,982	1,680
<b>4</b>	<b>101,07</b>	<b>99,72</b>	<b>1,994</b>	<b>1,691</b>
5	101,08	99,70	1,994	1,690
6	101,09	98,77	1,975	1,675
<b>7</b>	<b>101,09</b>	<b>100,19</b>	<b>2,004</b>	<b>1,699</b>
<b>8</b>	<b>101,05</b>	<b>99,77</b>	<b>1,995</b>	<b>1,692</b>
<b>9</b>	<b>101,03</b>	<b>99,79</b>	<b>1,996</b>	<b>1,692</b>
		Requerida na E.N.	2,0244	1,68

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
244	13,580	58,470	51,61	6,860	38,030	18,038	17,958
202	13,52	52,660	46,76	5,900	33,240	17,750	
121	14,88	61,04	53,970	7,070	39,090	18,086	
						Requerida na E.N.	20,5

Tabela A-6 - Dados de moldagem dos CPs compactados sob energia Modificada

- solo S3

Massa inicial utilizada (g)	1200,04	passante na #4,8mm
Umidade higroscópica (%)		
Água inicial utilizada (ml)	117,11	
Volume CP (cm <sup>3</sup> )	50	

CP	Massa solta inicial (g)	Massa compactada (g)	$\rho_{úm}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )
1	106,79	104,47	2,089	1,790
2	106,80	104,88	2,098	1,797
3	106,81	105,74	2,115	1,812
4	106,80	105,77	2,115	1,813
5	106,80	105,70	2,114	1,811
6	106,81	105,77	2,115	1,813
7	106,80	105,90	2,118	1,815
8	106,79	105,22	2,104	1,803
9	106,79	105,43	2,109	1,807
10	106,79	105,98	2,120	1,816
		Requerida na E.M.	2,14	1,83

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
25	18,480	103,56	91,31	12,250	72,830	16,820	16,711
B13	18,53	102,89	90,88	12,010	72,350	16,600	
127	13,88	85,74	75,450	10,290	61,570	16,713	
						Requerida na E.N.	16,7



APÊNDICE B – Variação da altura do corpo de prova ao longo do tempo no ensaio de cisalhamento direto – fase de adensamento

Tabela B-1 – Dados de adensamento: CP2 – solo S1 sob energia Normal

Solo	S1		Energia de compactação	Normal
Carregamento N (kPa)	50		CP	2
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0	20	0
0,125	0,353553391	0,501376399	19,499	0,025069
0,25	0,5	0,516057992	19,484	0,025803
0,5	0,707106781	0,530739585	19,469	0,026537
1	1	0,542851899	19,457	0,027143
2	1,414213562	0,554413654	19,446	0,027721
4	2	0,56340613	19,437	0,02817
8	2,828427125	0,573316205	19,427	0,028666
15	3,872983346	0,581574601	19,418	0,029079
30	5,477225575	0,587997798	19,412	0,0294
60	7,745966692	0,592402276	19,408	0,02962
120	10,95445115	0,595889154	19,404	0,029794
240	15,49193338	0,599376032	19,401	0,029969
480	21,9089023	0,603046431	19,397	0,030152
524,5	22,90196498	0,60359699	19,396	0,03017985

Tabela B-2 – Dados de adensamento: CP6 – solo S1 sob energia Normal

Solo	S1		Energia de compactação	Normal
Carregamento N (kPa)	100		CP	6
Altura inicial CP H0 (mm)			19,981	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,019453111	19,981	0,000974
0,125	0,353553391	1,33235456	18,668	0,066681
0,25	0,5	1,35419343	18,646	0,067774
0,5	0,707106781	1,373095981	18,627	0,06872
1	1	1,387961094	18,612	0,069464
2	1,414213562	1,402642687	18,597	0,070199
4	2	1,41677372	18,583	0,070906
8	2,828427125	1,430904753	18,569	0,071613
15	3,872983346	1,443934667	18,556	0,072265
30	5,477225575	1,45733162	18,543	0,072936
60	7,745966692	1,468159295	18,532	0,073478
120	10,95445115	1,47880345	18,521	0,07401
240	15,49193338	1,486694806	18,513	0,074405
480	21,9089023	1,493668563	18,506	0,074754
487	22,06807649	1,494219123	18,506	0,074782

Tabela B-3 – Dados de adensamento: CP7 – solo S1 sob energia Normal

Solo	S1		Energia de compactação	Normal
Carregamento N (kPa)	200		CP	7
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,00036704	20	1,84E-05
0,125	0,353553391	1,37401358	18,626	0,068701
0,25	0,5	1,398238209	18,602	0,069912
0,5	0,707106781	1,41677372	18,583	0,070839
1	1	1,433474032	18,567	0,071674
2	1,414213562	1,450541384	18,549	0,072527
4	2	1,467608736	18,532	0,07338
8	2,828427125	1,484859607	18,515	0,074243
15	3,872983346	1,501376399	18,499	0,075069
30	5,477225575	1,516792072	18,483	0,07584
60	7,745966692	1,528537346	18,471	0,076427
120	10,95445115	1,537346302	18,463	0,076867
240	15,49193338	1,545237658	18,455	0,077262
480	21,9089023	1,552945495	18,447	0,077647
835,8	28,91020581	1,560469811	18,44	0,078023

Tabela B-4 – Dados de adensamento: CP8 – solo S1 sob energia Normal

Solo	S1		Energia de compactação	Normal
Carregamento N (kPa)	400		CP	8
Altura inicial CP H0 (mm)			19,999	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,00055056	19,999	2,75294E-05
0,125	0,353553391	2,944760507	17,055	0,147245388
0,25	0,5	3,005505597	16,994	0,150282794
0,5	0,707106781	3,036336943	16,964	0,151824438
1	1	3,060561571	16,939	0,15303573
2	1,414213562	3,08276748	16,917	0,154146081
4	2	3,10350523	16,896	0,155183021
8	2,828427125	3,122407781	16,878	0,156128195
15	3,872983346	3,137456414	16,863	0,156880665
30	5,477225575	3,152505047	16,847	0,157633134
60	7,745966692	3,16626904	16,834	0,158321368
120	10,95445115	3,177647275	16,822	0,158890308
240	15,49193338	3,190126629	16,81	0,159514307
480	21,9089023	3,201137823	16,799	0,160064894
628,8	25,07588483	3,205358781	16,795	0,160275953

Tabela B-5 – Dados de adensamento: CP1 – solo S1 sob energia Modificada

Solo	S1		Energia de compactação	Modificada
Carregamento N (kPa)	400		CP	1
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,00018352	20	9,18E-06
0,125	0,353553391	0,976876491	19,023	0,048844
0,25	0,5	0,996880161	19,003	0,049844
0,5	0,707106781	1,014131033	18,986	0,050707
1	1	1,028812626	18,971	0,051441
2	1,414213562	1,04257662	18,957	0,052129
4	2	1,054688934	18,945	0,052734
8	2,828427125	1,067535328	18,932	0,053377
15	3,872983346	1,078913562	18,921	0,053946
30	5,477225575	1,089374197	18,911	0,054469
60	7,745966692	1,099834832	18,9	0,054992
120	10,95445115	1,107542668	18,892	0,055377
240	15,49193338	1,113231786	18,887	0,055662
480	21,9089023	1,119838502	18,88	0,055992
582,5	24,13503677	1,120939622	18,879	0,056047

Tabela B-6 – Dados de adensamento: CP2 – solo S1 sob energia Modificada

Solo	S1		Energia de compactação	Modificada
Carregamento N (kPa)	50		CP	2
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,00018352	20	9,18E-06
0,125	0,353553391	0,5824922	19,418	0,029125
0,25	0,5	0,594604515	19,405	0,02973
0,5	0,707106781	0,60506515	19,395	0,030253
1	1	0,614424665	19,386	0,030721
2	1,414213562	0,621765462	19,378	0,031088
4	2	0,628555698	19,371	0,031428
8	2,828427125	0,635162415	19,365	0,031758
15	3,872983346	0,640484493	19,36	0,032024
30	5,477225575	0,64562305	19,354	0,032281
60	7,745966692	0,648926409	19,351	0,032446
120	10,95445115	0,650578088	19,349	0,032529
240	15,49193338	0,650394568	19,35	0,03252
480	21,9089023	0,650945128	19,349	0,032547
631,1	25,12170376	0,651495687	19,349	0,032575

Tabela B-7 – Dados de adensamento: CP4 – solo S1 sob energia Modificada

Solo	S1		Energia de compactação	Modificada
Carregamento N (kPa)	100		CP	4
Altura inicial CP H0 (mm)			19,997	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,002569279	19,997	0,000128
0,125	0,353553391	0,438979629	19,561	0,021952
0,25	0,5	0,45788218	19,542	0,022898
0,5	0,707106781	0,472747293	19,527	0,023641
1	1	0,487612406	19,512	0,024384
2	1,414213562	0,49917416	19,501	0,024962
4	2	0,509267756	19,491	0,025467
8	2,828427125	0,52119655	19,479	0,026064
15	3,872983346	0,530556065	19,469	0,026532
30	5,477225575	0,537896862	19,462	0,026899
60	7,745966692	0,543585979	19,456	0,027183
120	10,95445115	0,548173977	19,452	0,027413
240	15,49193338	0,551844375	19,448	0,027596
480	21,9089023	0,553679574	19,446	0,027688
1.270,40	35,64267106	0,560102771	19,44	0,028009

Tabela B-8 – Dados de adensamento: CP5 – solo S1 sob energia Modificada

Solo	S1		Energia de compactação	Modificada
Carregamento N (kPa)	200		CP	5
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0	20	0
0,125	0,353553391	0,565608369	19,434	0,02828
0,25	0,5	0,586529638	19,413	0,029326
0,5	0,707106781	0,602679391	19,397	0,030134
1	1	0,616626904	19,383	0,030831
2	1,414213562	0,629473298	19,371	0,031474
4	2	0,643053771	19,357	0,032153
8	2,828427125	0,655166086	19,345	0,032758
15	3,872983346	0,665259681	19,335	0,033263
30	5,477225575	0,674986236	19,325	0,033749
60	7,745966692	0,683061112	19,317	0,034153
120	10,95445115	0,688566709	19,311	0,034428
240	15,49193338	0,694622867	19,305	0,034731
480	21,9089023	0,700495504	19,3	0,035025
1.213,40	34,83389154	0,711323179	19,289	0,035566

Tabela B-9 – Dados de adensamento: CP2 – solo S2 sob energia Normal

Solo	S2		Energia de compactação	Normal
Carregamento N (kPa)	50		CP	2
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura Hi (mm)	dh/H0
0	0	0	20	0
0,125	0,353553391	0,508166636	19,492	0,025408
0,25	0,5	0,540282621	19,46	0,027014
0,5	0,707106781	0,567627088	19,432	0,028381
1	1	0,591301156	19,409	0,029565
2	1,414213562	0,610570747	19,389	0,030529
4	2	0,62561938	19,374	0,031281
8	2,828427125	0,638098734	19,362	0,031905
15	3,872983346	0,64672417	19,353	0,032336
30	5,477225575	0,655716645	19,344	0,032786
60	7,745966692	0,662139842	19,338	0,033107
120	10,95445115	0,6672784	19,333	0,033364
240	15,49193338	0,671315838	19,329	0,033566
480	21,9089023	0,673518077	19,326	0,033676
987,3	31,42133033	0,679574234	19,32	0,033979

Tabela B-10 – Dados de adensamento: CP3 – solo S2 sob energia Normal

Solo	S2		Energia de compactação	Normal
Carregamento N (kPa)	100		CP	3
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura Hi (mm)	dh/H0
0	0	0,00036704	20	1,84E-05
0,125	0,353553391	1,160029363	18,84	0,058001
0,25	0,5	1,215819416	18,784	0,060791
0,5	0,707106781	1,24922004	18,751	0,062461
1	1	1,273995228	18,726	0,0637
2	1,414213562	1,294732979	18,705	0,064737
4	2	1,310332171	18,69	0,065517
8	2,828427125	1,324463204	18,676	0,066223
15	3,872983346	1,335841439	18,664	0,066792
30	5,477225575	1,348687833	18,651	0,067434
60	7,745966692	1,359331988	18,641	0,067967
120	10,95445115	1,367773903	18,632	0,068389
240	15,49193338	1,372361901	18,628	0,068618
480	21,9089023	1,37566526	18,624	0,068783
1440	37,94733192	1,385208295	18,615	0,06926

Tabela B-11 – Dados de adensamento: CP4 – solo S2 sob energia Normal

Solo	S2		Energia de compactação	Normal
Carregamento N (kPa)	200		CP	4
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura Hi (mm)	dh/H0
0	0	0,00018352	20	9,18E-06
0,125	0,353553391	2,35456047	17,645	0,117728
0,25	0,5	2,442282988	17,558	0,122114
0,5	0,707106781	2,494402643	17,506	0,12472
1	1	2,533859424	17,466	0,126693
2	1,414213562	2,564323729	17,436	0,128216
4	2	2,576252523	17,424	0,128813
8	2,828427125	2,58396036	17,416	0,129198
15	3,872983346	2,589832997	17,41	0,129492
30	5,477225575	2,595705634	17,404	0,129785
60	7,745966692	2,602862911	17,397	0,130143
120	10,95445115	2,607450908	17,393	0,130373
240	15,49193338	2,612589466	17,387	0,130629
480	21,9089023	2,615342265	17,385	0,130767
1440	37,94733192	2,620664342	17,379	0,131033

Tabela B-12 – Dados de adensamento: CP5 – solo S2 sob energia Normal

Solo	S2		Energia de compactação	Normal
Carregamento N (kPa)	400		CP	5
Altura inicial CP H0 (mm)			19,992	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura Hi (mm)	dh/H0
0	0	0,007891356	19,992	0,000395
0,125	0,353553391	3,438796109	16,561	0,172009
0,25	0,5	3,715911176	16,284	0,18587
0,5	0,707106781	3,805101854	16,195	0,190331
1	1	3,879794458	16,12	0,194067
2	1,414213562	3,943659387	16,056	0,197262
4	2	4,00055056	15,999	0,200108
8	2,828427125	4,049733896	15,95	0,202568
15	3,872983346	4,090108277	15,91	0,204587
30	5,477225575	4,119471463	15,881	0,206056
60	7,745966692	4,140759772	15,859	0,207121
120	10,95445115	4,157276565	15,843	0,207947
240	15,49193338	4,172692237	15,827	0,208718
480	21,9089023	4,18737383	15,813	0,209452
1440	37,94733192	4,220957974	15,779	0,211132

Tabela B-13 – Dados de adensamento: CP1 – solo S2 sob energia Modificada

Solo	S2		Energia de compactação	Modificada
Carregamento N (kPa)	50		CP	1
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,00036704	20	1,84E-05
0,125	0,353553391	0,504129198	19,496	0,025206
0,25	0,5	0,522481189	19,478	0,026124
0,5	0,707106781	0,536612222	19,463	0,026831
1	1	0,549458616	19,451	0,027473
2	1,414213562	0,56157093	19,438	0,028079
4	2	0,572582125	19,427	0,028629
8	2,828427125	0,579555882	19,42	0,028978
15	3,872983346	0,58230868	19,418	0,029115
30	5,477225575	0,58359332	19,416	0,02918
60	7,745966692	0,5843274	19,416	0,029216
120	10,95445115	0,584510919	19,415	0,029226
240	15,49193338	0,584694439	19,415	0,029235
480	21,9089023	0,5843274	19,416	0,029216
756,9	27,51181564	0,587447238	19,413	0,029372

Tabela B-14 – Dados de adensamento: CP2 – solo S2 sob energia Modificada

Solo	S2		Energia de compactação	Modificada
Carregamento N (kPa)	100		CP	2
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,00036704	20	1,84E-05
0,125	0,353553391	0,704899982	19,295	0,035245
0,25	0,5	0,720682694	19,279	0,036034
0,5	0,707106781	0,733529088	19,266	0,036676
1	1	0,742521564	19,257	0,037126
2	1,414213562	0,751146999	19,249	0,037557
4	2	0,757570196	19,242	0,037879
8	2,828427125	0,762892274	19,237	0,038145
15	3,872983346	0,766746192	19,233	0,038337
30	5,477225575	0,77078363	19,229	0,038539
60	7,745966692	0,773352909	19,227	0,038668
120	10,95445115	0,774821068	19,225	0,038741
240	15,49193338	0,774454028	19,226	0,038723
480	21,9089023	0,774086988	19,226	0,038704
771,6	27,77768889	0,773903469	19,226	0,038695

Tabela B-15 – Dados de adensamento: CP3 – solo S2 sob energia Modificada

Solo	S2		Energia de compactação	Modificada
Carregamento N (kPa)	200		CP	3
Altura inicial CP H0 (mm)			19,999	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,00073408	19,999	3,67E-05
0,125	0,353553391	1,262433474	18,738	0,063125
0,25	0,5	1,284272344	18,716	0,064217
0,5	0,707106781	1,300055056	18,7	0,065006
1	1	1,314920169	18,685	0,065749
2	1,414213562	1,327583043	18,672	0,066382
4	2	1,339328317	18,661	0,06697
8	2,828427125	1,349788952	18,65	0,067493
15	3,872983346	1,358781428	18,641	0,067942
30	5,477225575	1,366122224	18,634	0,06831
60	7,745966692	1,37401358	18,626	0,068704
120	10,95445115	1,379519178	18,62	0,068979
240	15,49193338	1,381354377	18,619	0,069071
480	21,9089023	1,382088457	18,618	0,069108
860,6	29,33598473	1,381537897	18,618	0,06908

Tabela B-16 – Dados de adensamento: CP5 – solo S2 sob energia Modificada

Solo	S2		Energia de compactação	Modificada
Carregamento N (kPa)	400		CP	5
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0	20	0
0,125	0,353553391	1,576619563	18,423	0,078831
0,25	0,5	1,62598642	18,374	0,081299
0,5	0,707106781	1,657735364	18,342	0,082887
1	1	1,681409433	18,319	0,08407
2	1,414213562	1,703248302	18,297	0,085162
4	2	1,727656451	18,272	0,086383
8	2,828427125	1,756836117	18,243	0,087842
15	3,872983346	1,79225546	18,208	0,089613
30	5,477225575	1,870985502	18,129	0,093549
60	7,745966692	2,009175996	17,991	0,100459
120	10,95445115	2,032666544	17,967	0,101633
240	15,49193338	2,037621582	17,962	0,101881
480	21,9089023	2,04092494	17,959	0,102046
1440	37,94733192	2,059460451	17,941	0,102973



Tabela B-17 – Dados de adensamento: CP6 – solo S2 sob energia Modificada

Solo	S2		Energia de compactação	Modificada
Carregamento N (kPa)	400		CP	6
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,00036704	20	1,84E-05
0,125	0,353553391	1,742705084	18,257	0,087135
0,25	0,5	1,807854652	18,192	0,090393
0,5	0,707106781	1,868783263	18,131	0,093439
1	1	1,933749312	18,066	0,096687
2	1,414213562	2,026059827	17,974	0,101303
4	2	2,163699761	17,836	0,108185
8	2,828427125	2,224995412	17,775	0,11125
15	3,872983346	2,245182602	17,755	0,112259
30	5,477225575	2,257478436	17,743	0,112874
60	7,745966692	2,266837952	17,733	0,113342
120	10,95445115	2,273628189	17,726	0,113681
240	15,49193338	2,278032667	17,722	0,113902
480	21,9089023	2,281336025	17,719	0,114067
843,6	29,04479299	2,285373463	17,715	0,114269

Tabela B-18 – Dados de adensamento: CP1 – solo S3 sob energia Normal

Solo	S3		Energia de compactação	Normal
Carregamento N (kPa)	50		CP	1
Altura inicial CP H0 (mm)			21,781	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	-1,780693705	21,781	-0,08175
0,125	0,353553391	-0,545971738	20,546	-0,02507
0,25	0,5	-0,524683428	20,525	-0,02409
0,5	0,707106781	-0,506147917	20,506	-0,02324
1	1	-0,489631125	20,49	-0,02248
2	1,414213562	-0,472563773	20,473	-0,0217
4	2	-0,45935034	20,459	-0,02109
8	2,828427125	-0,445769866	20,446	-0,02047
15	3,872983346	-0,434391631	20,434	-0,01994
30	5,477225575	-0,422646357	20,423	-0,0194
60	7,745966692	-0,412185722	20,412	-0,01892
120	10,95445115	-0,403927326	20,404	-0,01854
240	15,49193338	-0,39640301	20,396	-0,0182
250,8	15,83666632	-0,39585245	20,396	-0,01817

Tabela B-19 – Dados de adensamento: CP2 – solo S3 sob energia Normal

Solo	S3		Energia de compactação	Normal
Carregamento N (kPa)	100		CP	2
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0	20	0
0,125	0,353553391	1,352541751	18,647	0,067627
0,25	0,5	1,357313268	18,643	0,067866
0,5	0,707106781	1,360433107	18,64	0,068022
1	1	1,363185906	18,637	0,068159
2	1,414213562	1,366489264	18,634	0,068324
4	2	1,369425583	18,631	0,068471
8	2,828427125	1,372361901	18,628	0,068618
15	3,872983346	1,37456414	18,625	0,068728
30	5,477225575	1,377500459	18,622	0,068875
60	7,745966692	1,380987337	18,619	0,069049
120	10,95445115	1,384841255	18,615	0,069242
240	15,49193338	1,387410534	18,613	0,069371
241,6	15,54348738	1,387594054	18,612	0,06938

Tabela B-20 – Dados de adensamento: CP4 – solo S3 sob energia Normal

Solo	S3		Energia de compactação	Normal
Carregamento N (kPa)	200		CP	4
Altura inicial CP H0 (mm)			19,997	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,003303358	19,997	0,000165
0,125	0,353553391	2,596806754	17,403	0,12986
0,25	0,5	2,688933749	17,311	0,134467
0,5	0,707106781	2,731693889	17,268	0,136605
1	1	2,763993393	17,236	0,13822
2	1,414213562	2,790420261	17,21	0,139542
4	2	2,808955772	17,191	0,140469
8	2,828427125	2,826390163	17,174	0,141341
15	3,872983346	2,844191595	17,156	0,142231
30	5,477225575	2,858322628	17,142	0,142938
60	7,745966692	2,872637181	17,127	0,143653
120	10,95445115	2,884933015	17,115	0,144268
240	15,49193338	2,89612773	17,104	0,144828
480	21,9089023	2,908790604	17,091	0,145461
1440	37,94733192	2,931363553	17,069	0,14659
1.440,00	37,94733192	2,931363553	17,069	0,14659

Tabela B-21 – Dados de adensamento: CP7 – solo S3 sob energia Normal

Solo	S3		Energia de compactação	Normal
Carregamento N (kPa)	50		CP	7
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura Hi (mm)	dh/H0
0	0	0,00018352	20	9,18E-06
0,125	0,353553391	0,20847862	19,792	0,010424
0,25	0,5	0,217287576	19,783	0,010864
0,5	0,707106781	0,224261332	19,776	0,011213
1	1	0,231051569	19,769	0,011553
2	1,414213562	0,237291246	19,763	0,011865
4	2	0,244265003	19,756	0,012213
8	2,828427125	0,2497706	19,75	0,012489
15	3,872983346	0,255459717	19,745	0,012773
30	5,477225575	0,260231235	19,74	0,013012
60	7,745966692	0,264268673	19,736	0,013213
120	10,95445115	0,268306111	19,732	0,013415
240	15,49193338	0,27124243	19,729	0,013562
480	21,9089023	0,273077629	19,727	0,013654
1440	37,94733192	0,278583226	19,721	0,013929
1.440,00	37,94733192	0,278583226	19,721	0,013929

Tabela B-22 – Dados de adensamento: CP8 – solo S3 sob energia Normal

Solo	S3		Energia de compactação	Normal
Carregamento N (kPa)	100		CP	8
Altura inicial CP H0 (mm)			19,998	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura Hi (mm)	dh/H0
0	0	0,001835199	19,998	9,18E-05
0,125	0,353553391	0,303358414	19,697	0,015169
0,25	0,5	0,320242246	19,68	0,016014
0,5	0,707106781	0,33418976	19,666	0,016711
1	1	0,350339512	19,65	0,017519
2	1,414213562	0,363185906	19,637	0,018161
4	2	0,376215819	19,624	0,018813
8	2,828427125	0,389062213	19,611	0,019455
15	3,872983346	0,398421729	19,602	0,019923
30	5,477225575	0,408148284	19,592	0,020409
60	7,745966692	0,41603964	19,584	0,020804
120	10,95445115	0,422279317	19,578	0,021116
240	15,49193338	0,427417875	19,573	0,021373
480	21,9089023	0,432005873	19,568	0,021602
1440	37,94733192	0,449256744	19,551	0,022465
1.440,00	37,94733192	0,449256744	19,551	0,022465

Tabela B-23 – Dados de adensamento: CP9 – solo S3 sob energia Normal

Solo	S3		Energia de compactação	Normal
Carregamento N (kPa)	400		CP	9
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,00018352	20	9,18E-06
0,125	0,353553391	1,73004221	18,27	0,086502
0,25	0,5	1,779776106	18,22	0,088989
0,5	0,707106781	1,809873371	18,19	0,090494
1	1	1,835566159	18,164	0,091778
2	1,414213562	1,861075427	18,139	0,093054
4	2	1,881079097	18,119	0,094054
8	2,828427125	1,899981648	18,1	0,094999
15	3,872983346	1,91576436	18,084	0,095788
30	5,477225575	1,932831712	18,067	0,096642
60	7,745966692	1,948981464	18,051	0,097449
120	10,95445115	1,962011378	18,038	0,098101
240	15,49193338	1,975775372	18,024	0,098789
480	21,9089023	1,987520646	18,012	0,099376
1440	37,94733192	2,009359516	17,991	0,100468
1.440,00	37,94733192	2,009359516	17,991	0,100468

Tabela B-24 – Dados de adensamento: CP1 – solo S3 sob energia Modificada

Solo	S3		Energia de compactação	Modificada
Carregamento N (kPa)	50		CP	1
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,00036704	20	1,84E-05
0,125	0,353553391	1,658836484	18,341	0,082942
0,25	0,5	1,672233437	18,328	0,083612
0,5	0,707106781	1,679574234	18,32	0,083979
1	1	1,686364471	18,314	0,084318
2	1,414213562	1,691319508	18,309	0,084566
4	2	1,695173426	18,305	0,084759
8	2,828427125	1,700311984	18,3	0,085016
15	3,872983346	1,705267021	18,295	0,085263
30	5,477225575	1,70893742	18,291	0,085447
60	7,745966692	1,712974858	18,287	0,085649
120	10,95445115	1,714626537	18,285	0,085731
240	15,49193338	1,718480455	18,282	0,085924
480	21,9089023	1,719031015	18,281	0,085952
1.080,30	32,86791749	1,719765095	18,28	0,085988

Tabela B-25 – Dados de adensamento: CP2 – solo S3 sob energia Modificada

Solo	S3		Energia de compactação	Modificada
Carregamento N (kPa)	50		CP	2
Altura inicial CP H0 (mm)			19,99	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,010460635	19,99	0,000523
0,125	0,353553391	0,714993577	19,285	0,035768
0,25	0,5	0,717379336	19,283	0,035887
0,5	0,707106781	0,719765095	19,28	0,036006
1	1	0,722334373	19,278	0,036135
2	1,414213562	0,724720132	19,275	0,036254
4	2	0,727472931	19,273	0,036392
8	2,828427125	0,730592769	19,269	0,036548
15	3,872983346	0,734446687	19,266	0,036741
30	5,477225575	0,738851165	19,261	0,036961
60	7,745966692	0,742154524	19,258	0,037126
120	10,95445115	0,745824922	19,254	0,03731
240	15,49193338	0,748394201	19,252	0,037438
480	21,9089023	0,75096348	19,249	0,037567
1.253,30	35,40197735	0,759038356	19,241	0,037971

Tabela B-26 – Dados de adensamento: CP3 – solo S3 sob energia Modificada

Solo	S3		Energia de compactação	Modificada
Carregamento N (kPa)	100		CP	3
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,00036704	20	1,84E-05
0,125	0,353553391	0,423563957	19,576	0,021178
0,25	0,5	0,460634979	19,539	0,023032
0,5	0,707106781	0,551110295	19,449	0,027556
1	1	0,561387411	19,439	0,028069
2	1,414213562	0,570379886	19,43	0,028519
4	2	0,579005322	19,421	0,02895
8	2,828427125	0,586529638	19,413	0,029326
15	3,872983346	0,593870435	19,406	0,029694
30	5,477225575	0,601945311	19,398	0,030097
60	7,745966692	0,608552028	19,391	0,030428
120	10,95445115	0,641585612	19,358	0,032079
240	15,49193338	0,652780327	19,347	0,032639
480	21,9089023	0,821068086	19,179	0,041053
499,8	22,35620719	0,826940723	19,173	0,041347

Tabela B-27 – Dados de adensamento: CP4 – solo S3 sob energia Modificada

Solo	S3		Energia de compactação	Modificada
Carregamento N (kPa)	200		CP	4
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0,00036704	20	1,84E-05
0,125	0,353553391	0,967700496	19,032	0,048385
0,25	0,5	0,985868967	19,014	0,049293
0,5	0,707106781	1,001284639	18,999	0,050064
1	1	1,017250872	18,983	0,050863
2	1,414213562	1,035052303	18,965	0,051753
4	2	1,053220774	18,947	0,052661
8	2,828427125	1,081482841	18,919	0,054074
15	3,872983346	1,109377867	18,891	0,055469
30	5,477225575	1,136538814	18,863	0,056827
60	7,745966692	1,147550009	18,852	0,057378
120	10,95445115	1,154890806	18,845	0,057745
240	15,49193338	1,160396403	18,84	0,05802
480	21,9089023	1,16571848	18,834	0,058286
540,3	23,24435415	1,167737199	18,832	0,058387

Tabela B-28 – Dados de adensamento: CP5 – solo S3 sob energia Modificada

Solo	S3		Energia de compactação	Modificada
Carregamento N (kPa)	400		CP	5
Altura inicial CP H0 (mm)			20	
Tempo "t" (min)	$\sqrt{t}$ (min)	Deformação Variação de altura $\Delta H = H_0 - H_i$ (mm)	Altura $H_i$ (mm)	dh/H0
0	0	0	20	0
0,125	0,353553391	1,543035419	18,457	0,077152
0,25	0,5	1,590016517	18,41	0,079501
0,5	0,707106781	1,596072674	18,404	0,079804
1	1	1,601578271	18,398	0,080079
2	1,414213562	1,605799229	18,394	0,08029
4	2	1,610203707	18,39	0,08051
8	2,828427125	1,615709304	18,384	0,080785
15	3,872983346	1,621948981	18,378	0,081097
30	5,477225575	1,627271059	18,373	0,081364
60	7,745966692	1,631308497	18,369	0,081565
120	10,95445115	1,632593136	18,367	0,08163
240	15,49193338	1,634978895	18,365	0,081749
480	21,9089023	1,636447055	18,364	0,081822
503,3	22,43434866	1,636997614	18,363	0,08185

APÊNDICE C – Variação dimensional dos corpos de prova no ensaio de cisalhamento direto – fase de adensamento

Tabela C-1 – Dimensões dos CPs adensados - solo S1 sob energia Normal

CP	Carregamento N (kPa)	Altura (mm)		Lado (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )		Volume (cm <sup>3</sup> )
		Inicial	Variação	Final	Final	Final	Final
2	50	20	0,604	<b>19,4</b>	5	25	48,49
6	100	20	1,494	<b>18,5</b>	5	25	46,27
7	200	20	1,56	<b>18,4</b>	5	25	46,10
8	400	20	3,205	<b>16,8</b>	5	25	41,99

Tabela C-2 – Dimensões dos CPs adensados - solo S1 sob energia Modificada

CP	Carregamento N (kPa)	Altura (mm)			Lado (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Volume (cm <sup>3</sup> )
		Inicial	Variação	Final	Final	Final	Final
1	400	20	1,121	<b>18,9</b>	5	25	47,20
2	50	20	0,651	<b>19,3</b>	5	25	48,37
4	100	20	0,56	<b>19,4</b>	5	25	48,60
5	200	20	0,711	<b>19,3</b>	5	25	48,22

Tabela C-3 – Dimensões dos CPs adensados - solo S2 sob energia Normal

CP	Carregamento N (kPa)	Altura (mm)			Lado (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Volume (cm <sup>3</sup> )
		Inicial	Variação	Final	Final	Final	Final
2	50	20	0,68	<b>19,3</b>	5	25	48,30
3	100	20	1,385	<b>18,6</b>	5	25	46,54
4	200	20	2,621	<b>17,4</b>	5	25	43,45
5	400	20	4,221	<b>15,8</b>	5	25	39,45

Tabela C-4 – Dimensões dos CPs adensados - solo S2 sob energia Modificada

CP	Carregamento N (kPa)	Altura (mm)			Lado (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Volume (cm <sup>3</sup> )
		Inicial	Variação	Final	Final	Final	Final
1	50	20	0,587	<b>19,4</b>	5	25	48,53
2	100	20	0,774	<b>19,2</b>	5	25	48,07
3	200	20	1,382	<b>18,6</b>	5	25	46,55
5	400	20	2,059	<b>17,9</b>	5	25	44,85
6	400	20	2,285	<b>17,7</b>	5	25	44,29

Tabela C-5 – Dimensões dos CPs adensados - solo S3 sob energia Normal

CP	Carregamento N (kPa)	Altura (mm)			Lado (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Volume (cm <sup>3</sup> )
		Inicial	Variação	Final	Final	Final	Final
1	50	20	-0,396	<b>20,4</b>	5	25	50,99
2	100	20	1,388	<b>18,6</b>	5	25	46,53
4	200	20	2,931	<b>17,1</b>	5	25	42,67
7	50	20	0,279	<b>19,7</b>	5	25	49,30
8	100	20	0,449	<b>19,6</b>	5	25	48,88
9	400	20	2,009	<b>18,0</b>	5	25	44,98

Tabela C-6 – Dimensões dos CPs adensados - solo S3 sob energia Modificada

CP	Carregamento N (kPa)	Altura (mm)			Lado (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Volume (cm <sup>3</sup> )
		Inicial	Varição	Final	Final	Final	Final
1	50	20	1,72	<b>18,3</b>	5	25	45,70
2	50	20	0,759	<b>19,2</b>	5	25	48,10
3	100	20	0,827	<b>19,2</b>	5	25	47,93
4	200	20	1,168	<b>18,8</b>	5	25	47,08
5	400	20	1,637	<b>18,4</b>	5	25	45,91



APÊNDICE D – Tempo de duração do ensaio de cisalhamento direto – fases de adensamento e cisalhamento

Tabela D-1 – Tempos de ensaio – solo S1 sob Energia Normal de compactação

Solo S1 – Energia Normal

CP	Carregamento N (kPa)	Tempo de duração (h)	
		Adensamento	Cisalhamento
2	50	08:44	01:09
6	100	08:07	01:46
7	200	13:56	02:00
8	400	10:29	02:44

Tabela D-2 – Tempos de ensaio – solo S1 sob Energia Modificada de compactação

CP	Carregamento N (kPa)	Tempo de duração (h)	
		Adensamento	Cisalhamento
1	400	09:43	02:19
2	50	10:31	00:47
4	100	21:10	02:12
5	200	20:14	03:15

Tabela D-3 – Tempos de ensaio – solo S2 sob Energia Normal de compactação

CP	Carregamento N (kPa)	Tempo de duração (h)	
		Adensamento	Cisalhamento
2	50	16:27	00:46
3	100	24:12	01:29
4	200	24:01	01:30
5	400	24:23	02:08

Tabela D-4 – Tempos de ensaio – solo S2 sob Energia Modificada de compactação

CP	Carregamento N (kPa)	Tempo de duração (h)	
		Adensamento	Cisalhamento
1	50	12:36	00:39
2	100	12:51	00:55
3	200	14:21	01:04
5	400	21:57	04:05
6	400	14:03	03:17

Tabela D-5 – Tempos de ensaio – solo S3 sob Energia Normal de compactação

CP	Carregamento N (kPa)	Tempo de duração (h)	
		Adensamento	Cisalhamento
1	50	04:10	02:02
2	100	04:01	01:30
4	200	24:00	05:09
7	50	24:00	01:16
8	100	24:00	01:50
9	400	24:51	06:05

Tabela D-6 – Tempos de ensaio – solo S3 sob Energia Modificada de compactação

CP	Carregamento N (kPa)	Tempo de duração (h)	
		Adensamento	Cisalhamento
1	50	18:00	01:07
2	50	20:53	01:52
3	100	8:20	01:17
4	200	08:59	03:06
5	400	08:24	0:54

APÊNDICE E – Leitura das forças de cisalhamento, deslocamentos vertical e horizontal correspondentes; área de cisalhamento inicial dos corpos de prova e área de cisalhamento corrigida em função do deslocamento horizontal; tensão de cisalhamento em função da área de cisalhamento constante e corrigida no ensaio de cisalhamento direto - fase de cisalhamento

Tabela E-1 – Dados de cisalhamento: CP2 – solo S1 sob energia Normal

Solo		S1		Energia de Compactação		Normal		CP		2	
								Carga N (kPa)		50	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)				
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000				
3,938	39,382	2500	15,753	2494,94	15,785	0,10118	0,00128				
5,205	52,046	2500	20,819	2489,99	20,902	0,20025	0,00716				
6,301	63,012	2500	25,205	2484,99	25,357	0,30017	0,01487				
7,166	71,660	2500	28,664	2480,00	28,895	0,40008	0,02110				
7,861	78,610	2500	31,444	2475,00	31,762	0,50000	0,03175				
8,124	81,236	2500	32,494	2469,96	32,889	0,60076	0,03946				
8,402	84,015	2500	33,606	2464,99	34,084	0,70025	0,04386				
8,618	86,178	2500	34,471	2459,99	35,032	0,80017	0,04955				
8,726	87,259	2500	34,903	2455,00	35,543	0,90008	0,05359				
9,081	90,811	2500	36,324	2449,98	37,066	1,00042	0,05506				
<b>9,297</b>	<b>92,973</b>	<b>2500</b>	<b>37,189</b>	<b>2439,99</b>	<b>38,104</b>	<b>1,20025</b>	<b>0,05671</b>				
9,127	91,274	2500	36,510	2430,00	37,561	1,40008	0,05707				
9,112	91,120	2500	36,448	2419,98	37,653	1,60034	0,05671				
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>37,189</b>		<b>38,104</b>							

Tabela E-2 – Dados de cisalhamento: CP6 – solo S1 sob energia Normal

Solo	S1	Energia de Compactação	Normal	CP		6	
				Carga N (kPa)		100	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,000
6,100	61,004	2500	24,402	2494,98	24,451	0,10034	6,100
8,263	82,625	2500	33,050	2489,99	33,183	0,20025	8,263
8,849	88,494	2500	35,398	2484,99	35,611	0,30017	8,849
9,745	97,452	2500	38,981	2480,00	39,295	0,40008	9,745
10,239	102,394	2500	40,958	2474,98	41,372	0,50042	10,239
10,672	106,718	2500	42,687	2469,96	43,206	0,60076	10,672
<b>11,351</b>	<b>113,514</b>	<b>2500</b>	<b>45,405</b>	<b>2464,99</b>	<b>46,050</b>	<b>0,70025</b>	<b>11,351</b>
11,274	112,741	2500	45,097	2459,99	45,830	0,80017	11,274
12,278	122,780	2500	49,112	2455,00	50,012	0,90008	12,278
12,541	125,405	2500	50,162	2450,00	51,186	1,00000	12,541
12,865	128,649	2500	51,459	2439,99	52,725	1,20025	12,865
13,591	135,907	2500	54,363	2430,00	55,929	1,40008	13,591
14,054	140,541	2500	56,216	2419,96	58,076	1,60076	14,054
14,641	146,409	2500	58,564	2409,99	60,751	1,80017	0,34245
14,811	148,108	2500	59,243	2400,00	61,712	2,00000	0,37144
15,598	155,985	2500	62,394	2375,00	65,678	2,50000	0,42980
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>45,405</b>		<b>46,050</b>			

Tabela E-3 – Dados de cisalhamento: CP7 – solo S1 sob energia Normal

Solo	S1	Energia de Compactação	Normal	CP		7	
				Carga N (kPa)		200	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
19,135	191,351	2500	76,541	2494,96	76,695	0,10076	0,14994
19,861	198,610	2500	79,444	2489,99	79,763	0,20025	0,17251
20,788	207,876	2500	83,151	2484,97	83,653	0,30059	0,19839
21,375	213,745	2500	85,498	2480,00	86,188	0,40008	0,22114
21,977	219,768	2500	87,907	2474,98	88,796	0,50042	0,24335
22,687	226,873	2500	90,749	2469,96	91,853	0,60076	0,26225
23,784	237,838	2500	95,135	2464,99	96,486	0,70025	0,28005
23,907	239,073	2500	95,629	2459,97	97,185	0,80059	0,29767
24,911	249,112	2500	99,645	2454,95	101,473	0,90093	0,31327
25,421	254,208	2500	101,683	2450,00	103,759	1,00000	0,32997
26,178	261,776	2500	104,710	2439,99	107,286	1,20025	0,35511
26,641	266,409	2500	106,564	2430,00	109,634	1,40008	0,38007
27,259	272,587	2500	109,035	2419,96	112,641	1,60076	0,40484
<b>27,568</b>	<b>275,676</b>	<b>2500</b>	<b>110,270</b>	<b>2409,97</b>	<b>114,390</b>	<b>1,80059</b>	<b>0,42668</b>
27,290	272,896	2500	109,158	2399,96	113,709	2,00084	0,44650
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>110,270</b>		<b>114,390</b>			

Tabela E-4 – Dados de cisalhamento: CP8 – solo S1 sob energia Normal

Solo	S1	Energia de Compactação	Normal	CP		8	
				Carga N (kPa)		400	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
18,085	180,849	2500	72,340	2494,98	72,485	0,10034	0,01046
22,286	222,857	2500	89,143	2489,99	89,501	0,20025	0,02900
26,131	261,313	2500	104,525	2484,99	105,156	0,30017	0,05139
28,695	286,950	2500	114,780	2479,95	115,708	0,40093	0,07836
31,429	314,286	2500	125,714	2475,00	126,984	0,50000	0,10130
33,514	335,135	2500	134,054	2469,98	135,683	0,60034	0,12645
35,398	353,977	2500	141,591	2464,97	143,603	0,70067	0,15049
37,205	372,046	2500	148,819	2459,99	151,239	0,80017	0,17196
38,054	380,541	2500	152,216	2455,00	155,007	0,90008	0,19398
39,151	391,506	2500	156,602	2450,00	159,798	1,00000	0,21472
41,977	419,768	2500	167,907	2439,97	172,039	1,20067	0,25509
44,046	440,463	2500	176,185	2429,97	181,263	1,40051	0,28813
46,903	469,035	2500	187,614	2419,98	193,817	1,60034	0,31969
47,876	478,764	2500	191,506	2409,99	198,658	1,80017	0,34685
49,931	499,305	2500	199,722	2400,00	208,044	2,00000	0,37126
53,745	537,452	2500	214,981	2375,00	226,295	2,50000	0,42008
54,347	543,475	2500	217,390	2349,98	231,268	3,00042	0,45898
55,645	556,448	2500	222,579	2325,00	239,332	3,50000	0,48468
<b>56,541</b>	<b>565,405</b>	<b>2500</b>	<b>226,162</b>	<b>2300,00</b>	<b>245,828</b>	<b>4,00000</b>	<b>0,50211</b>
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>226,162</b>		<b>245,828</b>			

Tabela E-5 – Dados de cisalhamento: CP1 – solo S1 sob energia Modificada

Solo	S1	Energia de Compactação	Modificada	CP		1	
				Carga N (kPa)		400	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
26,888	268,880	2500	107,552	2494,98	107,768	0,10034	0,00661
35,459	354,595	2500	141,838	2489,99	142,408	0,20025	0,01670
41,436	414,363	2500	165,745	2484,99	166,746	0,30017	0,02643
46,301	463,012	2500	185,205	2480,00	186,699	0,40008	0,03615
49,683	496,834	2500	198,734	2475,00	200,741	0,50000	0,04790
52,324	523,243	2500	209,297	2469,98	211,841	0,60034	0,05946
53,792	537,915	2500	215,166	2464,97	218,224	0,70067	0,07359
55,413	554,131	2500	221,653	2459,99	225,257	0,80017	0,08901
57,900	578,996	2500	231,598	2455,00	235,844	0,90008	0,10295
58,749	587,490	2500	234,996	2449,98	239,794	1,00042	0,11672
61,467	614,672	2500	245,869	2439,97	251,918	1,20067	0,14076
63,815	638,147	2500	255,259	2430,00	262,612	1,40008	0,17031
65,344	653,436	2500	261,375	2419,94	270,022	1,60118	0,19545
66,054	660,541	2500	264,216	2409,97	274,087	1,80059	0,21747
66,425	664,247	2500	265,699	2399,98	276,772	2,00042	0,23472
<b>66,456</b>	<b>664,556</b>	<b>2500</b>	<b>265,822</b>	<b>2374,98</b>	<b>279,816</b>	<b>2,50042</b>	<b>0,26390</b>
66,208	662,085	2500	264,834	2350,00	281,738	3,00000	0,29033
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>265,822</b>		<b>279,816</b>			

Tabela E-6 – Dados de cisalhamento: CP2 – solo S1 sob energia Modificada

Solo	S1	Energia de Compactação	Modificada	CP		2	
				Carga N (kPa)		50	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
11,537	115,367	2500	46,147	2494,90	46,241	0,10202	0,00055
<b>11,954</b>	<b>119,537</b>	<b>2500</b>	<b>47,815</b>	<b>2489,97</b>	<b>48,007</b>	<b>0,20067</b>	<b>0,00073</b>
11,907	119,073	2500	47,629	2484,99	47,917	0,30017	0,00037
12,541	125,405	2500	50,162	2479,97	50,567	0,40051	0,00018
12,571	125,714	2500	50,286	2475,00	50,794	0,50000	-0,00184
12,849	128,494	2500	51,398	2469,98	52,022	0,60034	-0,01101
12,355	123,552	2500	49,421	2464,99	50,123	0,70025	-0,02588
11,861	118,610	2500	47,444	2459,99	48,216	0,80017	-0,03854
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>47,815</b>		<b>48,007</b>			

Tabela E-7 – Dados de cisalhamento: CP4 – solo S1 sob energia Modificada

Solo	S1	Energia de Compactação	Modificada	CP		4	
				Carga N (kPa)		100	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
10,981	109,807	2500	43,923	2494,98	44,011	0,10034	0,00385
15,876	158,764	2500	63,506	2489,99	63,761	0,20025	0,00863
20,541	205,405	2500	82,162	2484,99	82,658	0,30017	0,00954
23,954	239,537	2500	95,815	2479,97	96,588	0,40051	0,00936
<b>25,220</b>	<b>252,201</b>	<b>2500</b>	<b>100,880</b>	<b>2475,00</b>	<b>101,899</b>	<b>0,50000</b>	<b>0,00863</b>
23,969	239,691	2500	95,876	2469,98	97,042	0,60034	-0,00881
21,668	216,680	2500	86,672	2464,97	87,904	0,70067	-0,02734
20,664	206,641	2500	82,656	2459,99	84,001	0,80017	-0,03707
19,645	196,448	2500	78,579	2454,95	80,021	0,90093	-0,05175
18,888	188,880	2500	75,552	2450,00	77,094	1,00000	-0,05946
17,730	177,297	2500	70,919	2439,97	72,664	1,20067	-0,07396
16,726	167,259	2500	66,903	2430,00	68,831	1,40008	-0,08313
15,907	159,073	2500	63,629	2419,98	65,733	1,60034	-0,08937
15,907	159,073	2500	63,629	2409,99	66,006	1,80017	-0,09378
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>100,880</b>		<b>101,899</b>			

Tabela E-8 – Dados de cisalhamento: CP5 – solo S1 sob energia Modificada

Solo	S1	Energia de Compactação	Modificada	CP		5	
				Carga N (kPa)		200	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
20,788	207,876	2500	83,151	2494,98	83,318	0,10034	0,00073
27,274	272,741	2500	109,097	2489,97	109,536	0,20067	0,00092
30,193	301,931	2500	120,772	2484,99	121,502	0,30017	0,00679
32,062	320,618	2500	128,247	2479,95	129,284	0,40093	0,01211
32,293	322,934	2500	129,174	2475,00	130,479	0,50000	0,01909
<b>32,355</b>	<b>323,552</b>	<b>2500</b>	<b>129,421</b>	<b>2469,96</b>	<b>130,995</b>	<b>0,60076</b>	<b>0,02496</b>
32,278	322,780	2500	129,112	2464,99	130,946	0,70025	0,03101
31,830	318,301	2500	127,320	2459,99	129,391	0,80017	0,03303
31,583	315,830	2500	126,332	2455,00	128,648	0,90008	0,03377
30,795	307,954	2500	123,181	2449,98	125,696	1,00042	0,03413
30,749	307,490	2500	122,996	2439,99	126,021	1,20025	0,03505
30,378	303,784	2500	121,514	2429,97	125,015	1,40051	0,03854
29,915	299,151	2500	119,660	2419,94	123,619	1,60118	0,04166
29,421	294,208	2500	117,683	2409,97	122,080	1,80059	0,04404
29,328	293,282	2500	117,313	2399,96	122,203	2,00084	0,04772
28,278	282,780	2500	113,112	2374,98	119,066	2,50042	0,05634
27,707	277,066	2500	110,826	2349,96	117,902	3,00084	0,06643
27,568	275,676	2500	110,270	2324,94	118,573	3,50126	0,07543
27,444	274,440	2500	109,776	2299,98	119,323	4,00042	0,08552
26,996	269,961	2500	107,985	2275,00	118,664	4,50000	0,09727
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>129,421</b>		<b>130,995</b>			

Tabela E-9 – Dados de cisalhamento: CP2 – solo S2 sob energia Normal

Solo	S2	Energia de Compactação	Normal	CP		2	
				Carga N (kPa)		50	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
3,089	30,888	2500	12,355	2494,94	12,380	0,10118	0,09506
3,691	36,911	2500	14,764	2489,99	14,824	0,20025	0,12736
3,753	37,529	2500	15,012	2484,97	15,102	0,30059	0,15489
4,093	40,927	2500	16,371	2480,00	16,503	0,40008	0,18682
4,185	41,853	2500	16,741	2475,00	16,910	0,50000	0,21912
<b>4,479</b>	<b>44,788</b>	<b>2500</b>	<b>17,915</b>	<b>2469,98</b>	<b>18,133</b>	<b>0,60034</b>	<b>0,24427</b>
4,432	44,324	2500	17,730	2464,95	17,982	0,70110	0,26867
4,510	45,097	2500	18,039	2459,99	18,332	0,80017	0,28739
4,865	48,649	2500	19,459	2455,00	19,816	0,90008	0,30648
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>17,915</b>		<b>18,133</b>			



Tabela E10 – Dados de cisalhamento: CP3 – solo S2 sob energia Normal

Solo	S2	Energia de Compactação	Normal	CP		3	
				Carga N (kPa)		100	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
4,263	42,625	2500	17,050	2494,96	17,085	0,10076	0,05579
4,525	45,251	2500	18,100	2489,99	18,173	0,20025	0,11819
4,803	48,031	2500	19,212	2484,99	19,328	0,30017	0,16388
5,544	55,444	2500	22,178	2480,00	22,356	0,40008	0,21343
5,915	59,151	2500	23,660	2475,00	23,899	0,50000	0,25564
6,039	60,386	2500	24,154	2469,98	24,448	0,60034	0,29088
6,641	66,409	2500	26,564	2464,97	26,941	0,70067	0,32648
7,228	72,278	2500	28,911	2459,97	29,382	0,80059	0,35419
<b>7,598</b>	<b>75,985</b>	<b>2500</b>	<b>30,394</b>	<b>2455,00</b>	<b>30,951</b>	<b>0,90008</b>	<b>0,38227</b>
7,506	75,058	2500	30,023	2450,00	30,636	1,00000	0,40943
8,340	83,398	2500	33,359	2439,97	34,180	1,20067	0,45935
9,081	90,811	2500	36,324	2429,97	37,371	1,40051	0,50541
9,282	92,819	2500	37,127	2419,98	38,355	1,60034	0,54946
9,853	98,533	2500	39,413	2409,99	40,885	1,80017	0,58836
9,869	98,687	2500	39,475	2400,00	41,120	2,00000	0,62801
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>30,394</b>		<b>30,951</b>			

Tabela E-11 – Dados de cisalhamento: CP4 – solo S2 sob energia Normal

Solo	S2	Energia de Compactação	Normal	CP		4	
				Carga N (kPa)		200	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
7,151	71,506	2500	28,602	2494,98	28,660	0,10034	0,02221
7,768	77,683	2500	31,073	2489,99	31,198	0,20025	0,04294
8,479	84,788	2500	33,915	2484,99	34,120	0,30017	0,06350
8,649	86,486	2500	34,595	2480,00	34,874	0,40008	0,09268
8,865	88,649	2500	35,459	2475,00	35,818	0,50000	0,11800
9,622	96,216	2500	38,486	2469,96	38,955	0,60076	0,13801
<b>9,915</b>	<b>99,151</b>	<b>2500</b>	<b>39,660</b>	<b>2464,99</b>	<b>40,224</b>	<b>0,70025</b>	<b>0,15709</b>
9,869	98,687	2500	39,475	2459,99	40,117	0,80017	0,17269
11,027	110,270	2500	44,108	2455,00	44,917	0,90008	0,18976
11,228	112,278	2500	44,911	2450,00	45,828	1,00000	0,20995
11,969	119,691	2500	47,876	2439,99	49,054	1,20025	0,23986
12,340	123,398	2500	49,359	2430,00	50,781	1,40008	0,27730
13,313	133,127	2500	53,251	2419,98	55,012	1,60034	0,29749
13,143	131,429	2500	52,571	2409,97	54,535	1,80059	0,32061
13,575	135,753	2500	54,301	2400,00	56,564	2,00000	0,33731
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>39,660</b>		<b>40,224</b>			

Tabela E-12 – Dados de cisalhamento: CP5 – solo S2 sob energia Normal

Solo	S2	Energia de Compactação	Normal	CP		5	
				Carga N (kPa)		400	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
25,730	257,297	2500	102,919	2494,81	103,133	0,10371	0,13562
26,842	268,417	2500	107,367	2489,99	107,799	0,20025	0,15728
28,587	285,869	2500	114,347	2484,99	115,038	0,30017	0,17545
29,992	299,923	2500	119,969	2480,00	120,937	0,40008	0,19343
31,490	314,903	2500	125,961	2475,00	127,234	0,50000	0,21105
32,510	325,097	2500	130,039	2469,98	131,619	0,60034	0,22683
32,649	326,486	2500	130,595	2464,99	132,450	0,70025	0,24151
34,286	342,857	2500	137,143	2459,99	139,373	0,80017	0,25509
35,336	353,359	2500	141,344	2454,93	143,938	0,90135	0,26757
35,413	354,131	2500	141,653	2450,00	144,543	1,00000	0,27877
36,216	362,162	2500	144,865	2439,97	148,429	1,20067	0,29969
38,116	381,158	2500	152,463	2430,00	156,856	1,40008	0,31767
38,857	388,571	2500	155,429	2419,98	160,568	1,60034	0,33492
<b>39,583</b>	<b>395,830</b>	<b>2500</b>	<b>158,332</b>	<b>2409,99</b>	<b>164,245</b>	<b>1,80017</b>	<b>0,35052</b>
39,135	391,351	2500	156,541	2400,00	163,063	2,00000	0,36612
39,568	395,676	2500	158,270	2375,00	166,600	2,50000	0,39200
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>158,332</b>		<b>164,245</b>			

Tabela E-13 – Dados de cisalhamento: CP1 – solo S2 sob energia Modificada

Solo	S2	Energia de Compactação	Modificada	CP		1	
				Carga N (kPa)		50	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
8,494	84,942	2500	33,977	2494,98	34,045	0,10034	-0,00128
9,297	92,973	2500	37,189	2489,99	37,339	0,20025	-0,00367
10,039	100,386	2500	40,154	2484,99	40,397	0,30017	-0,00404
10,317	103,166	2500	41,266	2480,00	41,599	0,40008	-0,00606
<b>10,595</b>	<b>105,946</b>	<b>2500</b>	<b>42,378</b>	<b>2474,98</b>	<b>42,807</b>	<b>0,50042</b>	<b>-0,01487</b>
10,178	101,776	2500	40,710	2469,96	41,206	0,60076	-0,02643
9,683	96,834	2500	38,734	2464,99	39,284	0,70025	-0,03725
8,185	81,853	2500	32,741	2459,97	33,274	0,80059	-0,04625
7,382	73,822	2500	29,529	2454,95	30,071	0,90093	-0,05010
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>42,378</b>		<b>42,807</b>			

Tabela E-14 – Dados de cisalhamento: CP2 – solo S2 sob energia Modificada

Solo	S2	Energia de Compactação	Modificada	CP		2	
				Carga N (kPa)		100	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
16,556	165,560	2500	66,224	2494,92	66,359	0,10160	0,04184
16,942	169,421	2500	67,768	2489,99	68,041	0,20025	0,04772
17,421	174,208	2500	69,683	2484,95	70,105	0,30101	0,05249
17,560	175,598	2500	70,239	2480,00	70,806	0,40008	0,05469
<b>17,977</b>	<b>179,768</b>	<b>2500</b>	<b>71,907</b>	<b>2475,00</b>	<b>72,634</b>	<b>0,50000</b>	<b>0,05818</b>
17,653	176,525	2500	70,610	2469,96	71,469	0,60076	0,05983
17,900	178,996	2500	71,598	2464,99	72,615	0,70025	0,06203
17,529	175,290	2500	70,116	2459,99	71,256	0,80017	0,06442
17,745	177,452	2500	70,981	2454,95	72,283	0,90093	0,06754
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>71,907</b>		<b>72,634</b>			

Tabela E-15 – Dados de cisalhamento: CP3 – solo S2 sob energia Modificada

Solo	S2	Energia de Compactação	Modificada	CP		3	
				Carga N (kPa)		200	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
15,645	156,448	2500	62,579	2494,98	62,705	0,10034	0,00404
18,996	189,961	2500	75,985	2489,97	76,291	0,20067	0,01652
21,158	211,583	2500	84,633	2484,99	85,144	0,30017	0,03230
22,100	221,004	2500	88,402	2479,97	89,115	0,40051	0,05047
22,239	222,394	2500	88,958	2475,00	89,856	0,50000	0,07047
<b>22,842</b>	<b>228,417</b>	<b>2500</b>	<b>91,367</b>	<b>2469,98</b>	<b>92,477</b>	<b>0,60034</b>	<b>0,09451</b>
22,826	228,263	2500	91,305	2464,97	92,603	0,70067	0,11654
23,676	236,757	2500	94,703	2459,99	96,243	0,80017	0,13874
23,629	236,293	2500	94,517	2455,00	96,250	0,90008	0,15856
23,722	237,220	2500	94,888	2450,00	96,825	1,00000	0,17233
23,166	231,660	2500	92,664	2439,99	94,943	1,20025	0,19196
22,610	226,100	2500	90,440	2430,00	93,046	1,40008	0,20352
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>91,367</b>		<b>92,477</b>			

Tabela E-16 – Dados de cisalhamento: CP5 – solo S2 sob energia Modificada

Solo	S2	Energia de Compactação	Modificada	CP		5	
				Carga N (kPa)		400	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
16,247	162,471	2500	64,988	2494,98	65,119	0,10034	0,02386
19,058	190,579	2500	76,232	2489,99	76,538	0,20025	0,05010
20,525	205,251	2500	82,100	2484,99	82,596	0,30017	0,07524
22,811	228,108	2500	91,243	2480,00	91,979	0,40008	0,10167
23,614	236,139	2500	94,456	2475,00	95,410	0,50000	0,12553
24,865	248,649	2500	99,459	2469,96	100,669	0,60076	0,14828
25,792	257,915	2500	103,166	2464,99	104,631	0,70025	0,16865
25,977	259,768	2500	103,907	2459,99	105,597	0,80017	0,18627
26,996	269,961	2500	107,985	2455,00	109,964	0,90008	0,20389
27,228	272,278	2500	108,911	2450,00	111,134	1,00000	0,22004
28,942	289,421	2500	115,768	2439,97	118,617	1,20067	0,25032
30,255	302,548	2500	121,019	2429,97	124,507	1,40051	0,27693
31,398	313,977	2500	125,591	2419,96	129,745	1,60076	0,29638
31,568	315,676	2500	126,270	2409,99	130,986	1,80017	0,31510
<b>31,892</b>	<b>318,919</b>	<b>2500</b>	<b>127,568</b>	<b>2399,98</b>	<b>132,884</b>	<b>2,00042</b>	<b>0,33089</b>
31,753	317,529	2500	127,012	2374,98	133,698	2,50042	0,35603
31,012	310,116	2500	124,046	2349,98	131,965	3,00042	0,37603
30,008	300,077	2500	120,031	2324,98	129,067	3,50042	0,39035
28,093	280,927	2500	112,371	2299,98	122,143	4,00042	0,40374
25,683	256,834	2500	102,734	2274,98	112,895	4,50042	0,41604
24,355	243,552	2500	97,421	2249,98	108,246	5,00042	0,43256
21,297	212,973	2500	85,189	2199,98	96,807	6,00042	0,43898
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>127,568</b>		<b>132,884</b>			

Tabela E-17 – Dados de cisalhamento: CP6 – solo S2 sob energia Modificada

Solo	S2	Energia de Compactação	Modificada	CP		6	
				Carga N (kPa)		400	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
15,413	154,131	2500	61,653	2494,96	61,777	0,10076	0,02019
<b>19,506</b>	<b>195,058</b>	<b>2500</b>	<b>78,023</b>	<b>2489,99</b>	<b>78,337</b>	<b>0,20025</b>	<b>0,04992</b>
17,112	171,120	2500	68,448	2484,99	68,861	0,30017	0,07616
23,846	238,456	2500	95,382	2480,00	96,152	0,40008	0,09837
24,927	249,266	2500	99,707	2475,00	100,714	0,50000	0,12424
27,413	274,131	2500	109,653	2469,98	110,985	0,60034	0,14370
28,170	281,699	2500	112,680	2464,99	114,280	0,70025	0,16370
29,483	294,826	2500	117,931	2459,99	119,848	0,80017	0,17912
30,224	302,239	2500	120,896	2455,00	123,112	0,90008	0,19783
31,104	311,042	2500	124,417	2450,00	126,956	1,00000	0,21141
32,000	320,000	2500	128,000	2439,99	131,148	1,20025	0,23839
33,097	330,965	2500	132,386	2430,00	136,200	1,40008	0,25711
33,653	336,525	2500	134,610	2419,98	139,061	1,60034	0,27198
33,436	334,363	2500	133,745	2409,99	138,740	1,80017	0,28354
32,602	326,023	2500	130,409	2400,00	135,843	2,00000	0,29125
29,112	291,120	2500	116,448	2375,00	122,577	2,50000	0,30574
26,270	262,703	2500	105,081	2349,98	111,789	3,00042	0,32189
23,181	231,815	2500	92,726	2324,98	99,706	3,50042	0,33658
20,649	206,486	2500	82,595	2299,96	89,778	4,00084	0,35089
19,228	192,278	2500	76,911	2275,00	84,518	4,50000	0,36484
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>78,023</b>		<b>78,337</b>			

Tabela E-18 – Dados de cisalhamento: CP1 – solo S3 sob energia Normal

Solo	S3	Energia de Compactação	Normal	CP		1	
				Carga N (kPa)		50	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
2,842	28,417	2500	11,367	2494,96	11,390	0,10076	0,01450
3,846	38,456	2500	15,382	2489,97	15,444	0,20067	0,03487
4,710	47,104	2500	18,842	2484,99	18,955	0,30017	0,04918
5,529	55,290	2500	22,116	2480,00	22,294	0,40008	0,06148
6,208	62,085	2500	24,834	2474,98	25,085	0,50042	0,07359
6,625	66,255	2500	26,502	2469,98	26,824	0,60034	0,08369
7,351	73,514	2500	29,405	2464,99	29,823	0,70025	0,09837
7,861	78,610	2500	31,444	2459,99	31,955	0,80017	0,10993
8,448	84,479	2500	33,792	2455,00	34,411	0,90008	0,11727
8,849	88,494	2500	35,398	2449,98	36,120	1,00042	0,12388
9,544	95,444	2500	38,178	2439,99	39,117	1,20025	0,13268
9,714	97,143	2500	38,857	2430,00	39,977	1,40008	0,14168
9,807	98,069	2500	39,228	2419,98	40,525	1,60034	0,14461
<b>9,807</b>	<b>98,069</b>	<b>2500</b>	<b>39,228</b>	<b>2409,99</b>	<b>40,693</b>	<b>1,80017</b>	<b>0,14571</b>
9,653	96,525	2500	38,610	2400,00	40,219	2,00000	0,14553
9,946	99,459	2500	39,784	2374,98	41,878	2,50042	0,15966
9,714	97,143	2500	38,857	2350,00	41,337	3,00000	0,16664
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>39,228</b>		<b>40,693</b>			

Tabela E-19 – Dados de cisalhamento: CP2 – solo S3 sob energia Normal

Solo	S3	Energia de Compactação	Normal	CP		2	
				Carga N (kPa)		100	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
0,988	9,884	2500	3,954	2494,96	3,962	0,10076	-0,00018
1,961	19,614	2500	7,846	2489,95	7,877	0,20110	0,00000
2,950	29,498	2500	11,799	2484,99	11,870	0,30017	0,00422
3,521	35,212	2500	14,085	2479,97	14,199	0,40051	0,00551
4,108	41,081	2500	16,432	2475,00	16,598	0,50000	0,00551
4,695	46,950	2500	18,780	2469,98	19,008	0,60034	0,00661
5,436	54,363	2500	21,745	2464,92	22,055	0,70152	0,00697
5,992	59,923	2500	23,969	2459,99	24,359	0,80017	0,00716
6,486	64,865	2500	25,946	2455,00	26,422	0,90008	0,00697
6,934	69,344	2500	27,737	2450,00	28,304	1,00000	0,00697
7,707	77,066	2500	30,826	2439,99	31,584	1,20025	0,00679
8,355	83,552	2500	33,421	2429,97	34,384	1,40051	0,00514
<b>8,741</b>	<b>87,413</b>	<b>2500</b>	<b>34,965</b>	<b>2419,98</b>	<b>36,121</b>	<b>1,60034</b>	<b>0,00073</b>
8,680	86,795	2500	34,718	2409,99	36,015	1,80017	-0,00202
8,571	85,714	2500	34,286	2400,00	35,714	2,00000	-0,00275
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>34,965</b>		<b>36,121</b>			

Tabela E-20 – Dados de cisalhamento: CP4 – solo S3 sob energia Normal

Solo	S3	Energia de Compactação	Normal	CP		4	
				Carga N (kPa)		200	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
8,000	80,000	2500	32,000	2494,94	32,065	0,10118	0,02790
10,672	106,718	2500	42,687	2489,99	42,859	0,20025	0,05854
12,154	121,544	2500	48,618	2484,99	48,911	0,30017	0,08937
13,158	131,583	2500	52,633	2479,97	53,058	0,40051	0,11764
15,151	151,506	2500	60,602	2474,96	61,216	0,50084	0,14333
16,000	160,000	2500	64,000	2469,96	64,778	0,60076	0,16939
<b>16,680</b>	<b>166,795</b>	<b>2500</b>	<b>66,718</b>	<b>2464,99</b>	<b>67,666</b>	<b>0,70025</b>	<b>0,19049</b>
16,510	165,097	2500	66,039	2459,95	67,114	0,80101	0,21417
17,189	171,892	2500	68,757	2454,97	70,018	0,90051	0,23491
17,452	174,517	2500	69,807	2449,96	71,233	1,00084	0,25564
17,931	179,305	2500	71,722	2439,99	73,486	1,20025	0,29106
20,571	205,714	2500	82,286	2430,00	84,656	1,40008	0,32061
21,004	210,039	2500	84,015	2419,98	86,793	1,60034	0,34795
19,012	190,116	2500	76,046	2409,99	78,887	1,80017	0,36979
19,784	197,838	2500	79,135	2399,98	82,433	2,00042	0,38741
21,344	213,436	2500	85,375	2375,00	89,868	2,50000	0,42191
21,591	215,907	2500	86,363	2350,00	91,875	3,00000	0,44907
21,205	212,046	2500	84,819	2325,00	91,203	3,50000	0,47256
22,703	227,027	2500	90,811	2300,00	98,707	4,00000	0,49936
22,317	223,166	2500	89,266	2275,00	98,095	4,50000	0,51239
22,826	228,263	2500	91,305	2250,00	101,450	5,00000	0,53147
22,548	225,483	2500	90,193	2200,00	102,492	6,00000	0,55221
22,764	227,645	2500	91,058	2150,00	105,881	7,00000	0,56010
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>66,718</b>		<b>67,666</b>			

Tabela E-21 – Dados de cisalhamento: CP7 – solo S3 sob energia Normal

Solo	S3	Energia de Compactação	Normal	CP		7	
				Carga N (kPa)		50	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
6,116	61,158	2500	24,463	2494,98	24,513	0,10034	0,00000
6,981	69,807	2500	27,923	2489,99	28,035	0,20025	0,00569
7,876	78,764	2500	31,506	2484,97	31,696	0,30059	0,01119
8,649	86,486	2500	34,595	2480,00	34,874	0,40008	0,01597
9,189	91,892	2500	36,757	2475,00	37,128	0,50000	0,02294
9,282	92,819	2500	37,127	2469,98	37,579	0,60034	0,02808
9,529	95,290	2500	38,116	2464,99	38,657	0,70025	0,03469
9,575	95,753	2500	38,301	2459,99	38,924	0,80017	0,04331
10,085	100,849	2500	40,340	2454,97	41,080	0,90051	0,04827
10,332	103,320	2500	41,328	2450,00	42,172	1,00000	0,05506
10,625	106,255	2500	42,502	2439,99	43,547	1,20025	0,06515
10,780	107,799	2500	43,120	2430,00	44,362	1,40008	0,07378
10,826	108,263	2500	43,305	2419,98	44,737	1,60034	0,07689
<b>10,842</b>	<b>108,417</b>	<b>2500</b>	<b>43,367</b>	<b>2409,99</b>	<b>44,986</b>	<b>1,80017</b>	<b>0,08093</b>
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>43,367</b>		<b>44,986</b>			

Tabela E-22 – Dados de cisalhamento: CP8 – solo S3 sob energia Normal

Solo	S3	Energia de Compactação	Normal	CP		8	
				Carga N (kPa)		100	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
9,112	91,120	2500	36,448	2494,96	36,521	0,10076	0,04698
10,208	102,085	2500	40,834	2489,97	40,999	0,20067	0,07029
10,625	106,255	2500	42,502	2484,99	42,759	0,30017	0,09304
11,382	113,822	2500	45,529	2479,97	45,897	0,40051	0,11543
11,722	117,220	2500	46,888	2474,98	47,362	0,50042	0,13948
12,680	126,795	2500	50,718	2469,98	51,335	0,60034	0,16260
13,174	131,737	2500	52,695	2464,99	53,443	0,70025	0,18444
13,452	134,517	2500	53,807	2459,97	54,683	0,80059	0,20224
<b>13,529</b>	<b>135,290</b>	<b>2500</b>	<b>54,116</b>	<b>2454,97</b>	<b>55,108</b>	<b>0,90051</b>	<b>0,21784</b>
13,390	133,900	2500	53,560	2449,98	54,653	1,00042	0,23417
14,162	141,622	2500	56,649	2439,97	58,042	1,20067	0,26702
14,502	145,019	2500	58,008	2430,00	59,679	1,40008	0,29382
14,425	144,247	2500	57,699	2419,98	59,607	1,60034	0,31841
14,873	148,726	2500	59,490	2409,93	61,714	1,80143	0,35254
14,873	148,726	2500	59,490	2400,00	61,969	2,00000	0,36576
15,583	155,830	2500	62,332	2375,00	65,613	2,50000	0,39861
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>54,116</b>		<b>55,108</b>			



Tabela E-23 – Dados de cisalhamento: CP9 – solo S3 sob energia Normal

Solo	S3	Energia de Compactação	Normal	CP		9	
				Carga N (kPa)		400	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
16,757	167,568	2500	67,027	2494,98	67,162	0,10034	0,01248
20,911	209,112	2500	83,645	2489,99	83,981	0,20025	0,06019
23,444	234,440	2500	93,776	2484,99	94,342	0,30017	0,11525
24,710	247,104	2500	98,842	2479,95	99,641	0,40093	0,17067
27,768	277,683	2500	111,073	2474,98	112,196	0,50042	0,22188
28,973	289,730	2500	115,892	2469,98	117,300	0,60034	0,26720
31,799	317,992	2500	127,197	2464,99	129,004	0,70025	0,30556
33,467	334,672	2500	133,869	2459,97	136,047	0,80059	0,34355
34,641	346,409	2500	138,564	2455,00	141,104	0,90008	0,38227
36,587	365,869	2500	146,347	2450,00	149,334	1,00000	0,41182
40,108	401,081	2500	160,432	2439,99	164,378	1,20025	0,47110
41,050	410,502	2500	164,201	2430,00	168,931	1,40008	0,52615
42,486	424,865	2500	169,946	2419,96	175,567	1,60076	0,57901
44,309	443,089	2500	177,236	2409,99	183,855	1,80017	0,62452
46,332	463,320	2500	185,328	2399,98	193,052	2,00042	0,66654
49,328	493,282	2500	197,313	2374,98	207,699	2,50042	0,75427
51,815	518,147	2500	207,259	2349,96	220,492	3,00084	0,81409
53,421	534,208	2500	213,683	2325,00	229,767	3,50000	0,85906
54,193	541,931	2500	216,772	2300,00	235,622	4,00000	0,89521
54,965	549,653	2500	219,861	2275,00	241,605	4,50000	0,92109
55,320	553,205	2500	221,282	2250,00	245,869	5,00000	0,94678
<b>56,247</b>	<b>562,471</b>	<b>2500</b>	<b>224,988</b>	<b>2200,00</b>	<b>255,669</b>	<b>6,00000</b>	<b>0,99101</b>
54,672	546,718	2500	218,687	2150,00	254,288	7,00000	1,00642
54,131	541,313	2500	216,525	2100,00	257,768	8,00000	1,02496
52,710	527,104	2500	210,842	2050,00	257,124	9,00000	1,04203
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>224,988</b>		<b>255,669</b>			

Tabela E-24 – Dados de cisalhamento: CP1 – solo S3 sob energia Modificada

Solo	S3	Energia de Compactação	Modificada	CP		1	
				Carga N (kPa)		50	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,000
12,015	120,154	2500	48,062	2494,94	48,159	0,10118	12,015
12,664	126,641	2500	50,656	2489,99	50,860	0,20025	12,664
12,710	127,104	2500	50,842	2484,99	51,149	0,30017	12,710
13,066	130,656	2500	52,263	2480,00	52,684	0,40008	13,066
13,313	133,127	2500	53,251	2475,00	53,789	0,50000	13,313
13,560	135,598	2500	54,239	2469,98	54,899	0,60034	13,560
<b>13,560</b>	<b>135,598</b>	<b>2500</b>	<b>54,239</b>	<b>2464,99</b>	<b>55,010</b>	<b>0,70025</b>	<b>13,560</b>
13,498	134,981	2500	53,992	2459,99	54,870	0,80017	13,498
13,220	132,201	2500	52,880	2454,97	53,850	0,90051	13,220
12,973	129,730	2500	51,892	2450,00	52,951	1,00000	12,973
12,340	123,398	2500	49,359	2439,97	50,574	1,20067	12,340
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,000
12,015	120,154	2500	48,062	2494,94	48,159	0,10118	12,015
12,664	126,641	2500	50,656	2489,99	50,860	0,20025	12,664
12,710	127,104	2500	50,842	2484,99	51,149	0,30017	12,710
13,066	130,656	2500	52,263	2480,00	52,684	0,40008	13,066
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>54,239</b>		<b>55,010</b>			

Tabela E-25 – Dados de cisalhamento: CP2 – solo S3 sob energia Modificada

Solo	S3	Energia de Compactação	Modificada	CP		2	
				Carga N (kPa)		50	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
9,529	95,290	2500	38,116	2494,98	38,192	0,10034	0,00128
11,598	115,985	2500	46,394	2489,99	46,580	0,20025	0,00165
12,618	126,178	2500	50,471	2484,99	50,776	0,30017	0,00184
13,236	132,355	2500	52,942	2480,00	53,369	0,40008	0,00147
<b>13,730</b>	<b>137,297</b>	<b>2500</b>	<b>54,919</b>	<b>2475,00</b>	<b>55,474</b>	<b>0,50000</b>	<b>0,00073</b>
13,282	132,819	2500	53,127	2469,98	53,773	0,60034	-0,01101
12,417	124,170	2500	49,668	2464,99	50,373	0,70025	-0,02386
11,753	117,529	2500	47,012	2459,95	47,777	0,80101	-0,03267
11,135	111,351	2500	44,541	2455,00	45,357	0,90008	-0,04349
10,888	108,880	2500	43,552	2450,00	44,441	1,00000	-0,04790
10,687	106,873	2500	42,749	2439,99	43,800	1,20025	-0,05230
10,363	103,629	2500	41,452	2430,00	42,646	1,40008	-0,05873
10,178	101,776	2500	40,710	2419,98	42,057	1,60034	-0,06570
10,069	100,695	2500	40,278	2409,97	41,783	1,80059	-0,07231
9,946	99,459	2500	39,784	2400,00	41,441	2,00000	-0,07910
9,683	96,834	2500	38,734	2375,00	40,772	2,50000	-0,09763
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>54,919</b>		<b>55,474</b>			

Tabela E-26 – Dados de cisalhamento: CP3 – solo S3 sob energia Modificada

Solo	S3	Energia de Compactação	Modificada	CP		3	
				Carga N (kPa)		100	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
13,313	133,127	2500	53,251	2494,98	53,358	0,10034	0,00514
16,463	164,633	2500	65,853	2489,99	66,118	0,20025	0,01578
17,884	178,842	2500	71,537	2484,99	71,969	0,30017	0,02569
18,981	189,807	2500	75,923	2479,97	76,536	0,40051	0,03505
19,876	198,764	2500	79,506	2475,00	80,309	0,50000	0,04404
20,124	201,236	2500	80,494	2469,98	81,472	0,60034	0,05377
<b>20,432</b>	<b>204,324</b>	<b>2500</b>	<b>81,730</b>	<b>2464,97</b>	<b>82,891</b>	<b>0,70067</b>	<b>0,06001</b>
20,355	203,552	2500	81,421	2459,99	82,745	0,80017	0,06497
21,189	211,892	2500	84,757	2455,00	86,310	0,90008	0,06955
21,236	212,355	2500	84,942	2450,00	86,676	1,00000	0,07396
21,483	214,826	2500	85,931	2439,99	88,044	1,20025	0,07873
21,266	212,664	2500	85,066	2430,00	87,516	1,40008	0,08240
20,958	209,575	2500	83,830	2419,98	86,602	1,60034	0,08387
20,602	206,023	2500	82,409	2409,99	85,487	1,80017	0,08405
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>81,730</b>		<b>82,891</b>			

Tabela E-27 – Dados de cisalhamento: CP4 – solo S3 sob energia Modificada

Solo	S3	Energia de Compactação	Modificada	CP		4	
				Carga N (kPa)		200	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
12,803	128,031	2500	51,212	2494,98	51,315	0,10034	0,00863
17,514	175,135	2500	70,054	2489,99	70,336	0,20025	0,03395
20,819	208,185	2500	83,274	2484,99	83,777	0,30017	0,05983
23,506	235,058	2500	94,023	2479,97	94,782	0,40051	0,08295
26,903	269,035	2500	107,614	2475,00	108,701	0,50000	0,10552
29,097	290,965	2500	116,386	2469,98	117,801	0,60034	0,13213
30,795	307,954	2500	123,181	2464,97	124,932	0,70067	0,15471
32,510	325,097	2500	130,039	2459,95	132,156	0,80101	0,18168
33,514	335,135	2500	134,054	2455,00	136,511	0,90008	0,20719
34,981	349,807	2500	139,923	2449,96	142,781	1,00084	0,22903
<b>35,737</b>	<b>357,375</b>	<b>2500</b>	<b>142,950</b>	<b>2439,99</b>	<b>146,466</b>	<b>1,20025</b>	<b>0,26372</b>
35,181	351,815	2500	140,726	2430,00	144,780	1,40008	0,28280
35,259	352,587	2500	141,035	2419,96	145,699	1,60076	0,29418
35,228	352,278	2500	140,911	2409,99	146,174	1,80017	0,30831
35,243	352,432	2500	140,973	2399,94	146,851	2,00126	0,32391
35,336	353,359	2500	141,344	2374,98	148,784	2,50042	0,35236
35,166	351,660	2500	140,664	2349,98	149,644	3,00042	0,37346
35,135	351,351	2500	140,541	2324,98	151,120	3,50042	0,39604
35,351	353,514	2500	141,405	2299,98	153,703	4,00042	0,41439
34,826	348,263	2500	139,305	2275,00	153,082	4,50000	0,43292
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>142,950</b>		<b>146,466</b>			

Tabela E-28 – Dados de cisalhamento: CP5 – solo S3 sob energia Modificada

Solo	S3	Energia de Compactação	Modificada	CP		5	
				Carga N (kPa)		400	
Carga T (kgf)	Carga T (N)	Área cis. Constante (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área constante (kPa)	Área cis. Corrigida (mm <sup>2</sup> )	Tensão cisalhante com área corrigida (kPa)	Deformação 1 Deslocam.H (mm)	Deformação 2 Deslocam.V (mm)
0,000	0,000	2500	0,000	2500,00	0,000	0,00000	0,00000
31,135	311,351	2500	124,541	2494,98	124,791	0,10034	0,02845
31,969	319,691	2500	127,876	2489,99	128,391	0,20025	0,03377
32,062	320,618	2500	128,247	2484,99	129,022	0,30017	0,03909
<b>32,278</b>	<b>322,780</b>	<b>2500</b>	<b>129,112</b>	<b>2479,97</b>	<b>130,155</b>	<b>0,40051</b>	<b>0,04221</b>
32,232	322,317	2500	128,927	2475,00	130,229	0,50000	0,04478
32,062	320,618	2500	128,247	2469,98	129,806	0,60034	0,04661
32,077	320,772	2500	128,309	2464,99	130,131	0,70025	0,04863
31,645	316,448	2500	126,579	2459,99	128,638	0,80017	0,05120
<b>Tensão Cisalhante Máxima (kPa)</b>		<b>129,112</b>		<b>130,155</b>			

## APÊNDICE F – Gráficos Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal

Gráfico F-1 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP2 – solo S1 sob energia Normal

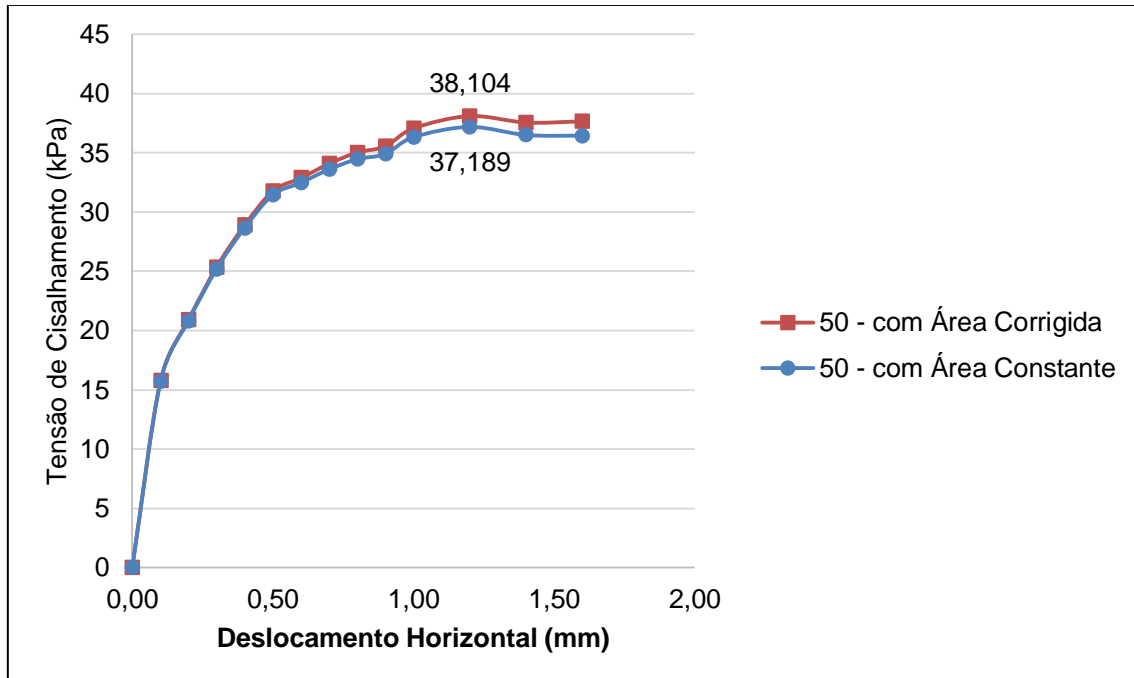


Gráfico F-2 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP6 – solo S1 sob energia Normal

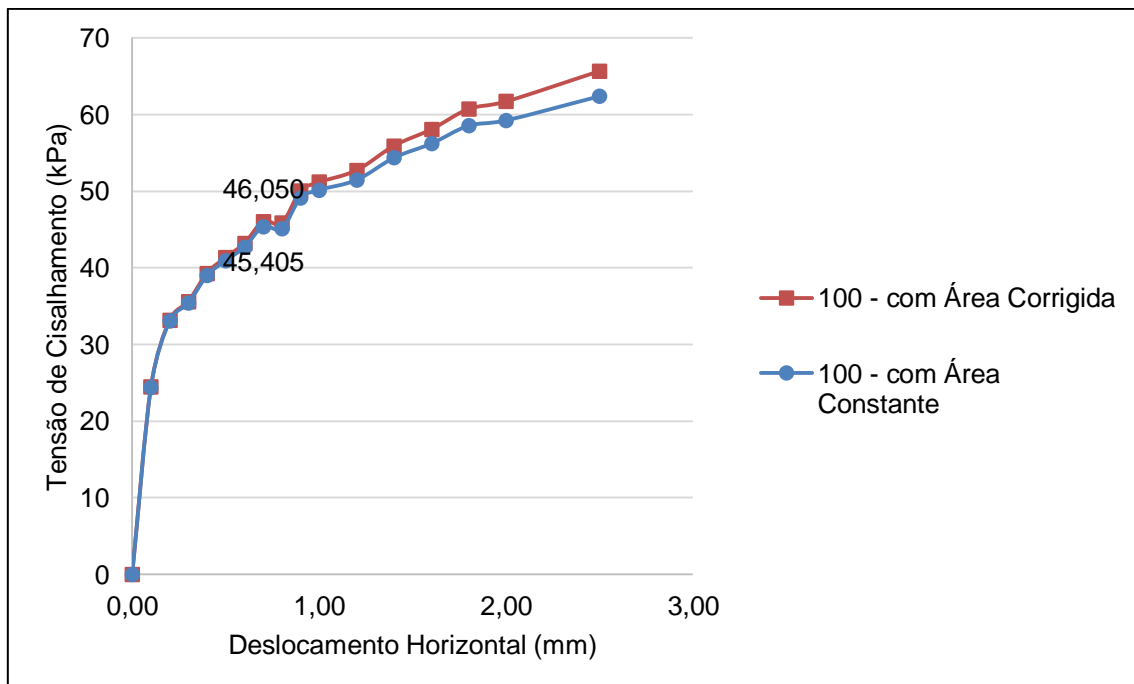


Gráfico F-3 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP7 – solo S1 sob energia Normal

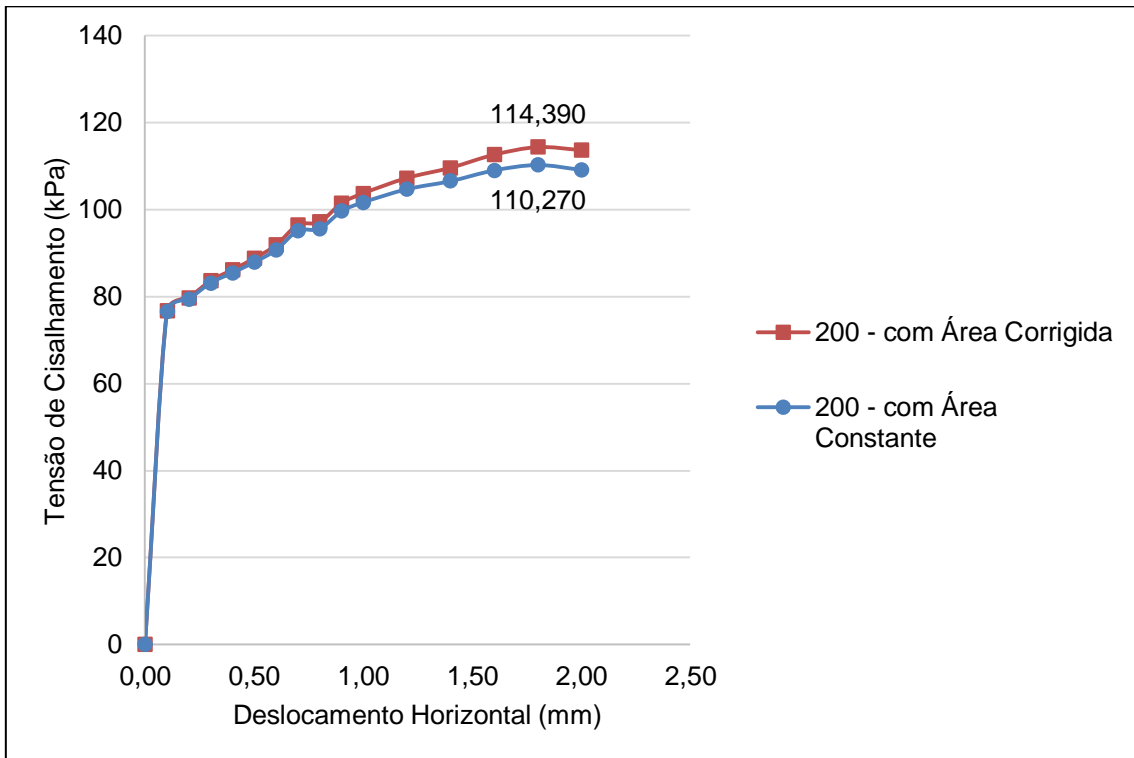


Gráfico F-4 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP8 – solo S1 sob energia Normal

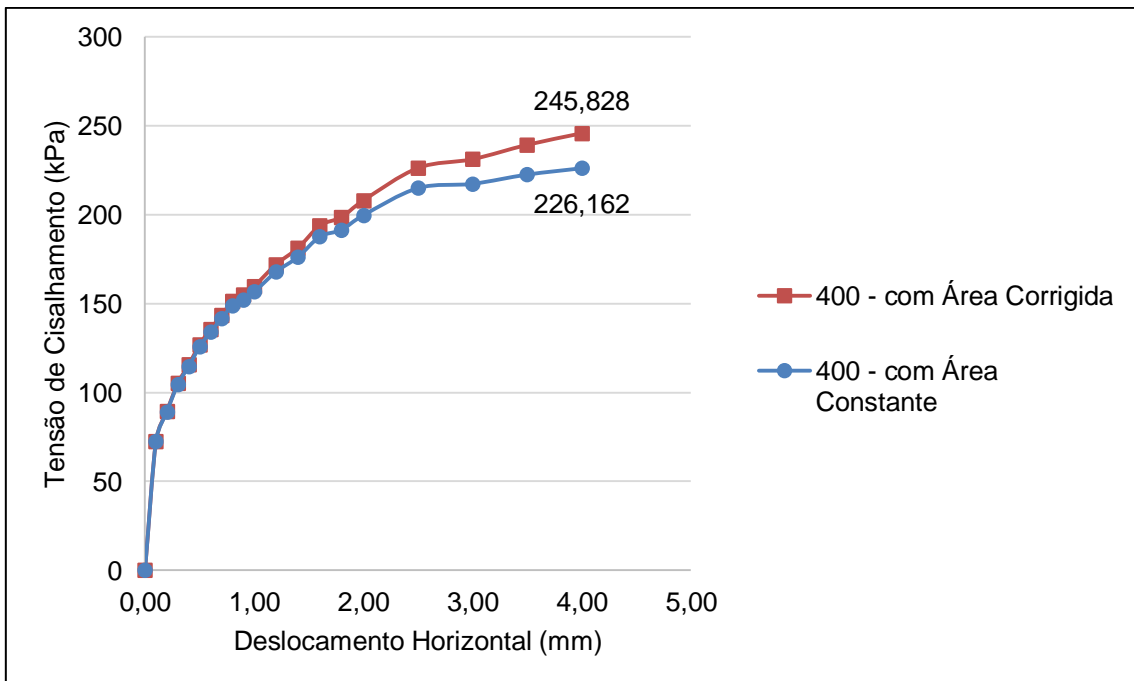


Gráfico F-5 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP1 – solo S1 sob energia Modificada

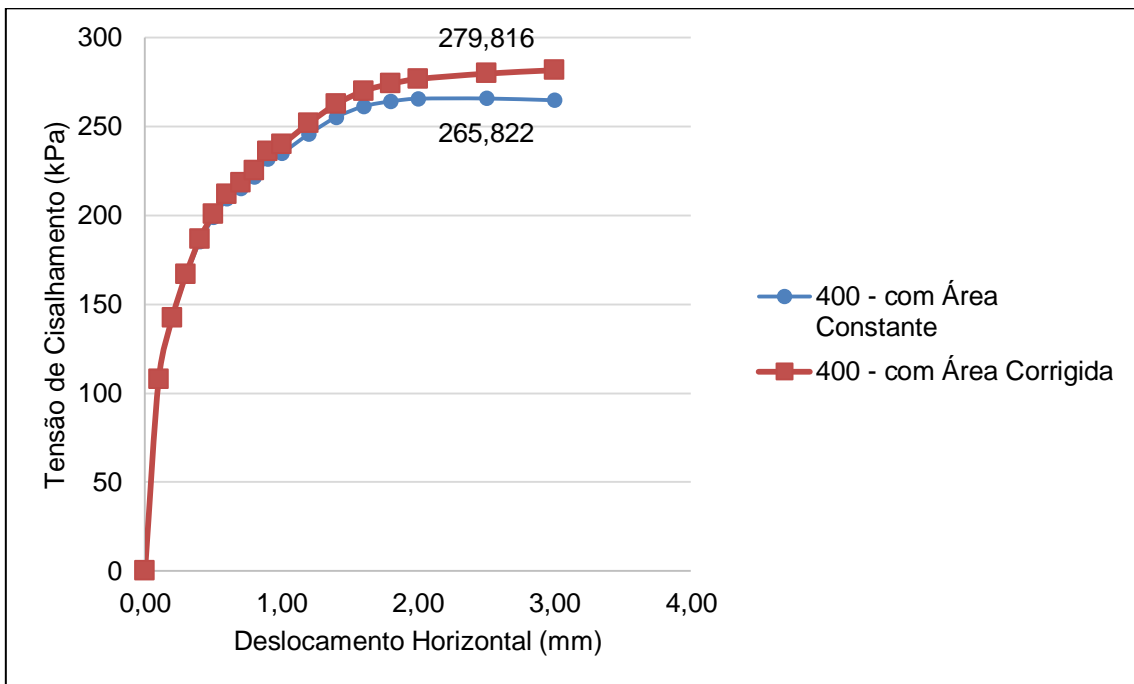


Gráfico F-6 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP2 – solo S1 sob energia Modificada

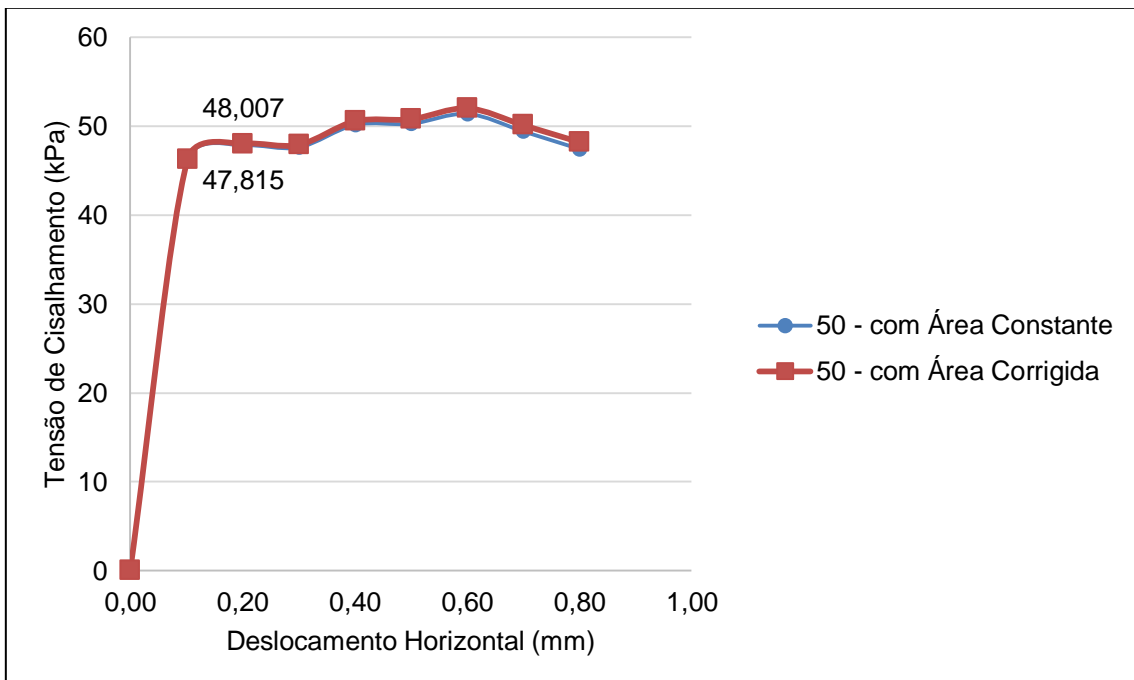


Gráfico F-7 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP4 – solo S1 sob energia Modificada

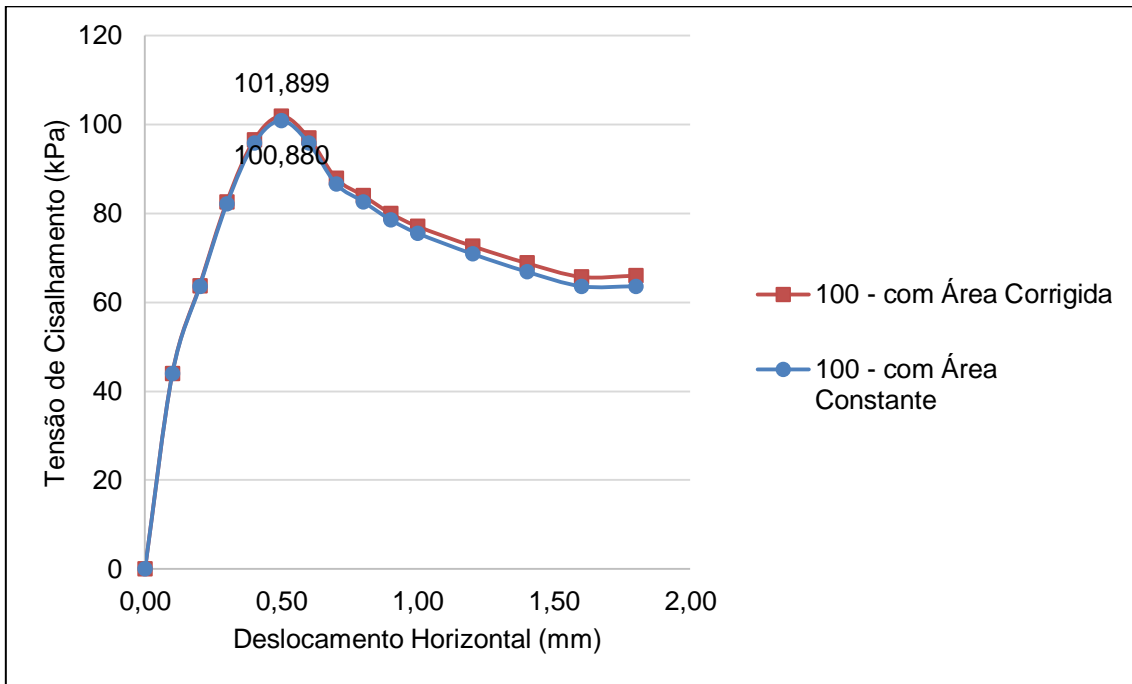


Gráfico F-8 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP5 – solo S1 sob energia Modificada

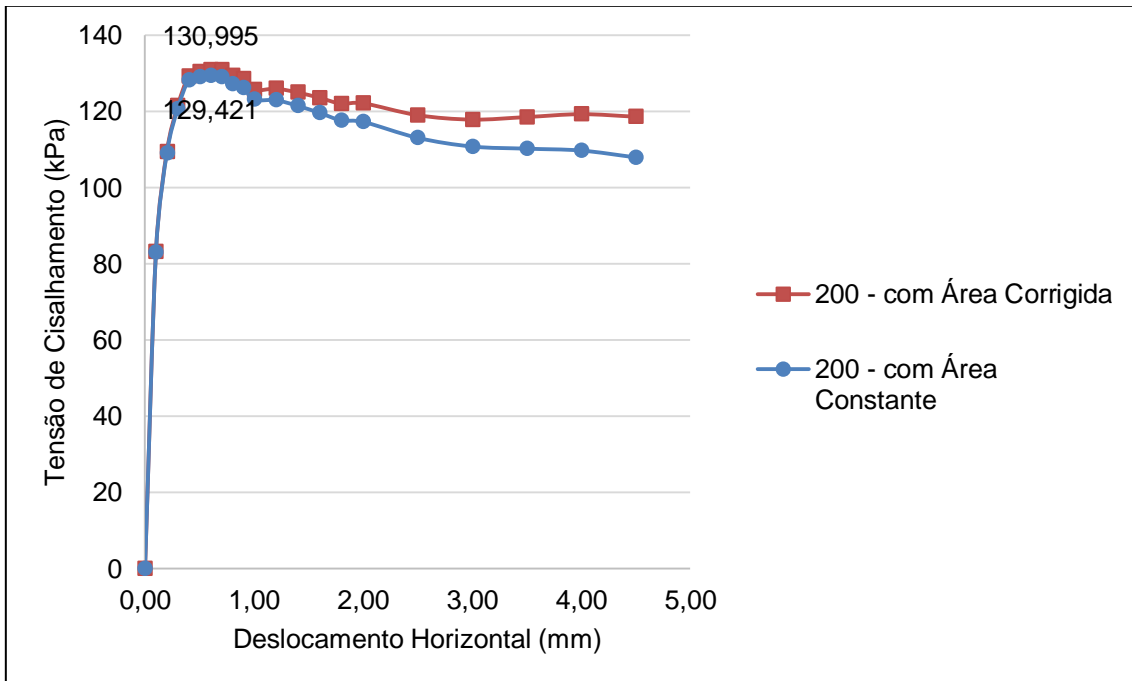




Gráfico F-9 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP2 – solo S2 sob energia Normal

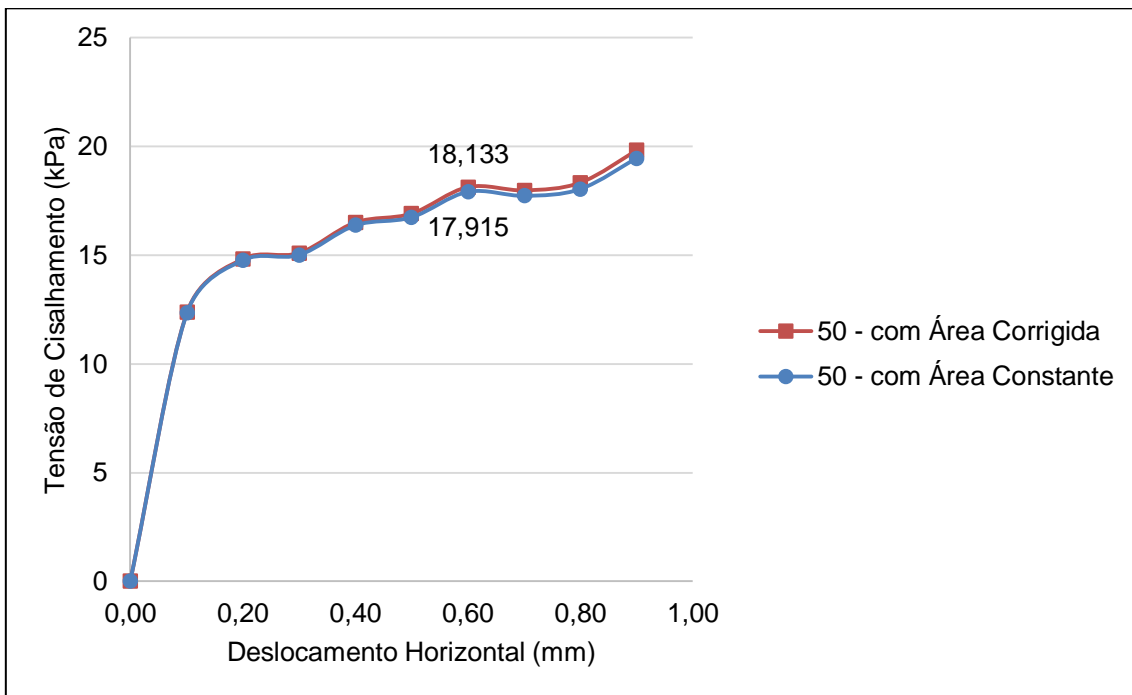


Gráfico F-10 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP3 – solo S2 sob energia Normal

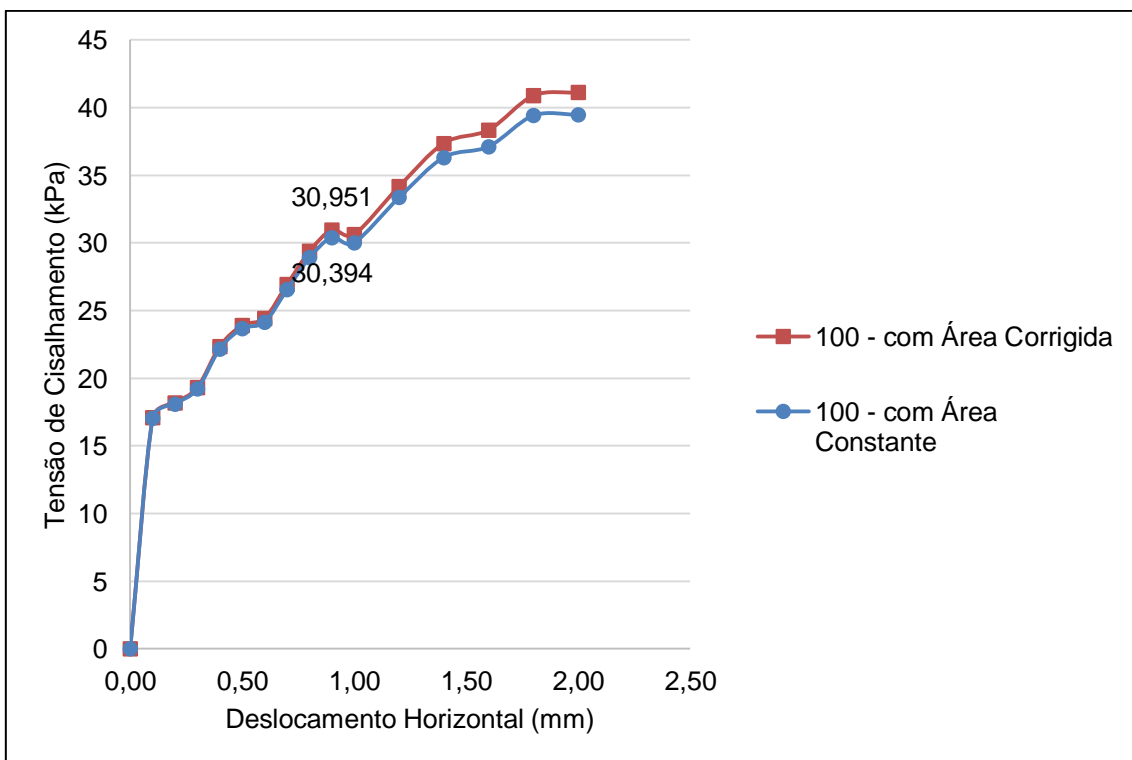


Gráfico F-11 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP4 – solo S2 sob energia Normal

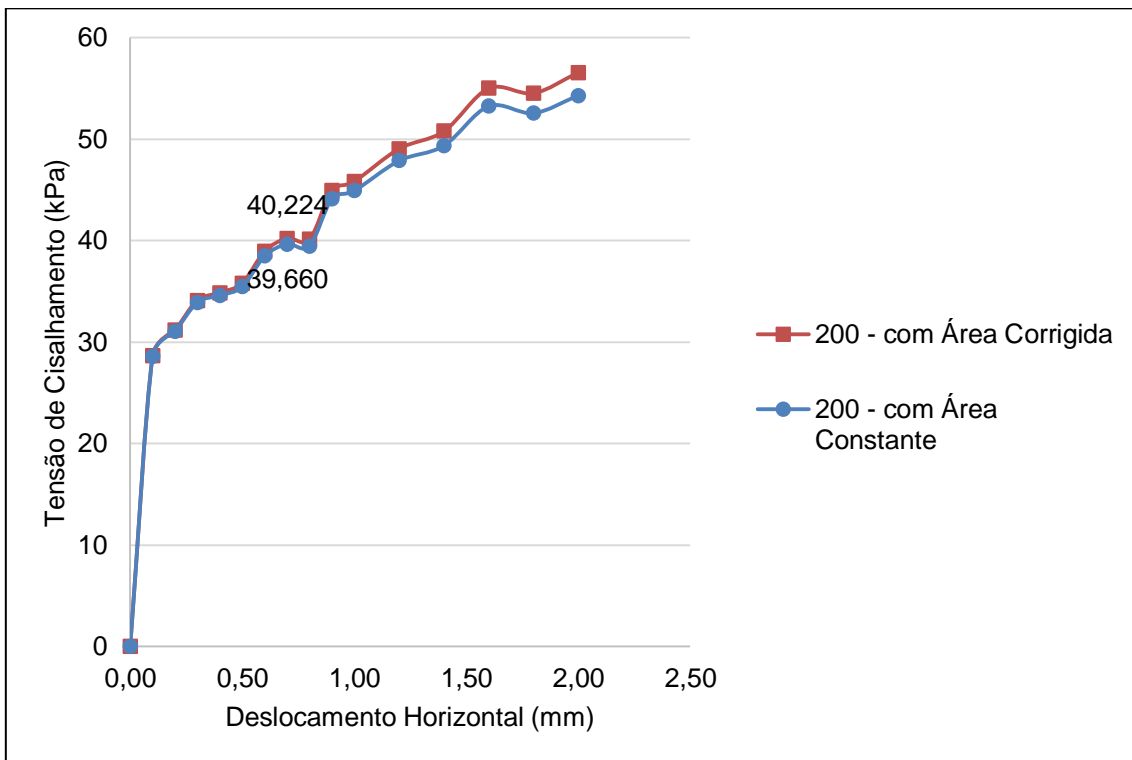


Gráfico F-12 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP5 – solo S2 sob energia Normal

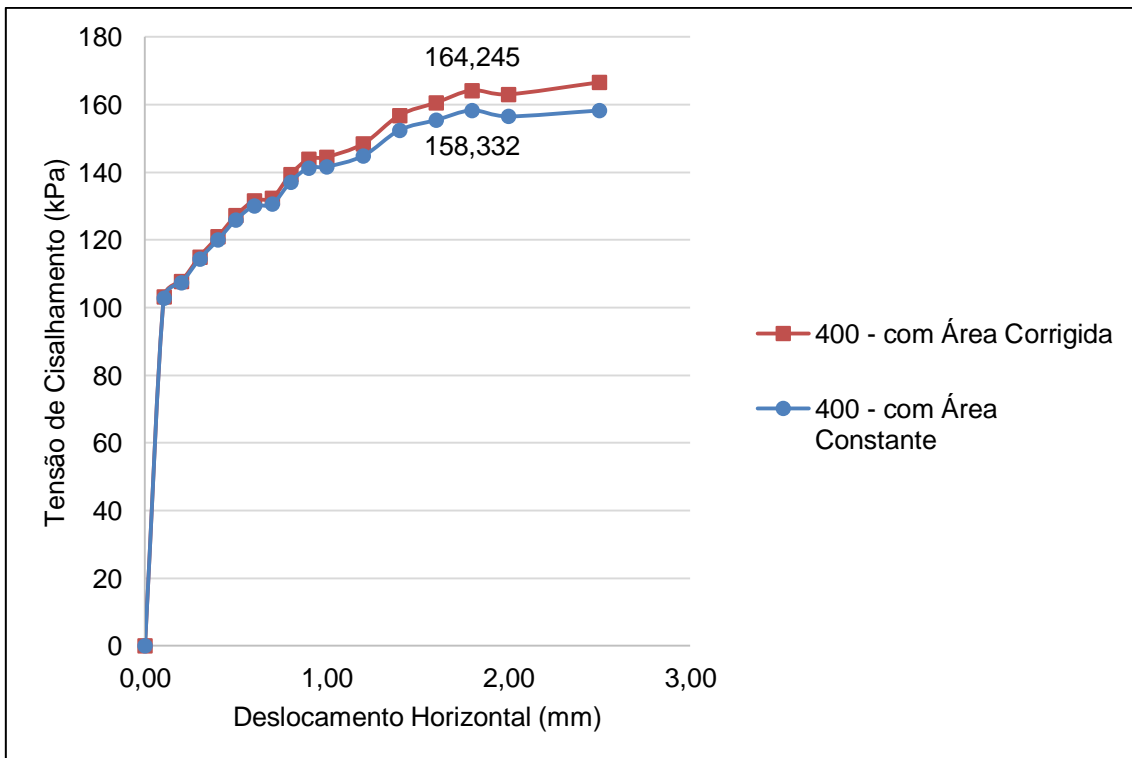


Gráfico F-13 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP1 – solo S2 sob energia Modificada

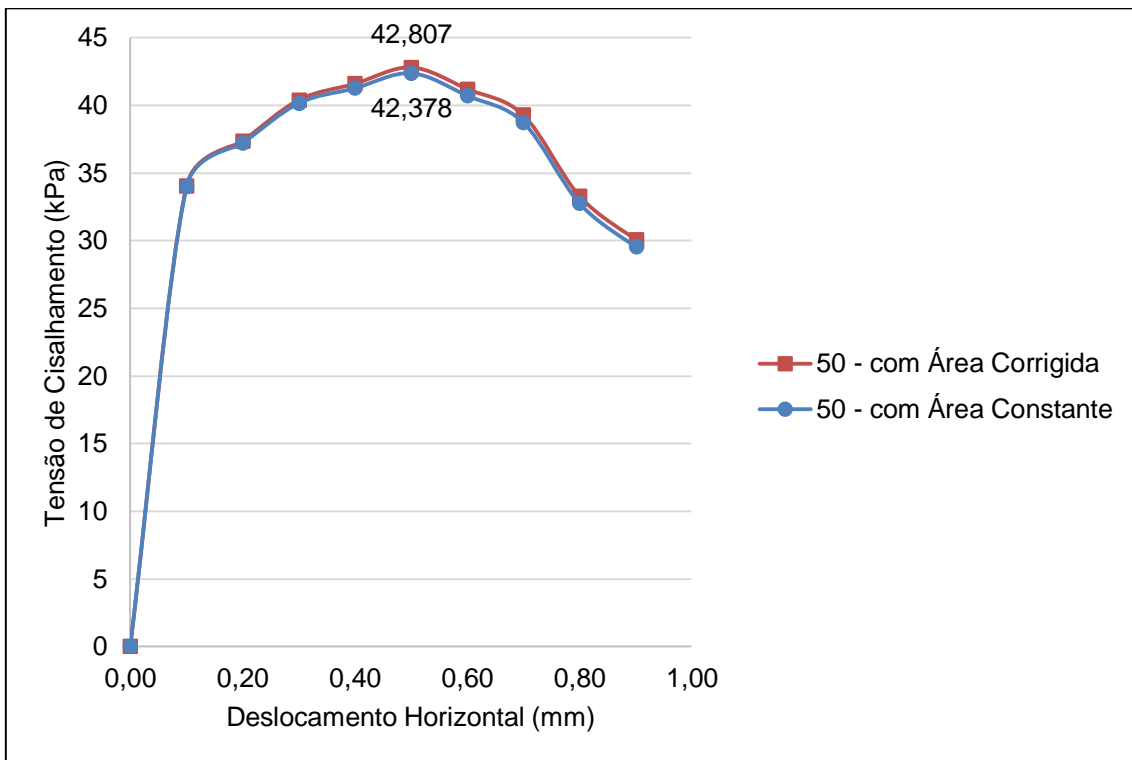


Gráfico F-14 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP2 – solo S2 sob energia Modificada

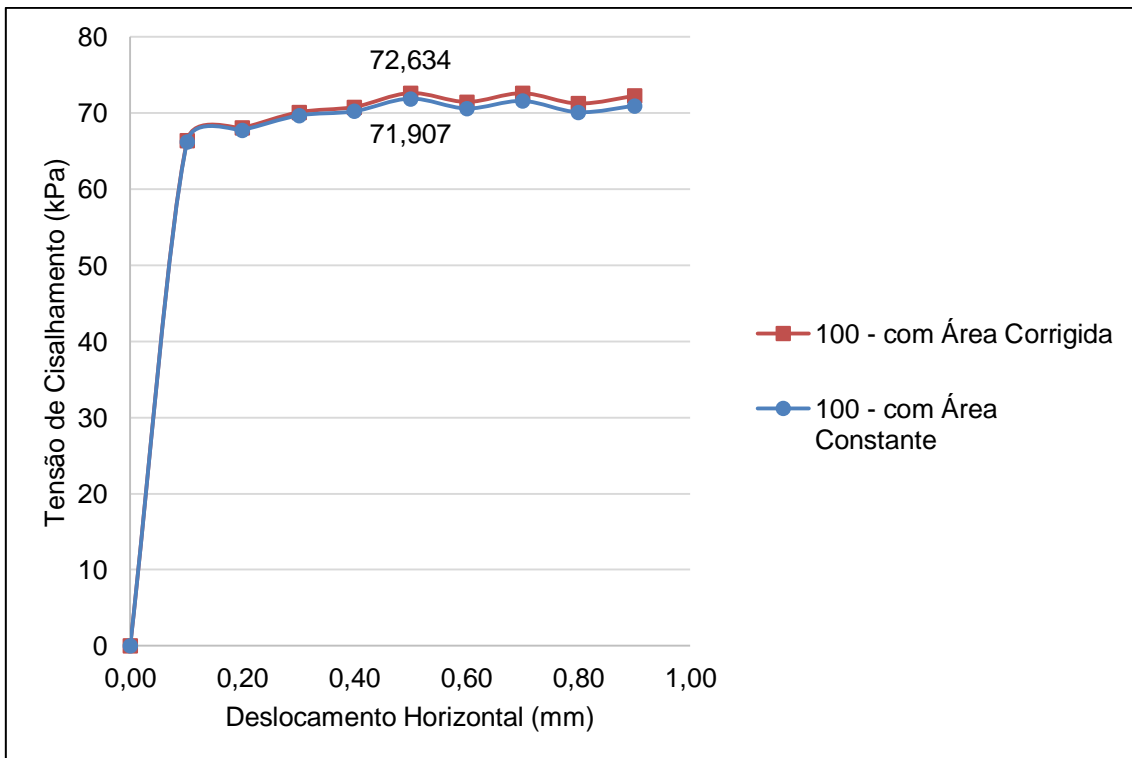


Gráfico F-15 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP3 – solo S2 sob energia Modificada

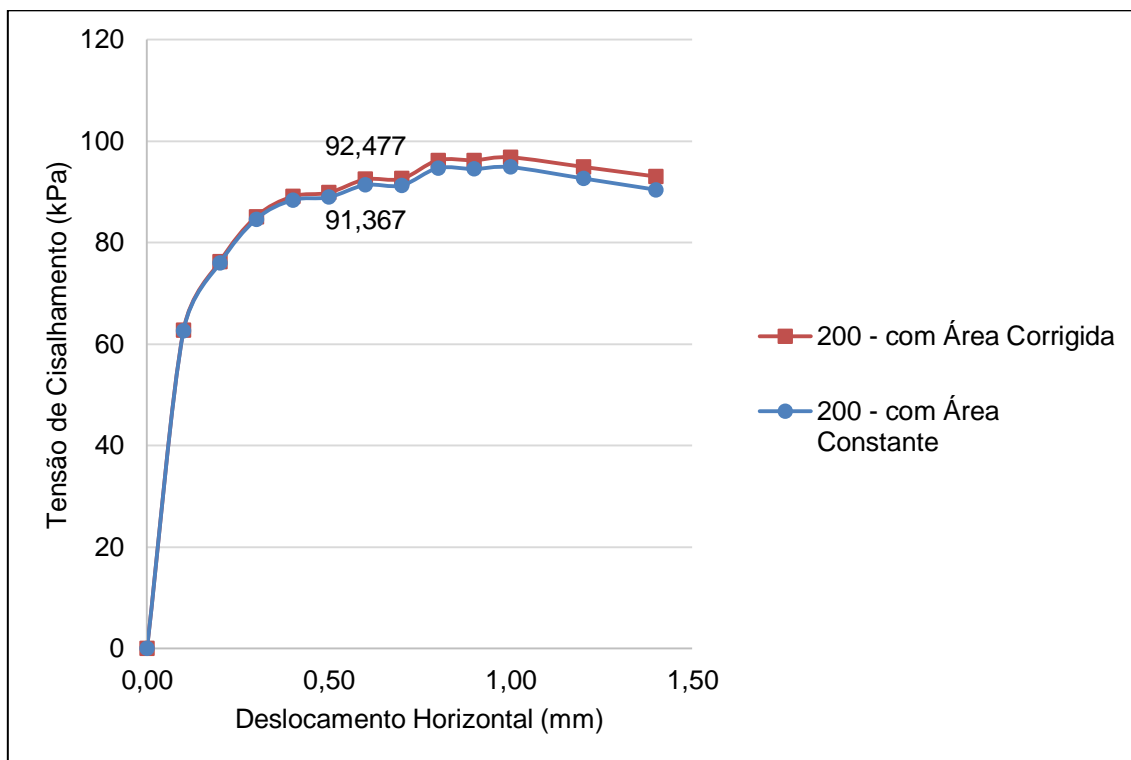


Gráfico F-16 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP5 – solo S2 sob energia Modificada

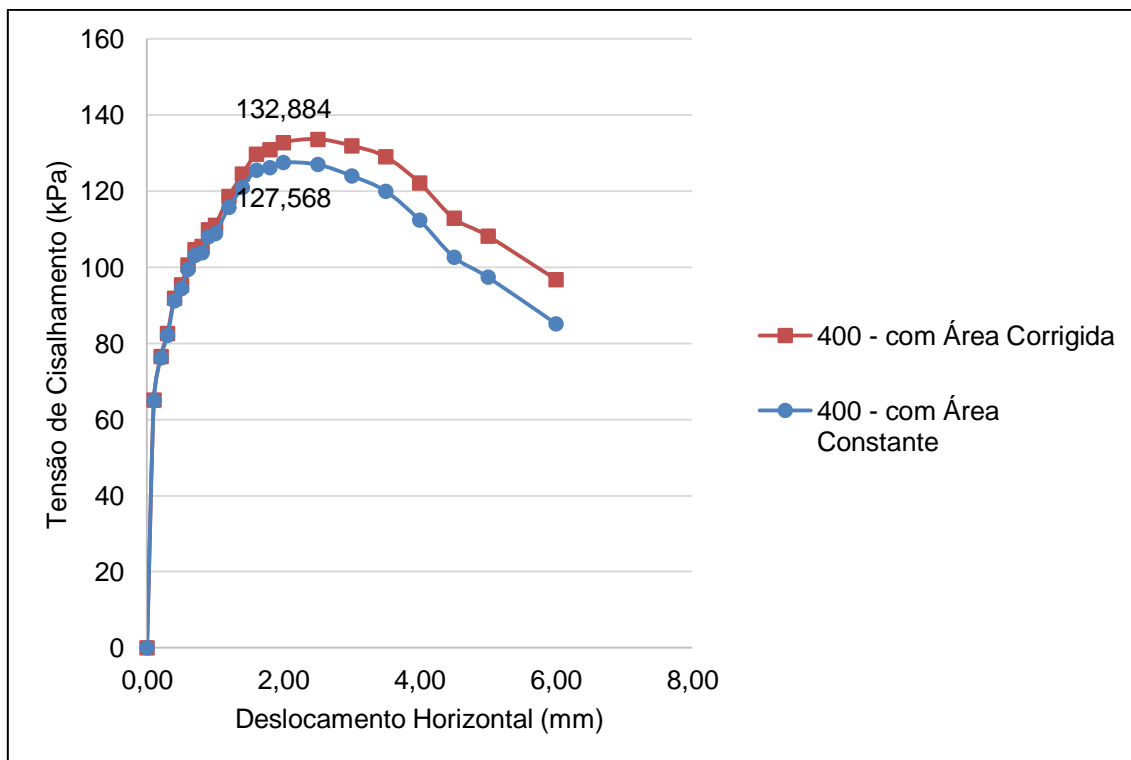


Gráfico F-17 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP6 – solo S2 sob energia Modificada

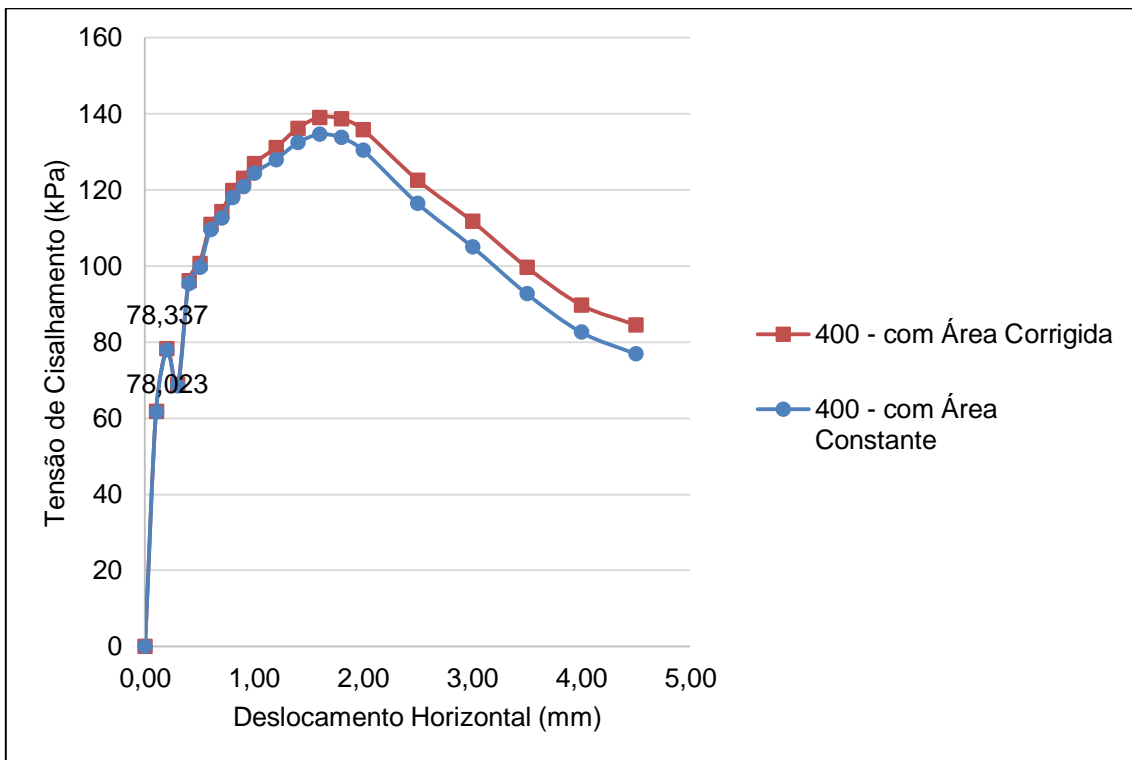


Gráfico F-18 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP1 – solo S3 sob energia Normal

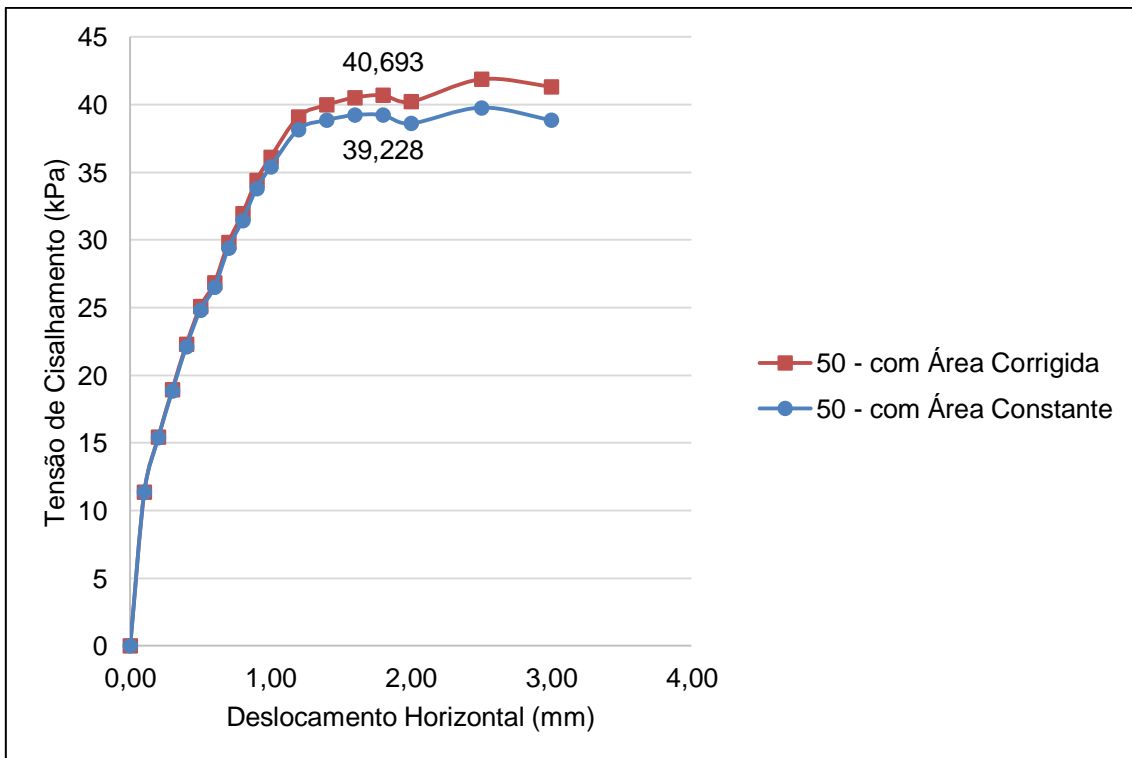


Gráfico F-19 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP2 – solo S3 sob energia Normal

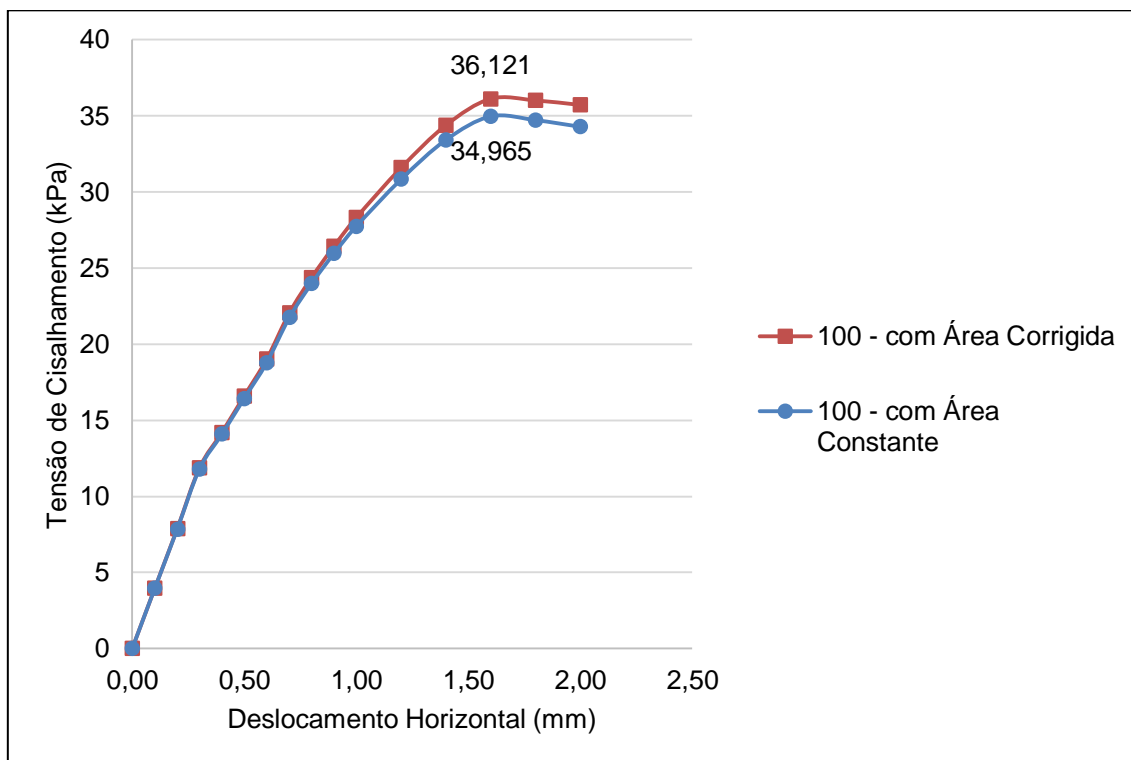


Gráfico F-20 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP4 – solo S3 sob energia Normal

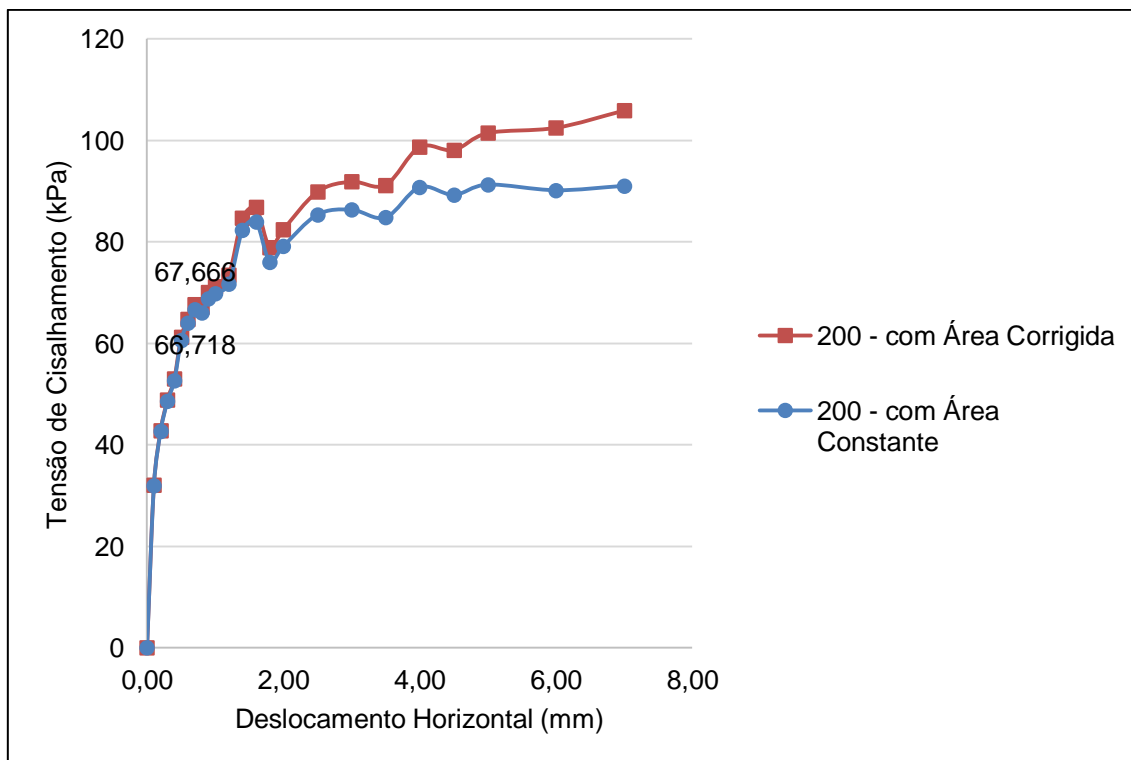


Gráfico F-21 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP7 – solo S3 sob energia Normal

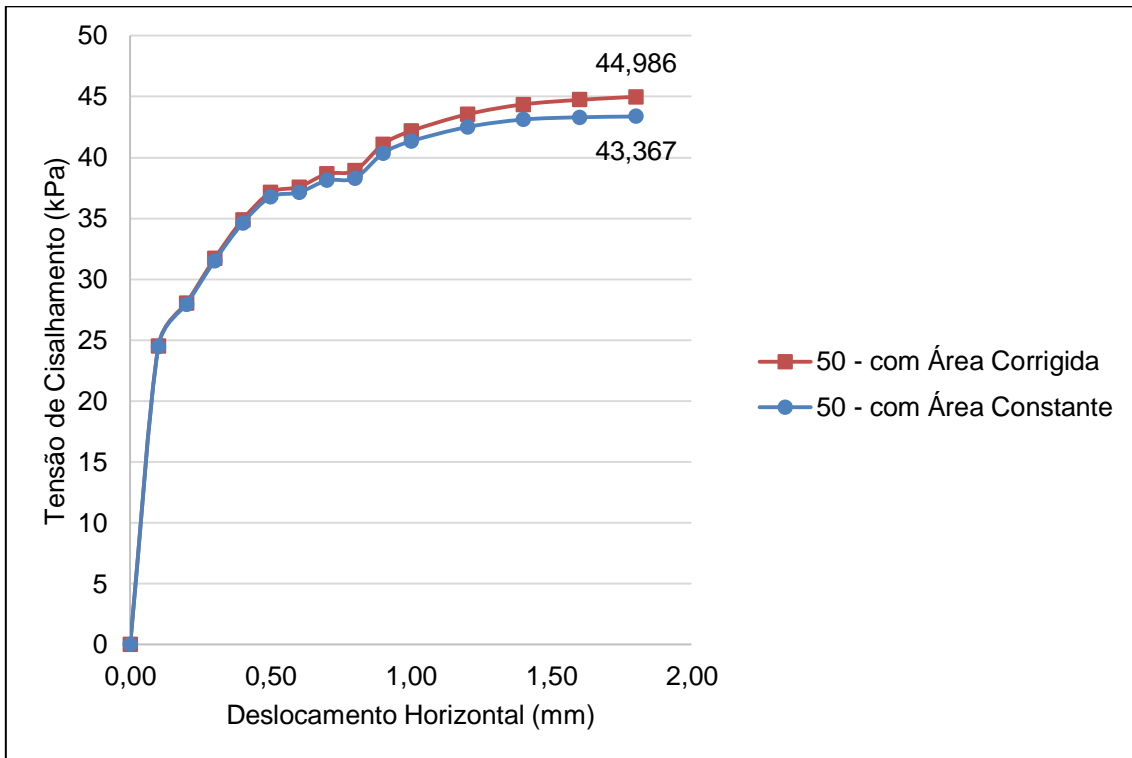


Gráfico F-22 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP8

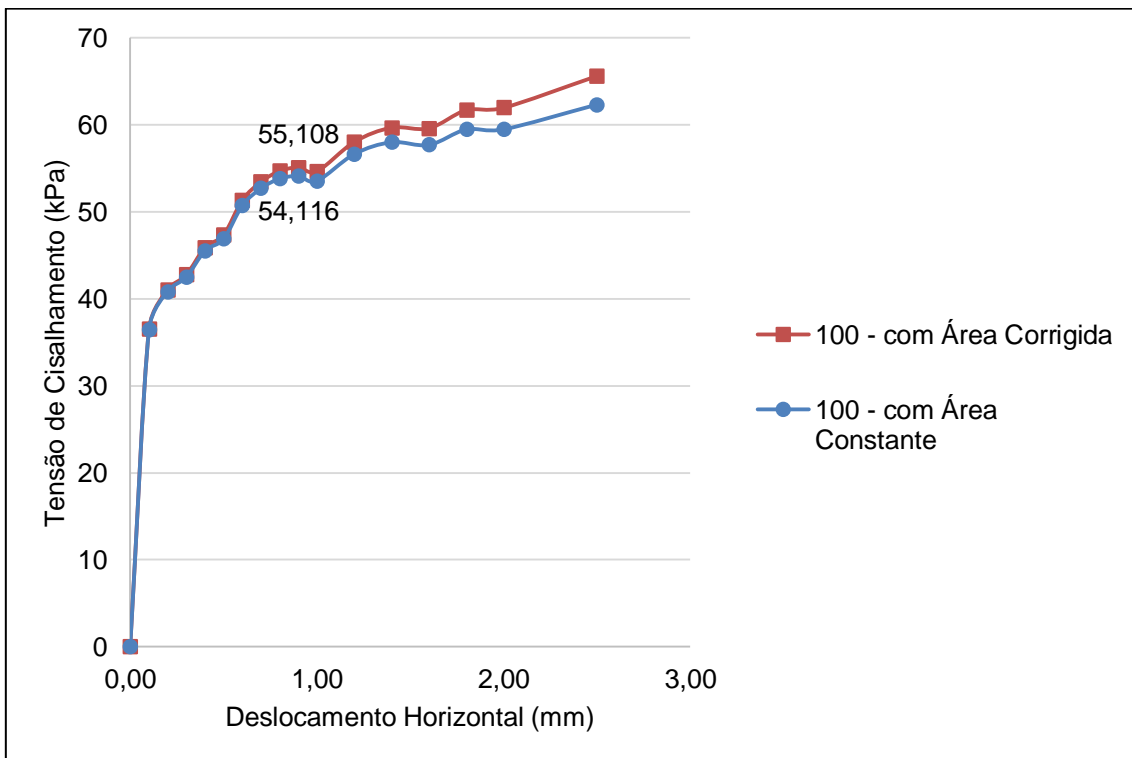


Gráfico F-23 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP9 – solo S3 sob energia Normal

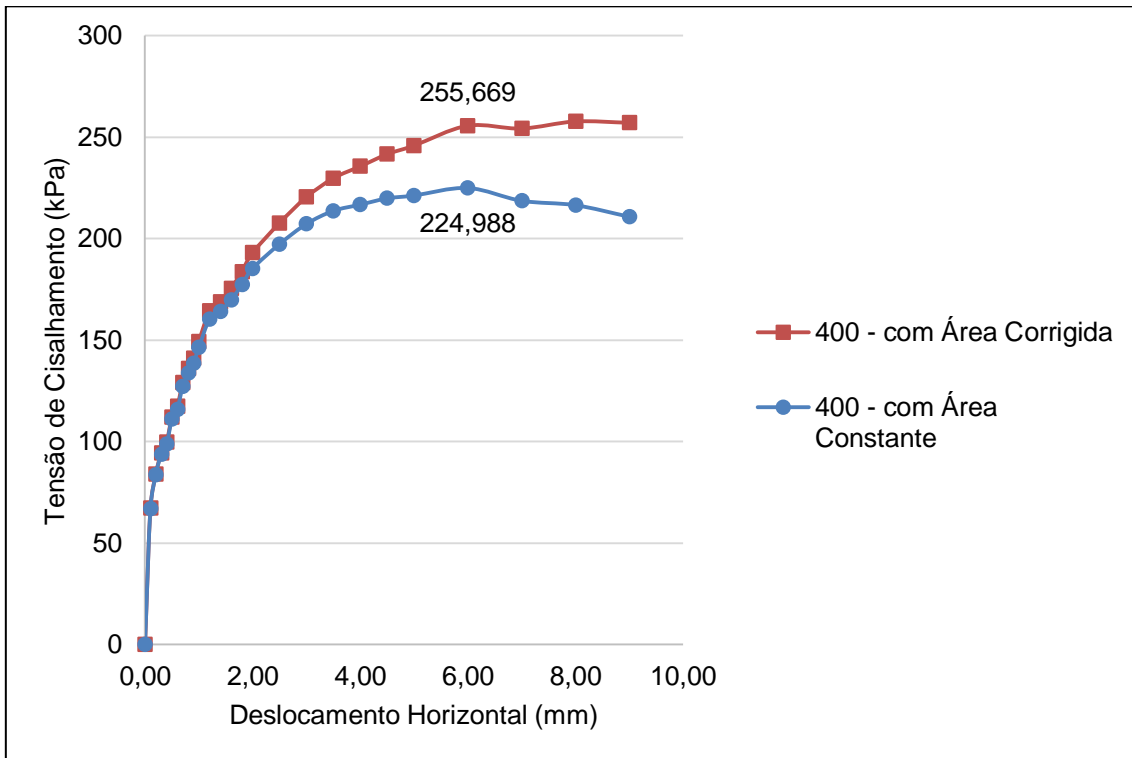


Gráfico F-24 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP1 – solo S3 sob energia Modificada

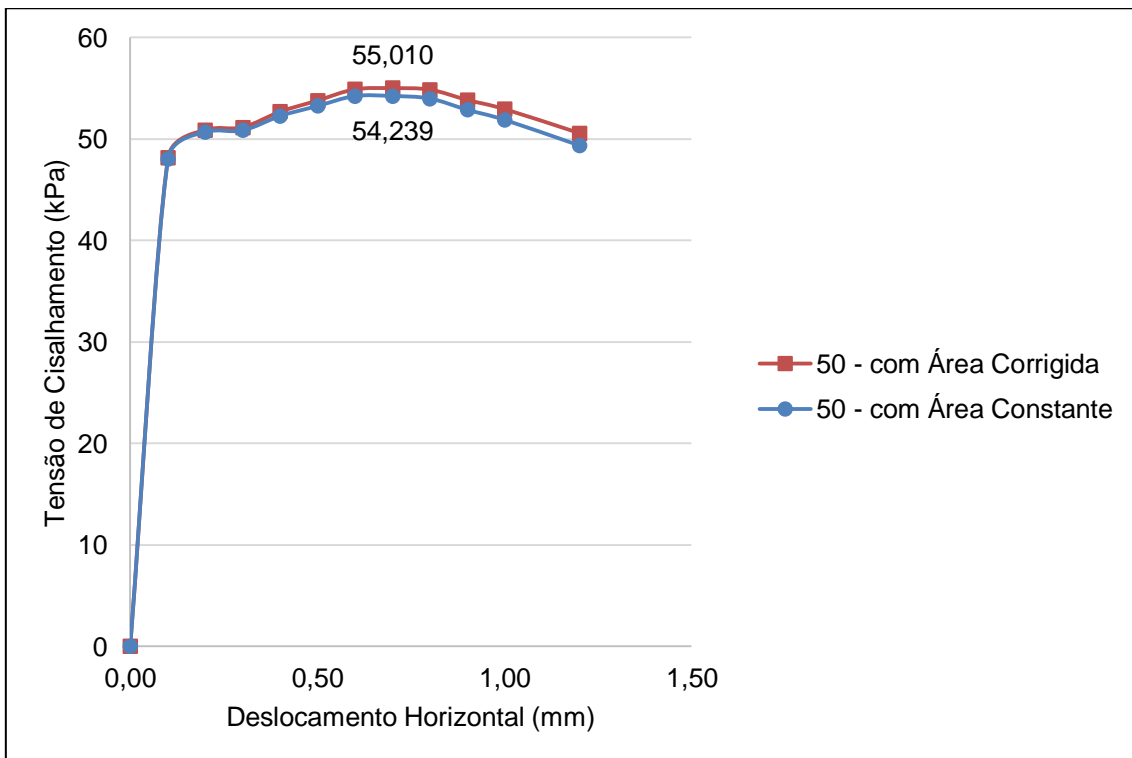




Gráfico F-25 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP2 – solo S3 sob energia Modificada

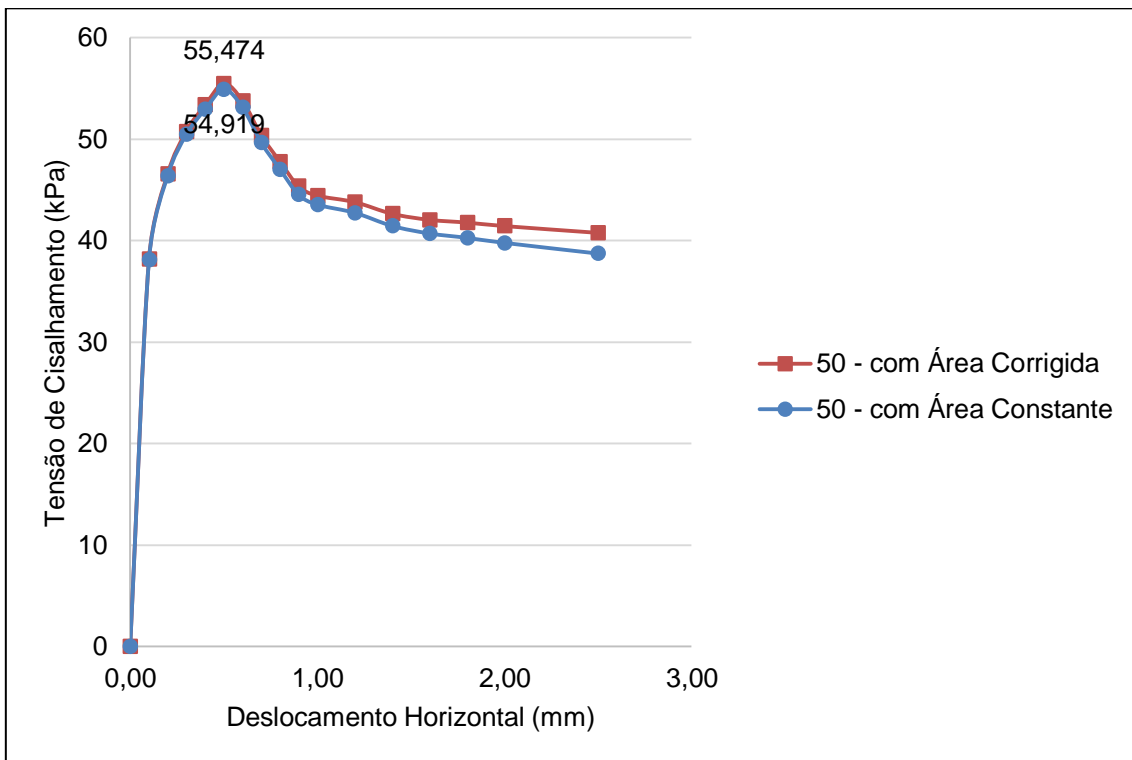


Gráfico F-26 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP3 – solo S3 sob energia Modificada

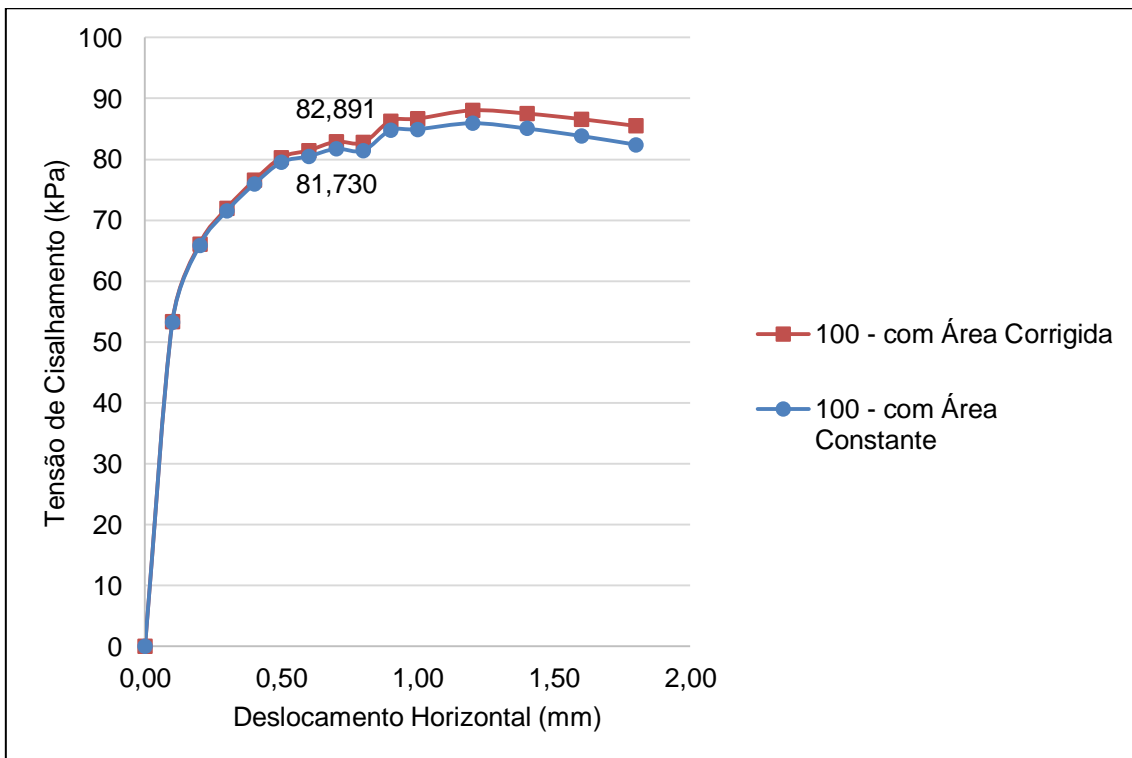


Gráfico F-27 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP4 – solo S3 sob energia Modificada

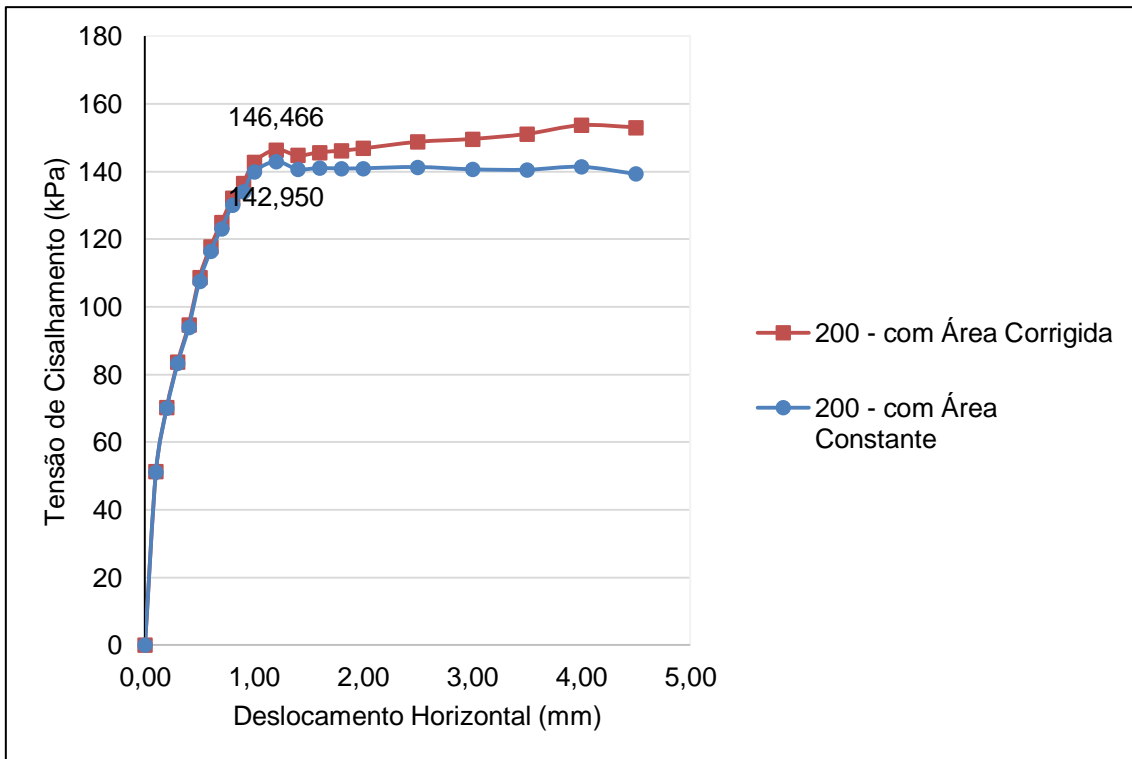
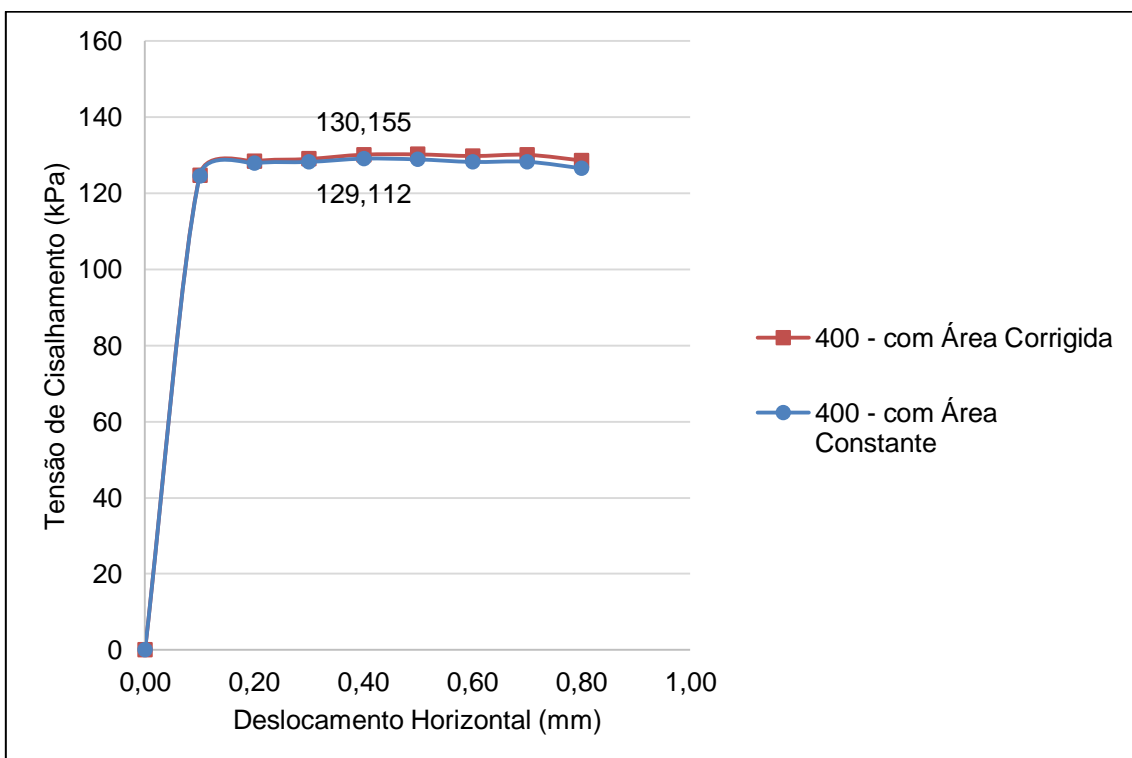


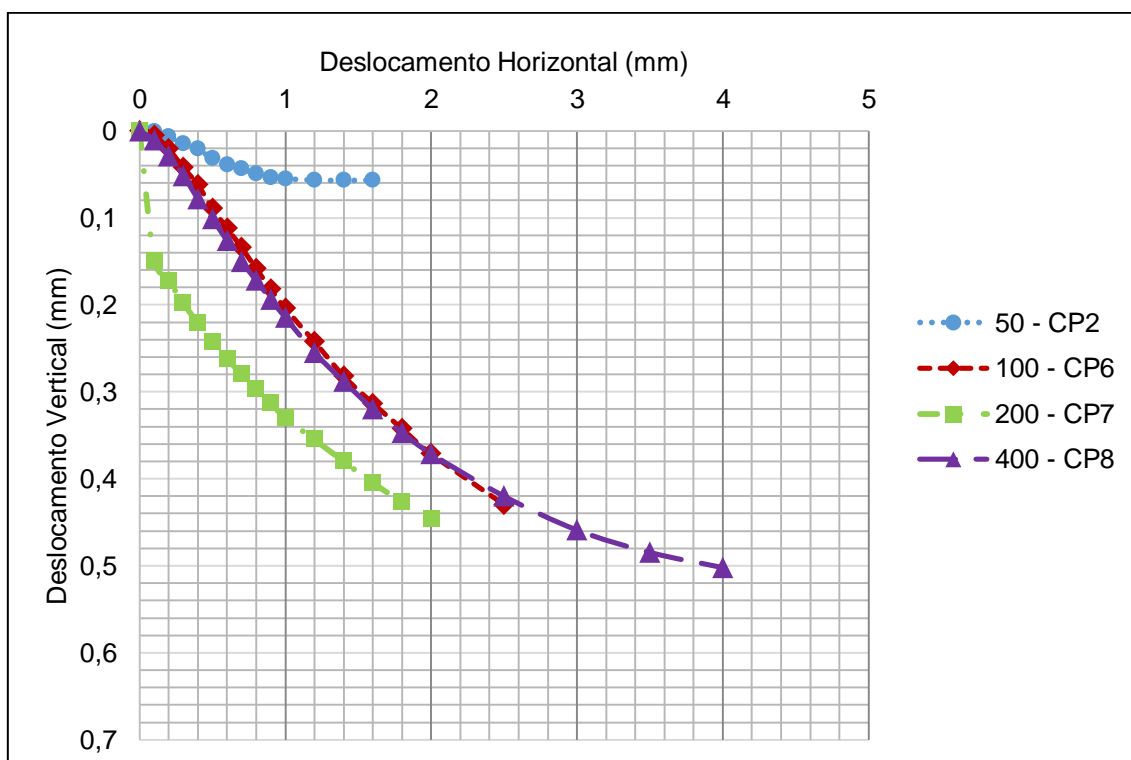
Gráfico F-28 - Tensão de Cisalhamento x Deslocamento Horizontal: CP5 – solo S3 sob energia Modificada



## APÊNDICE G – Gráficos de deslocamento horizontal x deslocamento vertical dos corpos de prova no ensaio de cisalhamento direto – fase de cisalhamento

No Apêndice G estão os registros dos alongamentos sofridos pelos LVDTs, durante o cisalhamento.

Gráfico G-1 - deslocamento horizontal x deslocamento vertical – solo S1 sob Energia Normal

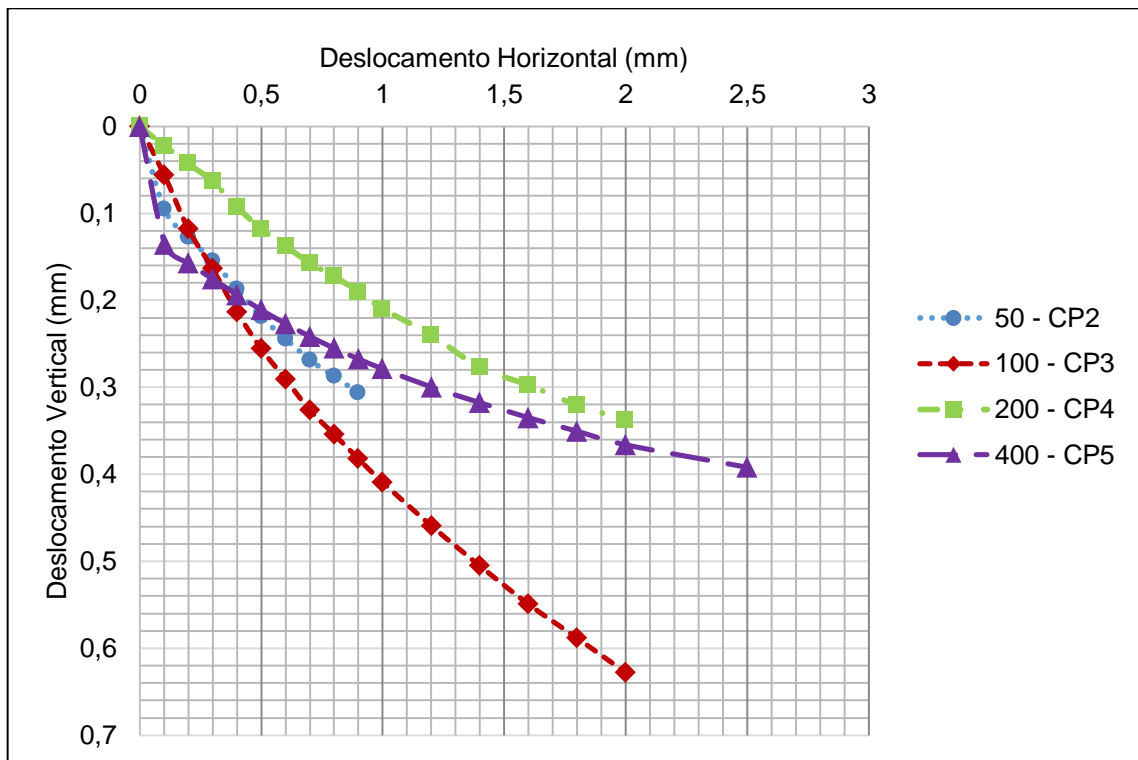


Observa-se no Gráfico G-1 que, em todas as faixas de carregamento, o solo cisalhado apresentou um decréscimo nas dimensões iniciais, tanto no eixo horizontal quanto vertical do corpo de prova, ocorrendo contração do mesmo. Isso significa que quanto mais o solo se contrai, mais ele resiste ao cisalhamento.

Para o carregamento de 200 kPa, o corpo de prova apresentou maior deslocamento vertical, de redução, que os demais.

Já para os carregamentos de 100 e 400 kPa, apresentaram um comportamento de contração semelhante.

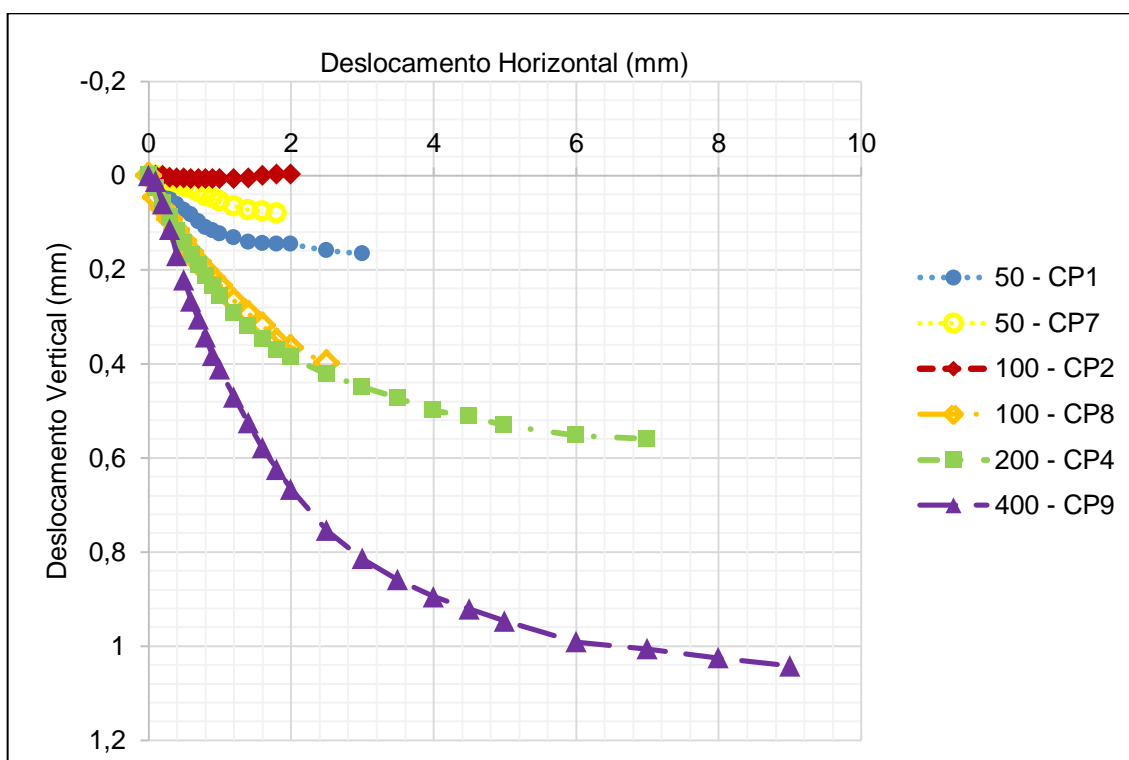
Gráfico G-2 - deslocamento horizontal x deslocamento vertical – solo S2 sob energia Normal



Observa-se no Gráfico G-2 que, em todas as faixas de carregamento, o solo cisalhado apresentou um decréscimo nas dimensões iniciais, tanto no eixo horizontal quanto vertical do corpo de prova, ocorrendo contração do mesmo.

Durante o cisalhamento, o CP2 e o CP4 apresentaram menor variação dimensional nas duas direções, em relação aos demais. Já no CP3 ocorreu o maior deslocamento vertical enquanto o CP5 teve o maior deslocamento horizontal.

Gráfico G-3 - deslocamento horizontal x deslocamento vertical – solo S3 sob energia Normal –



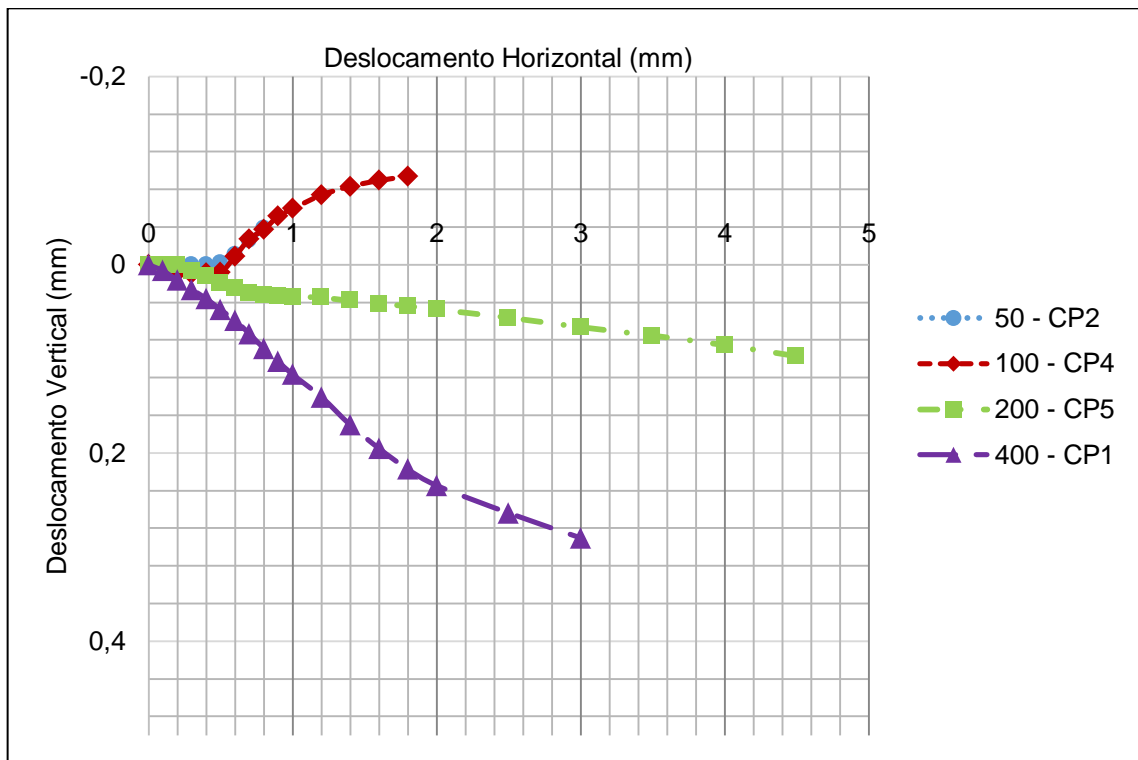
Observa-se no Gráfico G-3 que, conforme o carregamento imposto, na quase totalidade dos casos, o solo cisalhado apresentou um decréscimo nas dimensões iniciais, tanto no eixo horizontal quanto vertical do corpo de prova, ocorrendo contração do mesmo.

Durante o cisalhamento, o CP2 manteve sua espessura praticamente constante, alternando entre contrações e expansões ínfimas e inconsistentes.

Os CP1 e CP7, submetidos ao mesmo carregamento, denotaram comportamento similar na variação dimensional. Igualmente ocorreu com os CP4 e CP8, porém esses submetidos à carregamentos diferentes.

Para o maior carregamento aplicado (400 kPa), alcançou-se a maior deformação dimensional do corpo de prova cisalhado, tanto na vertical como na horizontal.

Gráfico G-4 - deslocamento horizontal x deslocamento vertical – solo S1 sob energia Modificada

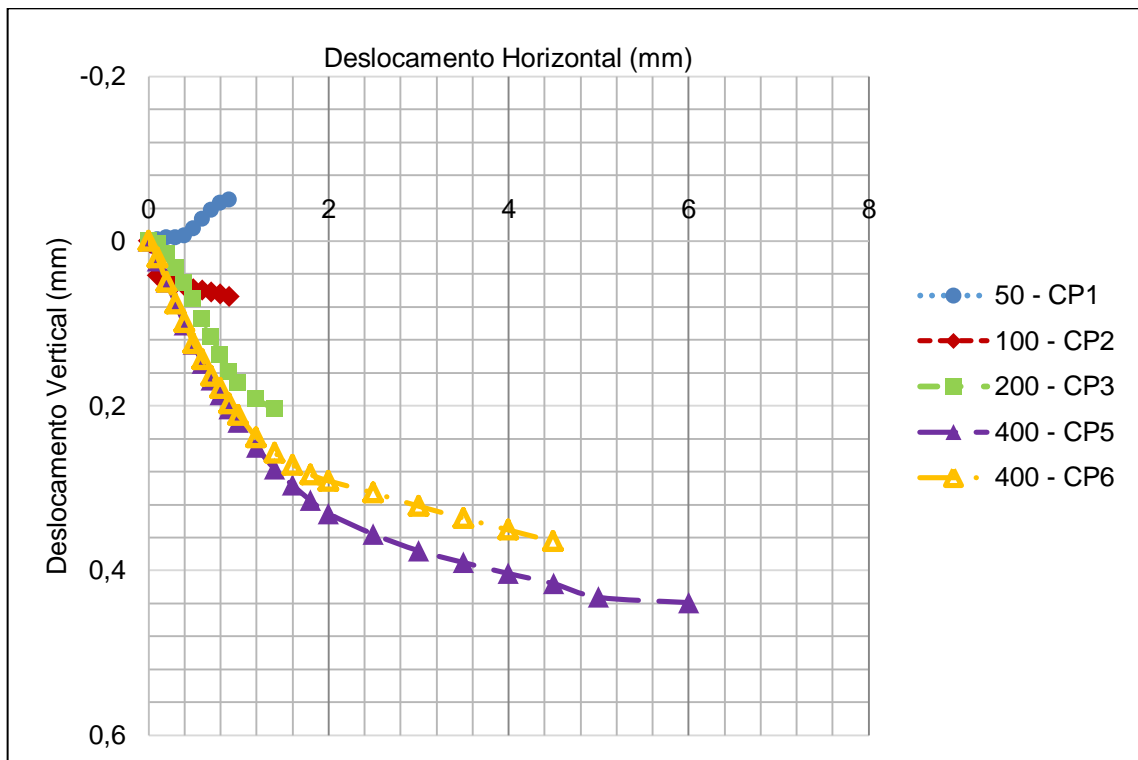


Observa-se no Gráfico G-4 que, para as menores faixas do carregamento (50 e 100 kPa), o solo cisalhado apresentou, em um primeiro momento, decréscimo nas dimensões iniciais (contração) até a ruptura, imediatamente seguido de expansão, tanto no eixo horizontal quanto vertical do corpo de prova. Isso significa que o solo se acomodou internamente como meio de adquirir mais resistência às forças impostas até o limite em que essas superaram e o levaram à falha, corrompendo a estrutura.

Já para o carregamento de 200 kPa, o corpo de prova manteve-se praticamente invariável quanto aos deslocamento verticais até o momento em que manifestou contração.

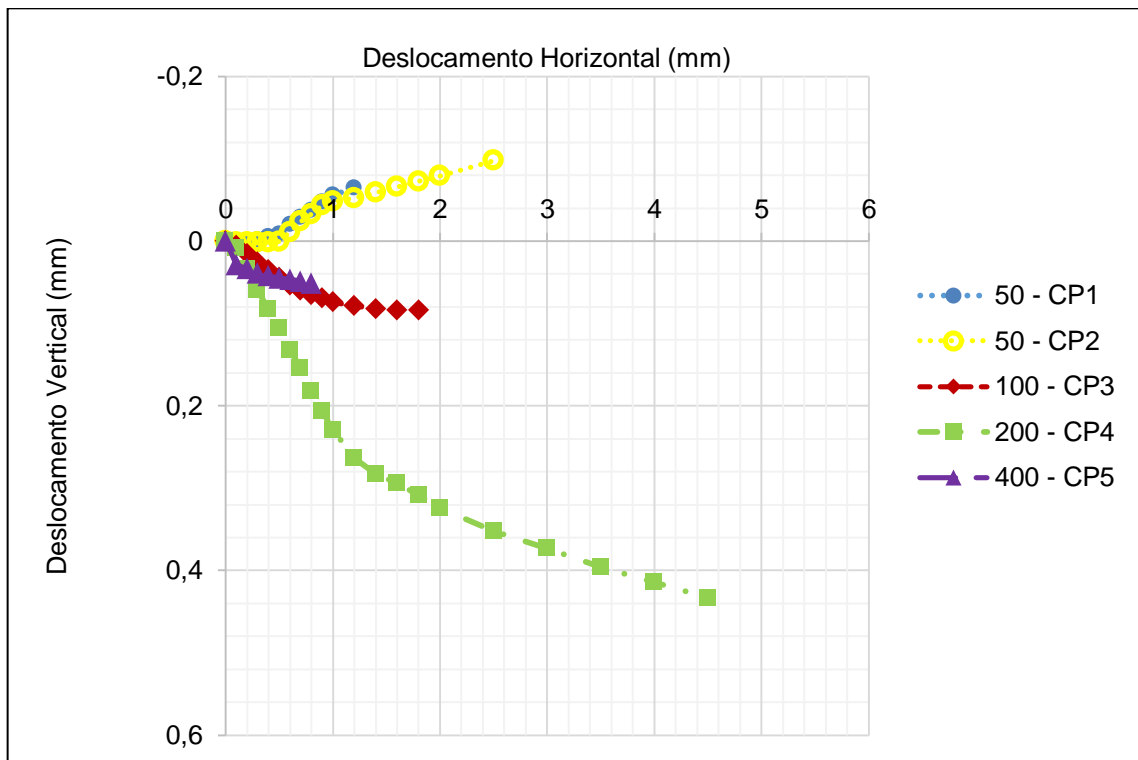
E para o carregamento de 400 kPa houve progressiva contração.

Gráfico G-5 - deslocamento horizontal x deslocamento vertical – solo S2 sob energia Modificada



Observa-se no Gráfico G-5 que, para o carregamento de 50 kPa, o corpo de prova manteve-se praticamente invariável quanto aos deslocamento verticais até o momento em que manifestou expansão. E para os demais carregamentos houve progressiva contração, ilustrado comportamento semelhante.

Gráfico G-6 - deslocamento horizontal x deslocamento vertical – solo S3 sob energia Modificada



Observa-se o Gráfico G-6 que, para o carregamento de 50 kPa, os corpos de prova mantiveram-se praticamente invariável quanto aos deslocamento verticais até o momento em que manifestaram expansão. E para os demais carregamentos houve progressiva contração, ilustrado comportamento semelhante para os CPs submetidos a 100 e 400 kPa, enquanto para o CP sujeito à 200 kPa os deslocamentos foram os maiores.



APÊNDICE H - Teor de úmidade após o ensaio de cisalhamento direto

Tabela H-1 - Teor de úmidade – CP2: solo S1 sob energia Normal

Ensaio: Cisalhamento Direto  
 Solo: S1  
 Energia: Normal  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 50 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
49	15,89	26,30	24,04	2,260	8,150	27,730	27,627
110	10,89	30,72	26,44	4,280	15,550	27,524	

Tabela H-2 - Teor de úmidade – CP6: solo S1 sob energia Normal

Ensaio: Cisalhamento Direto  
 Solo: S1  
 Energia: Normal  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 100 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
146	11,750	27,670	24,38	3,290	12,630	26,049	26,383
174	11,61	25,080	22,24	2,840	10,630	26,717	

Tabela H-3 - Teor de úmidade – CP7: solo S1 sob energia Normal

Ensaio: Cisalhamento Direto  
 Solo: S1  
 Energia: Normal  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 200 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
127	13,900	32,130	28,41	3,720	14,510	25,637	25,435
154	14,77	34,970	30,9	4,070	16,130	25,232	

Tabela H-4 - Teor de úmidade – CP8: solo S1 sob energia Normal

Ensaio: Cisalhamento Direto  
 Solo: S1  
 Energia: Normal  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 400 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
64	18,370	30,620	28,21	2,410	9,840	24,492	24,669
123	13,57	33,820	29,79	4,030	16,220	24,846	

Tabela H-5 - Teor de úmidade – CP2: solo S2 sob energia Normal

Ensaio: Cisalhamento Direto  
 Solo: S2  
 Energia: Normal  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 50 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
174	11,610	32,830	27,78	5,050	16,170	31,231	31,596
146	11,75	25,210	21,95	3,260	10,200	31,961	

Tabela H-6 - Teor de úmidade – CP3: solo S2 sob energia Normal

Ensaio: Cisalhamento Direto  
 Solo: S2  
 Energia: Normal  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 100 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
73	17,850	41,090	35,67	5,420	17,820	30,415	30,224
49	15,91	27,730	25	2,730	9,090	30,033	

Tabela H-7 - Teor de úmidade – CP4: solo S2 sob energia Normal

Ensaio: Cisalhamento Direto  
 Solo: S2  
 Energia: Normal  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 200 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
B116	14,420	26,760	23,93	2,830	9,510	29,758	29,509
227	13,93	34,870	30,13	4,740	16,200	29,259	

Tabela H-8 - Teor de úmidade – CP5: solo S2 sob energia Normal

Ensaio: Cisalhamento Direto  
 Solo: S2  
 Energia: Normal  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 400 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
49	15,920	37,570	33	4,570	17,080	26,756	27,034
73	17,86	36,180	32,25	3,930	14,390	27,311	

Tabela H-9 - Teor de úmidade – CP1: solo S3 sob energia Normal

Ensaio: Cisalhamento Direto  
 Solo: S3  
 Energia: Normal  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 50 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
224	16,220	34,680	31,05	3,630	14,830	24,477	24,955
171	13,65	25,980	23,48	2,500	9,830	25,432	

Tabela H-10 - Teor de úmidade – CP2: solo S3 sob energia Normal

Ensaio: Cisalhamento Direto  
 Solo: S3  
 Energia: Normal  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 100 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
118B	15,720	33,800	30,25	3,550	14,530	24,432	24,373
17	17,48	37,420	33,52	3,900	16,040	24,314	

Tabela H-11 - Teor de úmidade – CP4: solo S3 sob energia Normal

Ensaio: Cisalhamento Direto  
 Solo: S3  
 Energia: Normal  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 200 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
A5	14,380	32,160	28,82	3,340	14,440	23,130	23,208
146	11,74	27,570	24,58	2,990	12,840	23,287	

Tabela H-12 - Teor de úmidade – CP7: solo S3 sob energia Normal

Ensaio: Cisalhamento Direto  
 Solo: S3  
 Energia: Normal  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 50 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
146	11,740	32,590	28,51	4,080	16,770	24,329	23,823
147	11,46	28,120	24,97	3,150	13,510	23,316	

Tabela H-13 - Teor de úmidade – CP8: solo S3 sob energia Normal

Ensaio: Cisalhamento Direto  
 Solo: S3  
 Energia: Normal  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 100 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
244	13,590	29,410	26,45	2,960	12,860	23,017	23,410
247	14,36	33,500	29,82	3,680	15,460	23,803	

Tabela H-14 - Teor de úmidade – CP9: solo S3 sob energia Normal

Solo: S3  
 Energia: Normal  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 400 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
111	14,620	29,130	26,54	2,590	11,920	21,728	22,643
247	14,37	29,580	26,68	2,900	12,310	23,558	

Tabela H-15 - Teor de úmidade – CP1: solo S1 sob energia Modificada

Solo: S1  
 Energia: Modificada  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 400 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
146	11,750	24,670	22,25	2,420	10,500	23,048	22,623
174	11,59	34,270	30,15	4,120	18,560	22,198	

Tabela H-16 - Teor de úmidade – CP2: solo S1 sob energia Modificada

Solo: S1  
 Energia: Modificada  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 50 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
127	13,950	29,450	26,45	3,000	12,500	24,000	23,289
154	14,78	27,050	24,79	2,260	10,010	22,577	

Tabela H-17 - Teor de úmidade – CP4: solo S1 sob energia Modificada

Solo: S1  
 Energia: Modificada  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 100 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
146	11,750	31,090	27,41	3,680	15,660	23,499	23,516
174	11,61	30,350	26,78	3,570	15,170	23,533	

Tabela H-18 - Teor de úmidade – CP5: solo S1 sob energia Modificada

Solo: S1  
 Energia: Modificada  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 200 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
227	13,930	33,540	29,61	3,930	15,680	25,064	24,942
B116	14,44	28,270	25,52	2,750	11,080	24,819	

Tabela H-19 - Teor de úmidade – CP1: solo S2 sob energia Modificada

Solo: S2  
 Energia: Modificada  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 50 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
146	11,760	26,490	23,36	3,130	11,600	26,983	26,981
174	11,6	22,990	20,57	2,420	8,970	26,979	

Tabela H-20 - Teor de úmidade – CP2: solo S2 sob energia Modificada

Solo: S2  
 Energia: Modificada  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 100 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
49	15,910	42,340	36,47	5,870	20,560	28,551	29,103
174	11,61	30,410	26,11	4,300	14,500	29,655	

Tabela H-21 - Teor de úmidade – CP3: solo S2 sob energia Modificada

Solo: S2  
 Energia: Modificada  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 200 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
73	17,850	38,680	34,63	4,050	16,780	24,136	24,009
146	11,74	23,100	20,91	2,190	9,170	23,882	

Tabela H-22 - Teor de úmidade – CP5: solo S2 sob energia Modificada

Solo: S2  
 Energia: Modificada  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 400 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
174	11,590	25,340	22,43	2,910	10,840	26,845	26,847
146	11,75	30,790	26,76	4,030	15,010	26,849	

Tabela H-23 - Teor de úmidade – CP6: solo S2 sob energia Modificada

Solo: S2  
 Energia: Modificada  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 400 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
54	18,160	32,390	29,49	2,900	11,330	25,596	25,717
51	21,56	43,330	38,86	4,470	17,300	25,838	

Tabela H-24 - Teor de úmidade – CP1: solo S3 sob energia Modificada

Solo: S3  
 Energia: Modificada  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 50 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
14	16,990	37,240	33,58	3,660	16,590	22,061	22,580
1	17,68	30,950	28,46	2,490	10,780	23,098	



Tabela H-25 - Teor de úmidade – CP2: solo S3 sob energia Modificada

Solo: S3  
 Energia: Modificada  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 50 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
126	13,850	25,220	23,19	2,030	9,340	21,734	21,745
132	15,82	32,890	29,84	3,050	14,020	21,755	

Tabela H-26 - Teor de úmidade – CP3: solo S3 sob energia Modificada

Solo: S3  
 Energia: Modificada  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 100 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
127	13,900	27,340	24,88	2,460	10,980	22,404	22,534
64	18,36	34,380	31,42	2,960	13,060	22,665	

Tabela H-27- Teor de úmidade – CP4: solo S3 sob energia Modificada

Solo: S3  
 Energia: Modificada  
 Condição: Inundado  
 Lento, adensado, saturado  
 Carga: 200 kPa  
 Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
146	11,750	40,590	35,43	5,160	23,680	21,791	21,278
174	11,61	33,070	29,38	3,690	17,770	20,765	

Tabela H-28 - Teor de úmidade – CP5: solo S3 sob energia Modificada

Solo: S3

Energia: Modificada

Condição: Inundado

Lento, adensado, saturado

Carga: 400 kPa

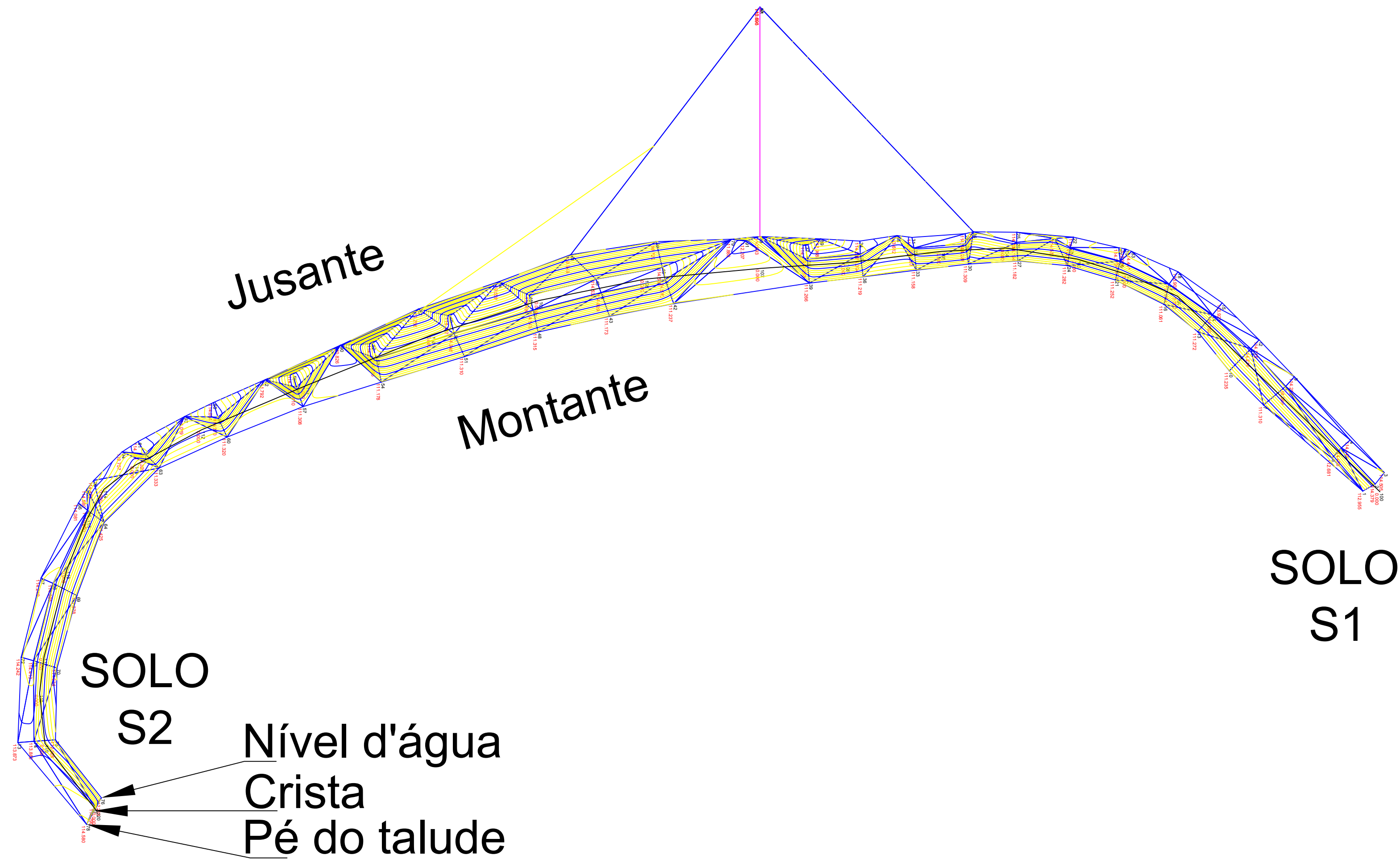
Velocidade: 0,025 mm/min

Cápsula nº	Tara (g)	Tara Solo Água (g)	Tara Solo (g)	Água (g)	Solo (g)	Úmidade (%)	Úmidade Média (%)
126	13,850	36,090	32,29	3,800	18,440	20,607	20,851
132	15,82	33,730	30,61	3,120	14,790	21,095	

## APÊNDICE I – Levantamentos planialtimétricos

Figura I-1 – Barragem de Terra no Rincão de São Miguel (formação geológica: Serra Geral)

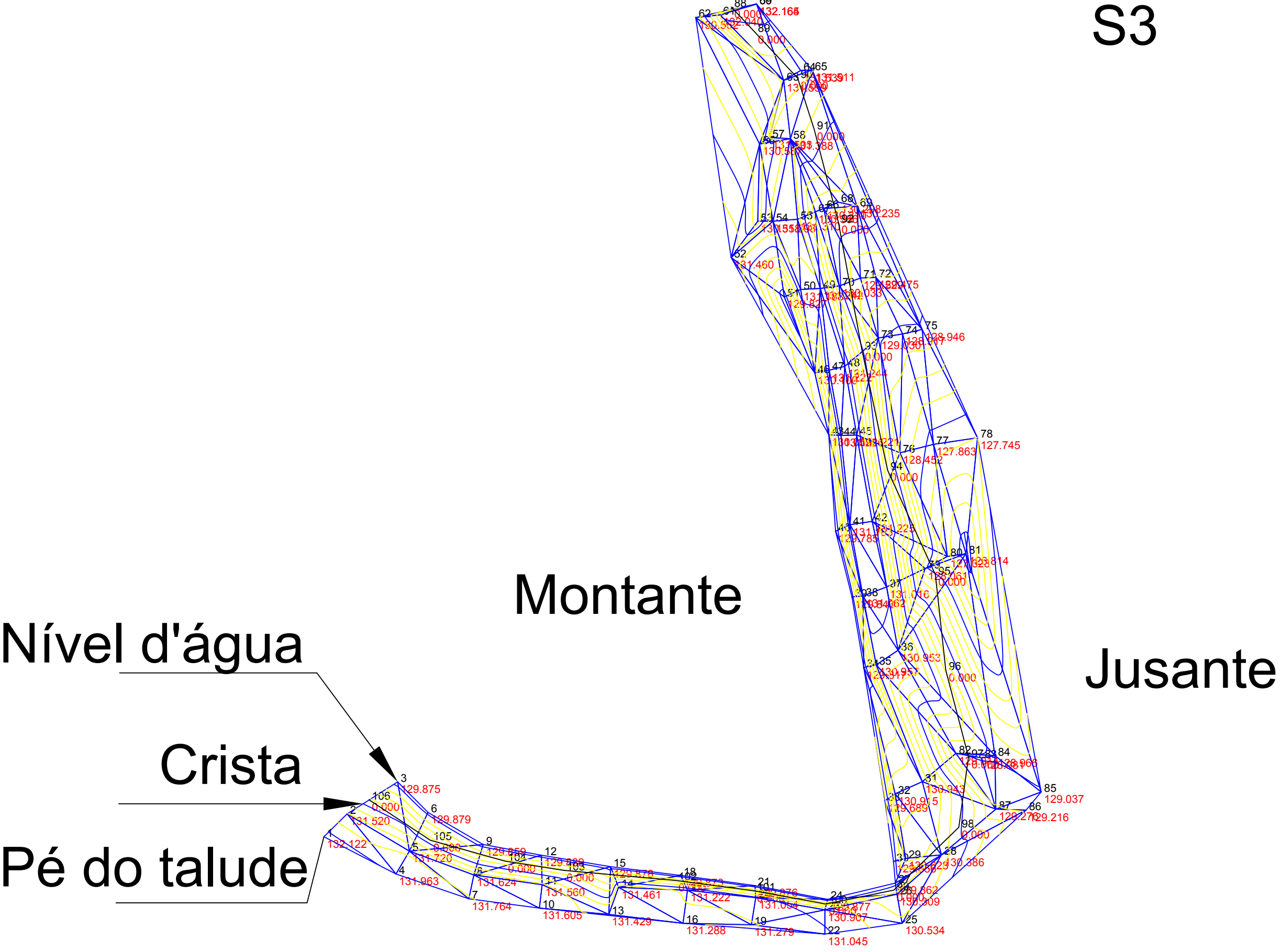
Figura I-2 – Barragem de Terra na Encruzilhada (formação geológica: Botucatu)



LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO  
 ESCALA: 1:1.000

PLANTAS DO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO PLANIALTIMÉTRICO		
TÍTULO:	APÊNDICE I-1: Barragem de Terra	PRANCHA: 1/2
LOCAL DA OBRA:	8º Sub-distrito: Rincão de São Miguel - Alegrete/RS	AUTOR DO PROJETO: Bianka Nóra Dias
OBSERVAÇÕES:	Solos S1 e S2 - formação geológica Serra Geral	DATA: 08.05.2015
		ESCALA: 1:1.000

# SOLO S3



Montante

Jusante

Nível d'água

Crista

Pé do talude

LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO  
Escala: 1:500

PLANTAS DO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO PLANIALTIMÉTRICO		
TÍTULO:	APÊNDICE I-2: Barragem de Terra	PRANCHA: 2/2
AUTOR DO PROJETO:	Bianka Nóra Dias	
LOCAL DA OBRA:	8º Sub-distrito: Rincão de São Miguel/Encruzilhada - Alegrete/RS	
OBSERVAÇÕES:	DATA: 25.08.2015	ESCALA: 1:500

APÊNDICE J – Simulações da estabilidade de taludes

Figura J-1 – Seção 1: solo S1 sob energia Normal – Sem NA - À JUSANTE (FS=0,849)

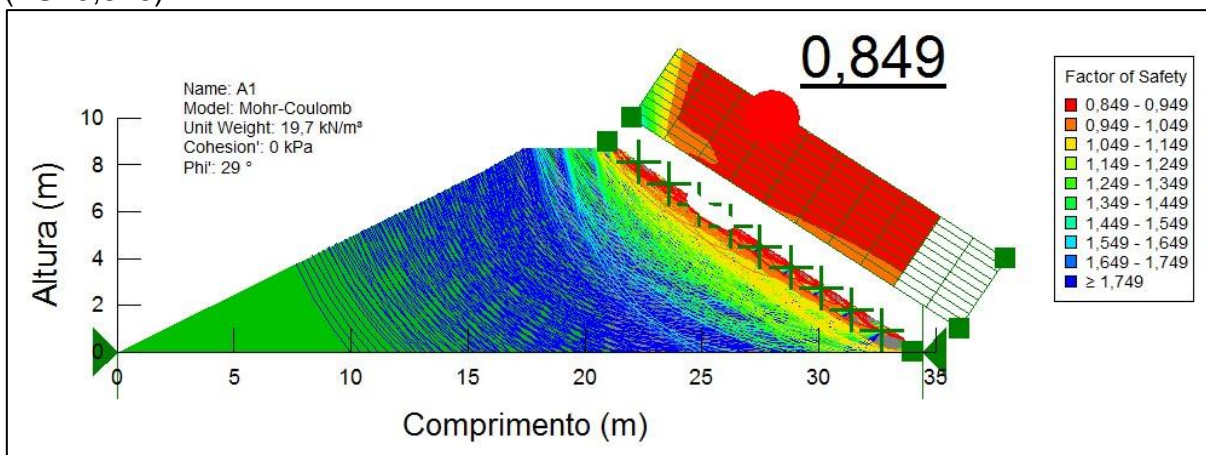


Figura J-2 – Seção 1: solo S1 sob energia Normal – Sem NA - À MONTANTE (FS=1,046)

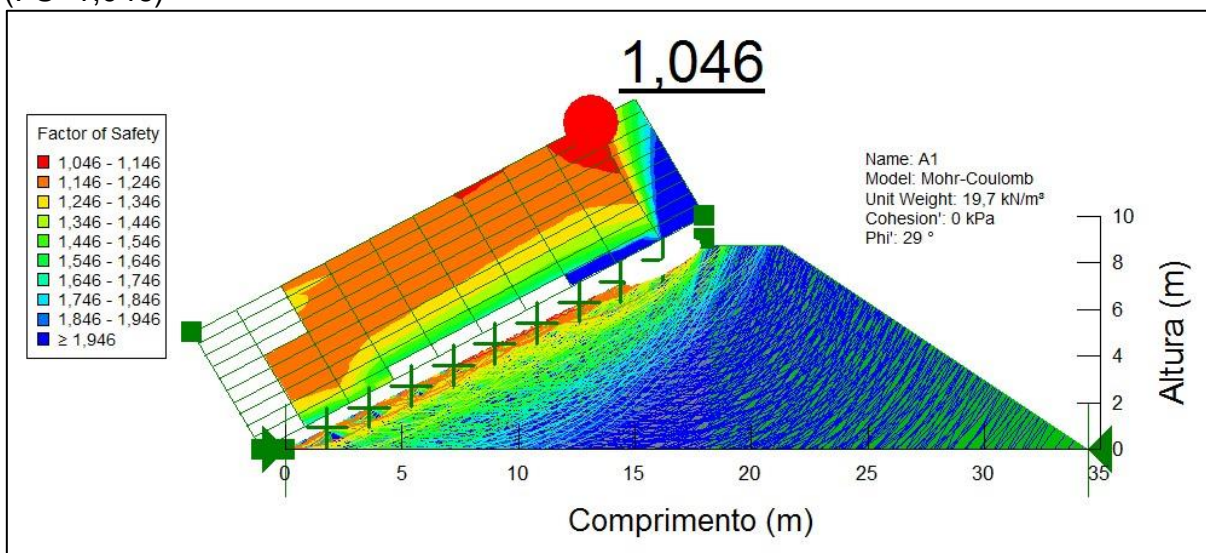


Figura J-3 – Seção 1: solo S1 sob energia Modificada – Sem NA - À JUSANTE (FS=2,640)

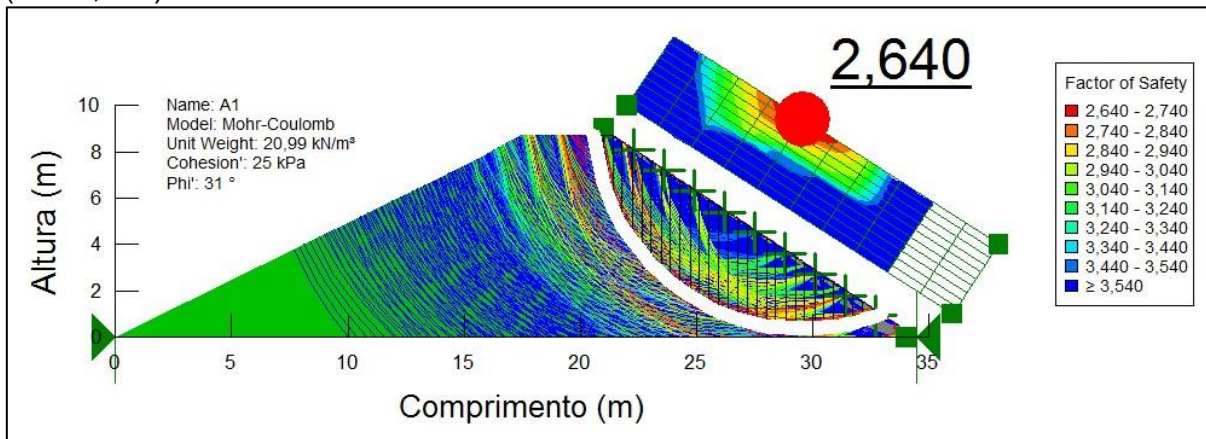




Figura J-4 – Seção 1: solo S1 sob energia Modificada – Sem NA - À MONTANTE (FS=3,133)

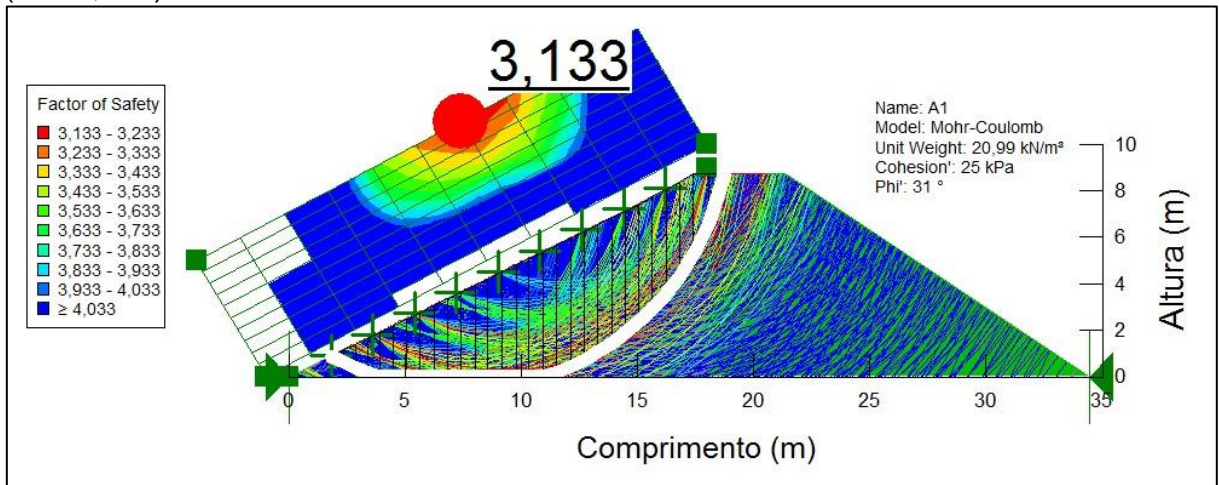


Figura J-5 – Seção 1: solo S1 sob energia Normal – Com NA - À JUSANTE (FS=0,849)

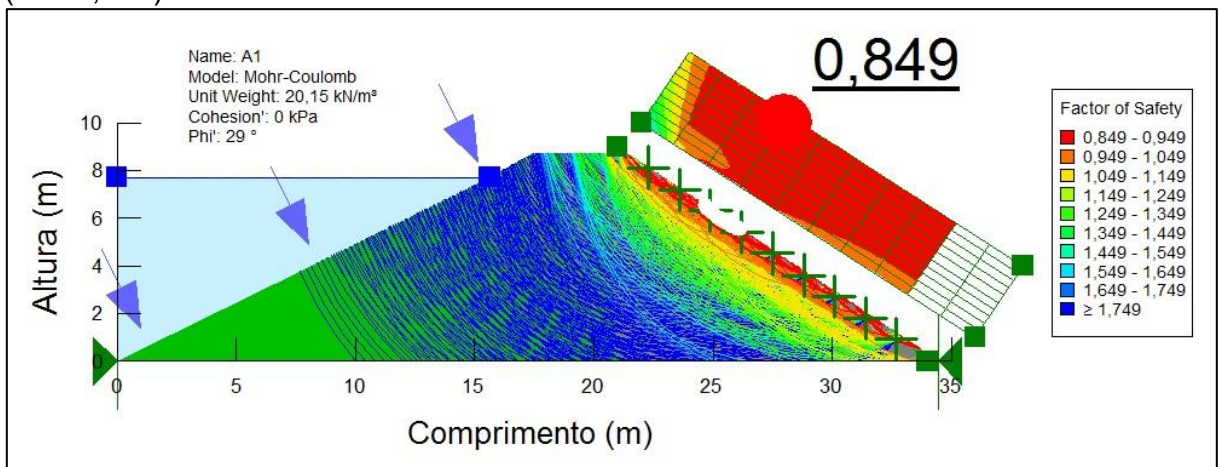


Figura J-6 – Seção 1: solo S1 sob energia Normal – Com NA - À MONTANTE (FS=1,042)

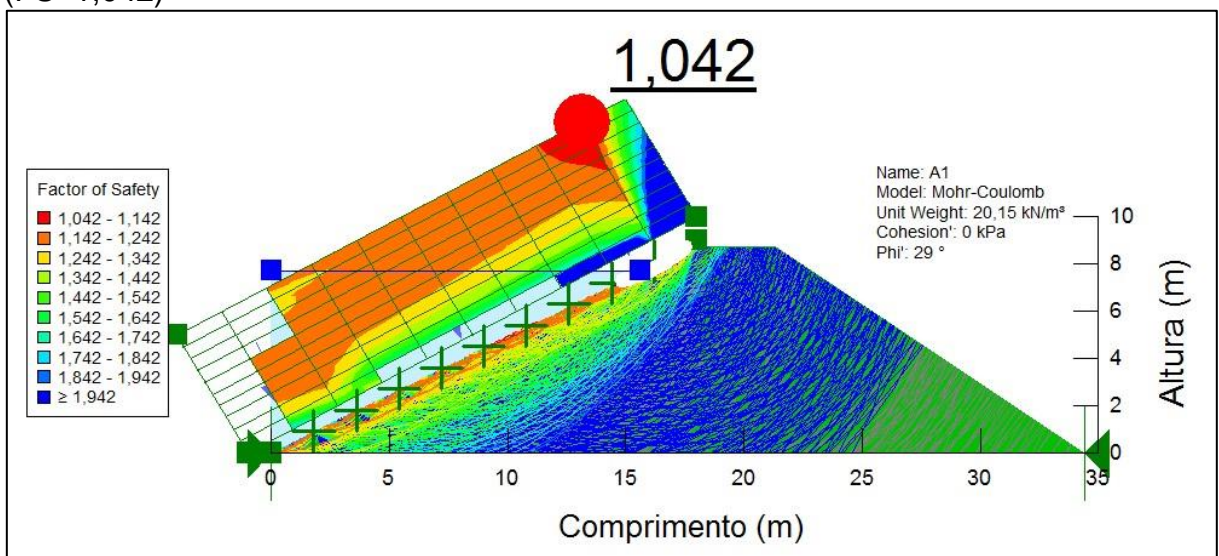


Figura J-7 – Seção 1: solo S1 sob energia Modificada – Com NA - À JUSANTE (FS=2,630)

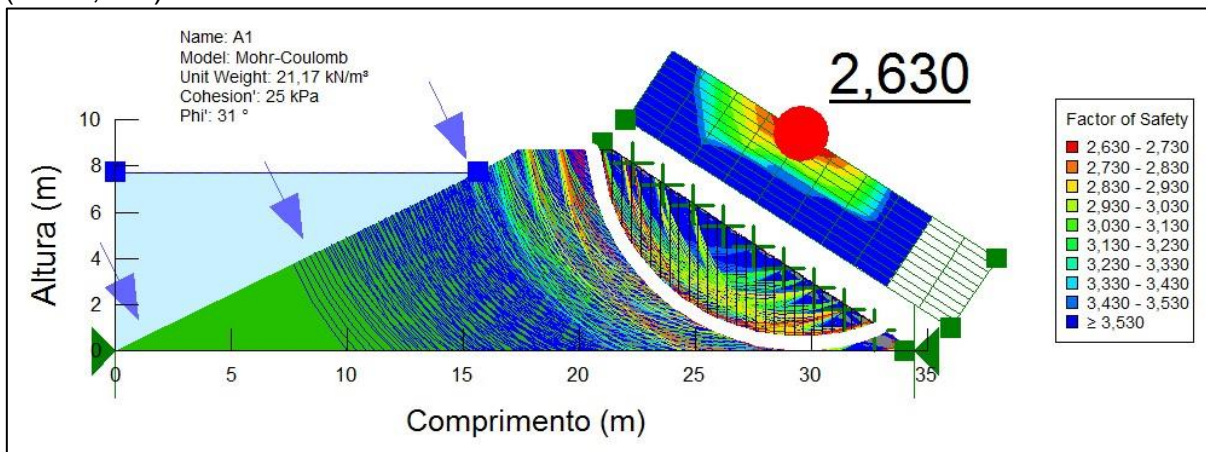


Figura J-8 – Seção 1: solo S1 sob energia Modificada – Com NA - À MONTANTE (FS=4,256)

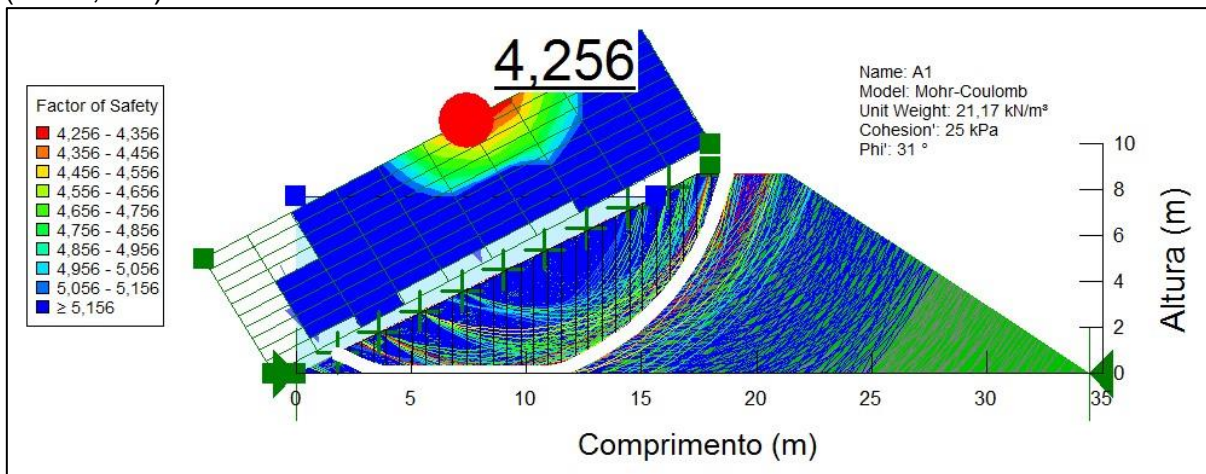


Figura J-9 – Seção 2: solo S1 sob energia Normal – Sem NA - À JUSANTE (FS=1,032)

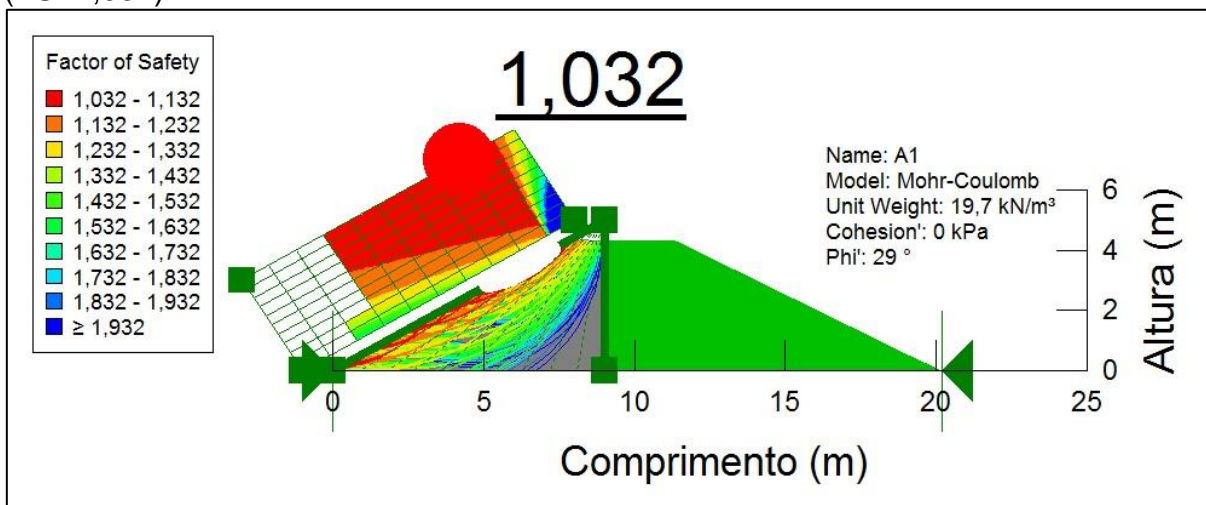


Figura J-10 – Seção 2: solo S1 sob energia Normal – Sem NA - À MONTANTE (FS=1,169)



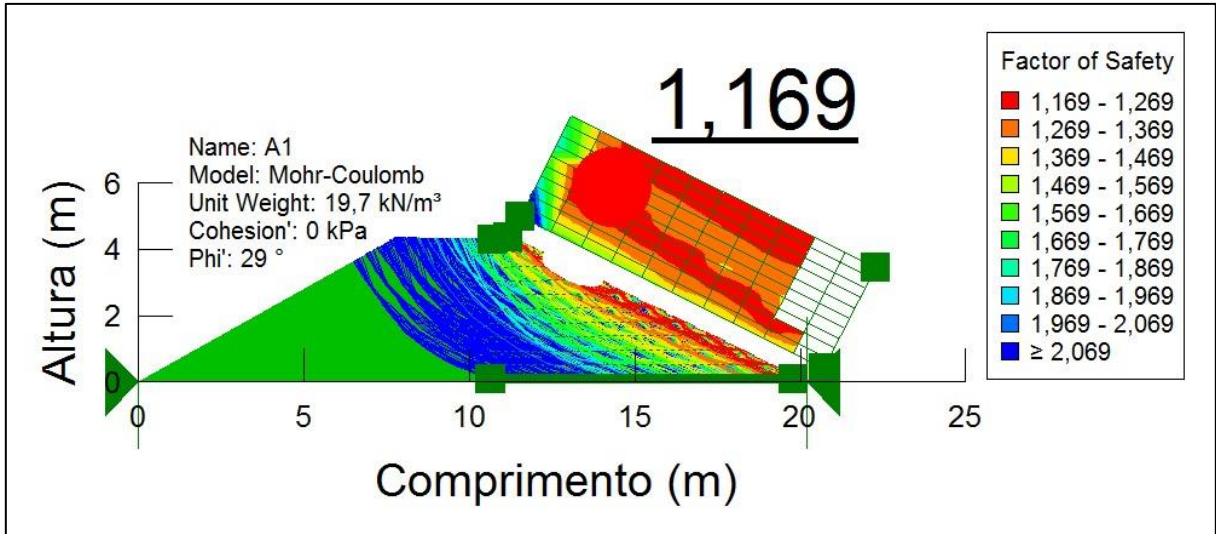


Figura J-11 – Seção 2: solo S1 sob energia Modificada – Sem NA - À JUSANTE (FS=3,902)

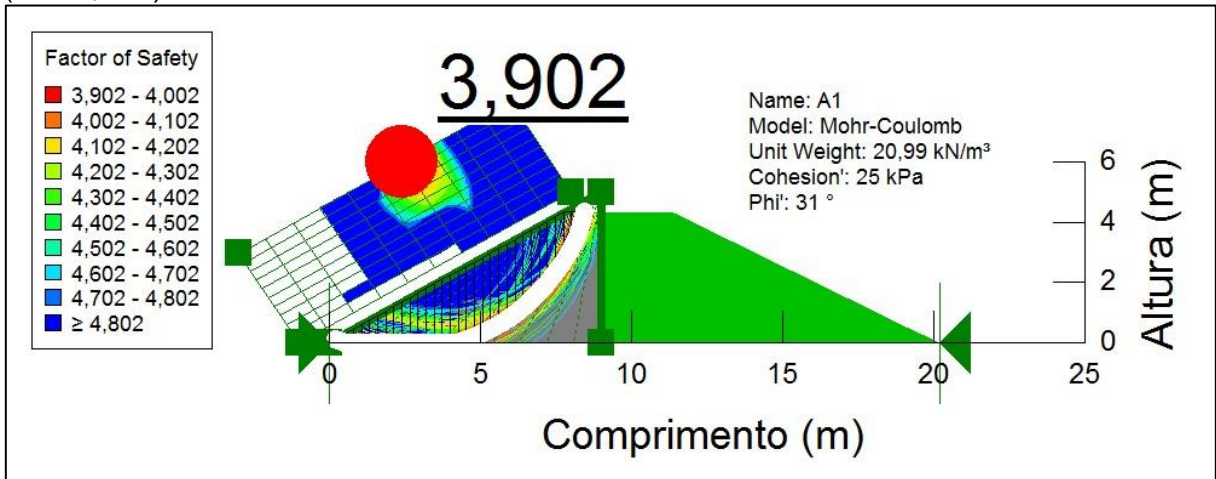


Figura J-12 – Seção 2: solo S1 sob energia Modificada – Sem NA - À MONTANTE (FS=4,445)

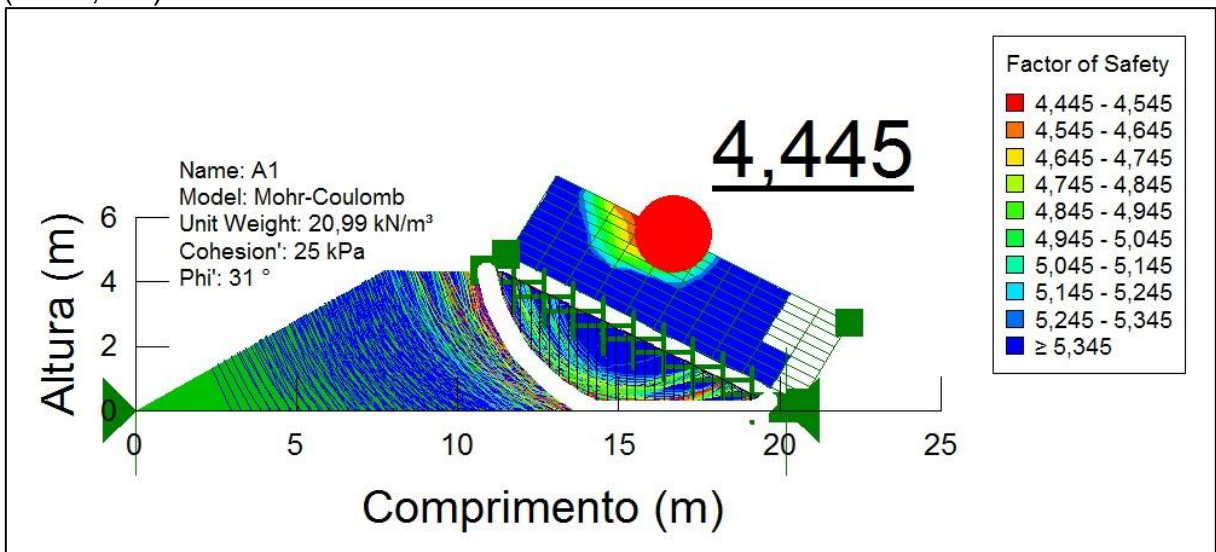


Figura J-13 – Seção 2: solo S1 sob energia Normal – Com NA - À JUSANTE (FS=1,032)

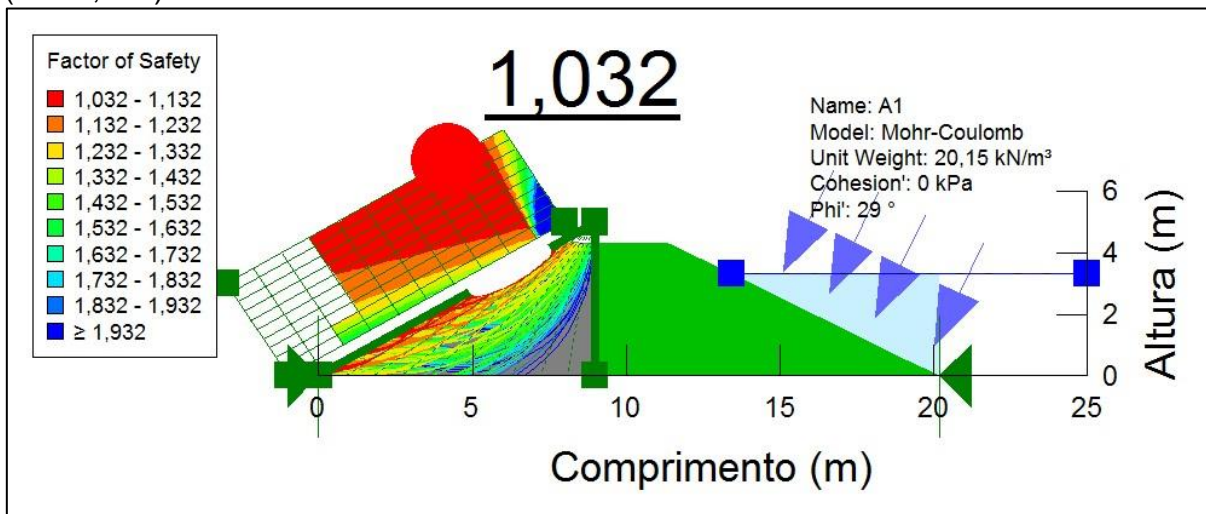


Figura J-14 – Seção 2: solo S1 sob energia Normal – Com NA - À MONTANTE (FS=1,156)

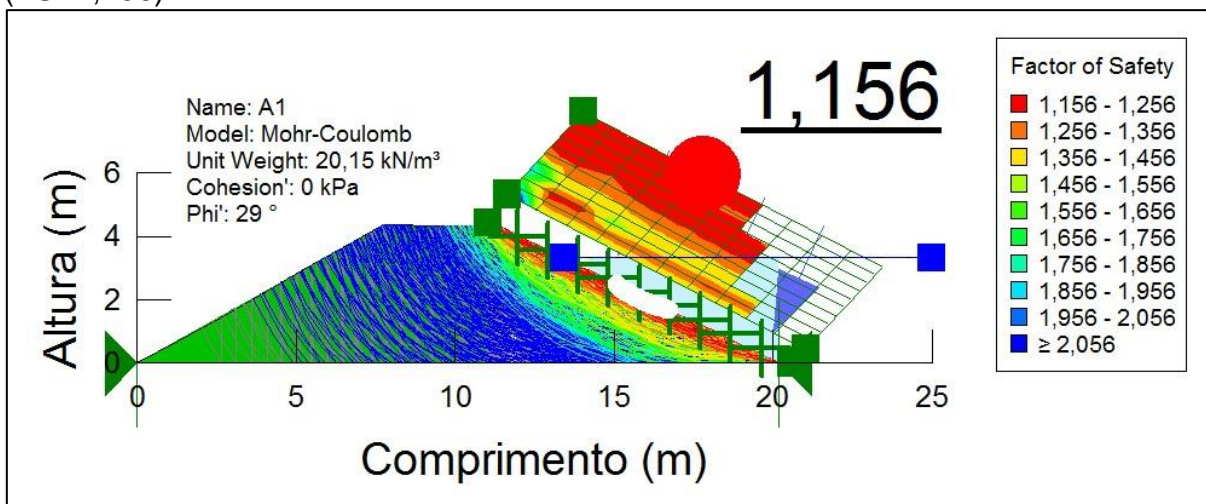


Figura J-15 – Seção 2: solo S1 sob energia Modificada – Com NA - À JUSANTE (FS=3,883)

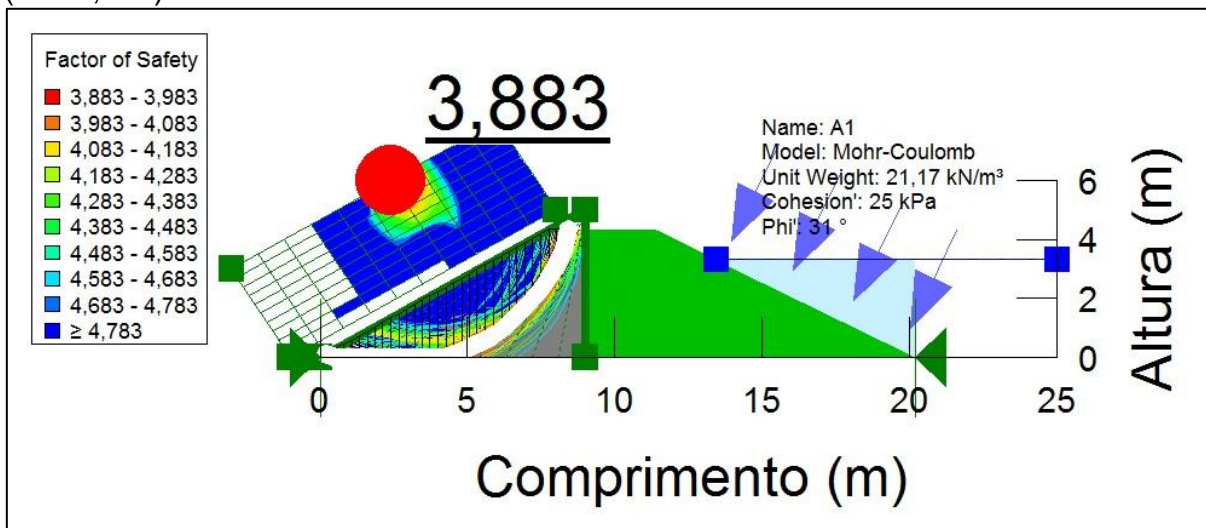




Figura J-16 – Seção 2: solo S1 sob energia Modificada – Com NA - À MONTANTE (FS=5,648)

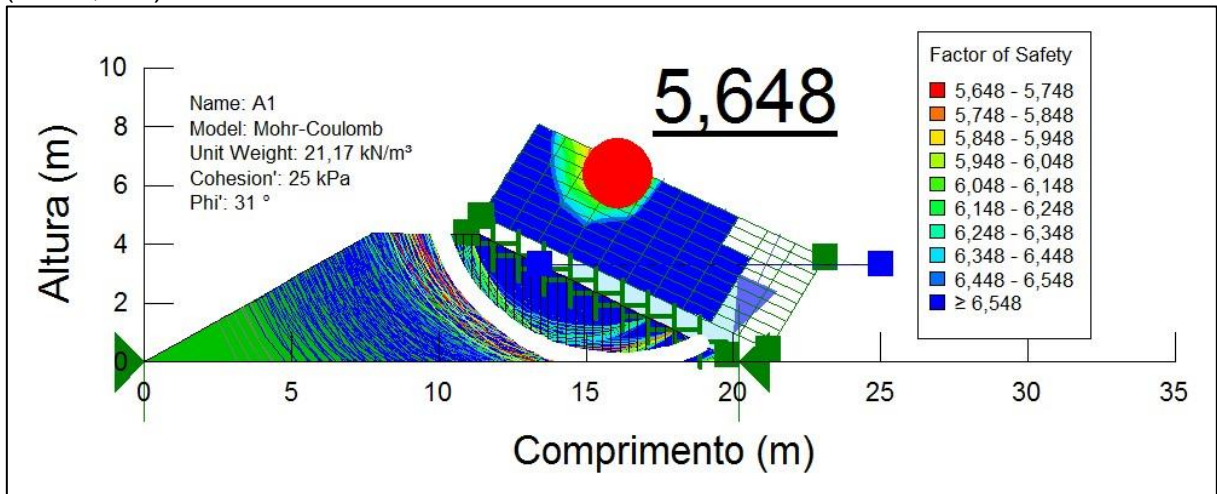


Figura J-17 – Seção 3: solo S1 sob energia Normal – Sem NA - À JUSANTE (FS=1,065)

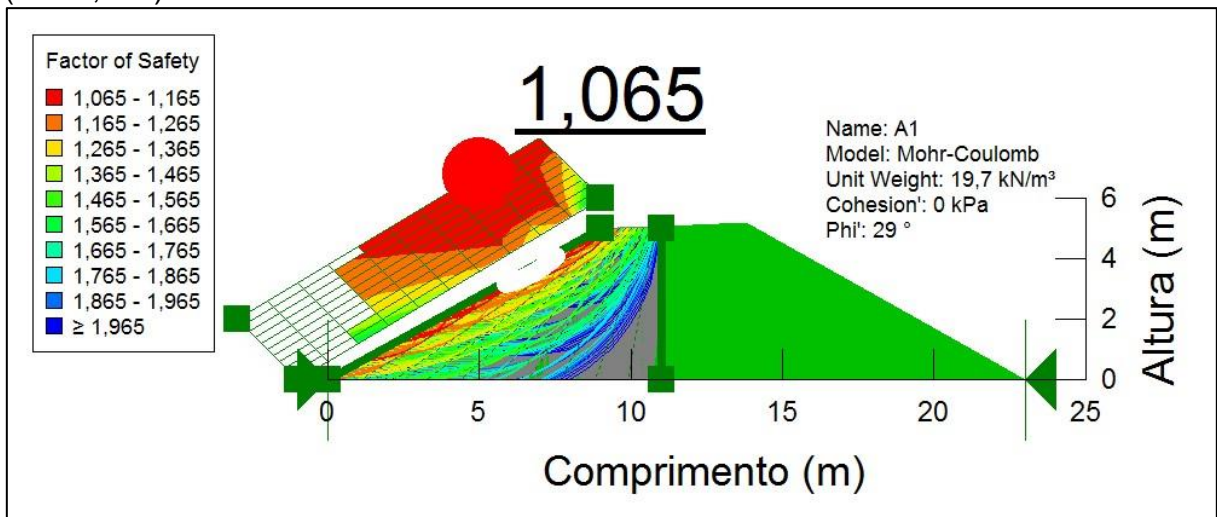


Figura J-18 – Seção 3: solo S1 sob energia Normal – Sem NA - À MONTANTE (FS=1,001)

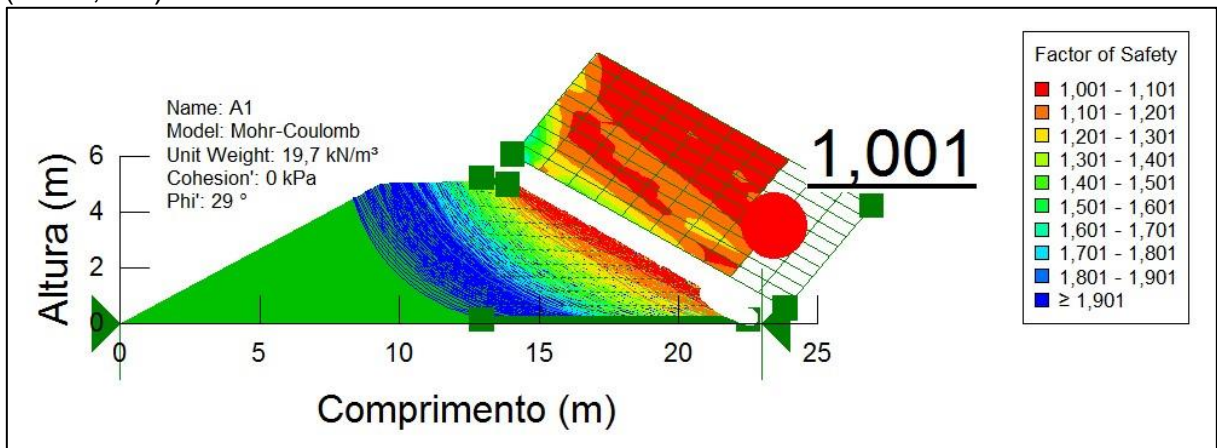


Figura J-19 – Seção 3: solo S1 sob energia Modificada – Sem NA - À JUSANTE (FS=3,823)

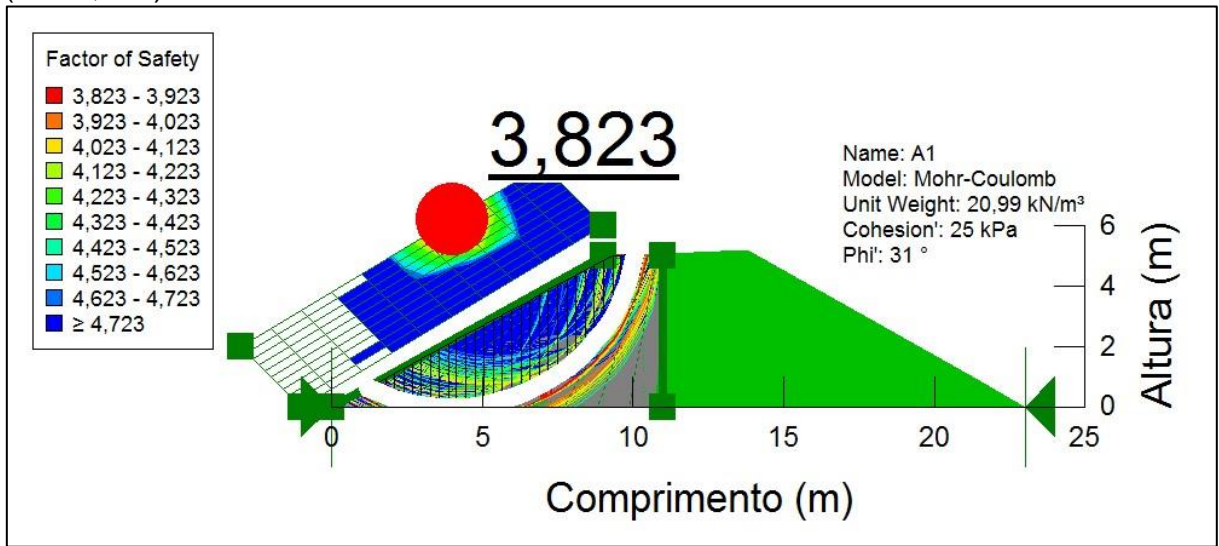


Figura J-20 – Seção 3: solo S1 sob energia Modificada – Sem NA - À MONTANTE (FS=3,504)

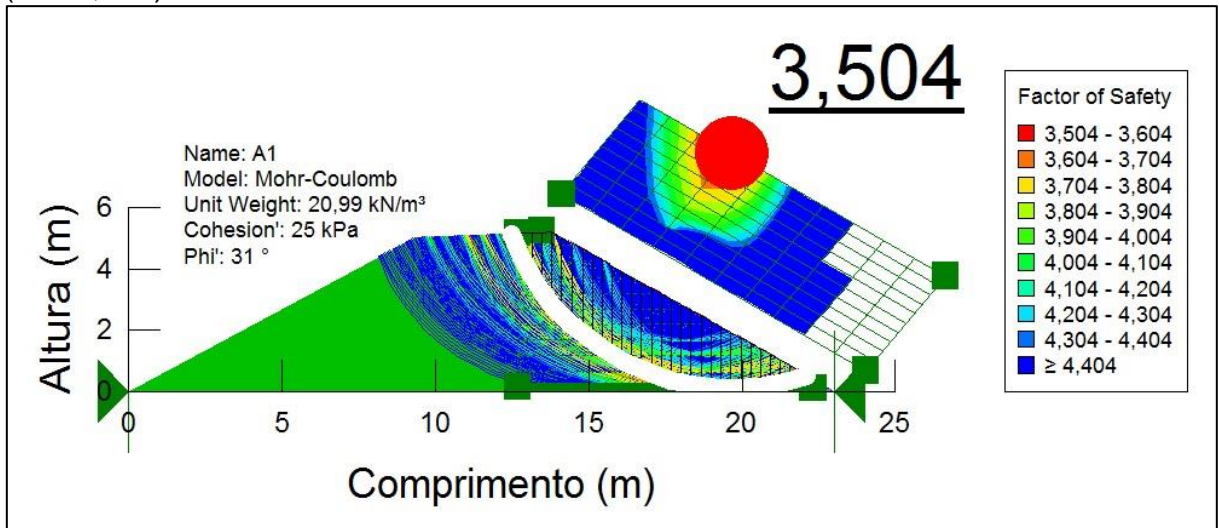


Figura J-21 – Seção 3: solo S1 sob energia Normal – Com NA - À JUSANTE (FS=1,065)

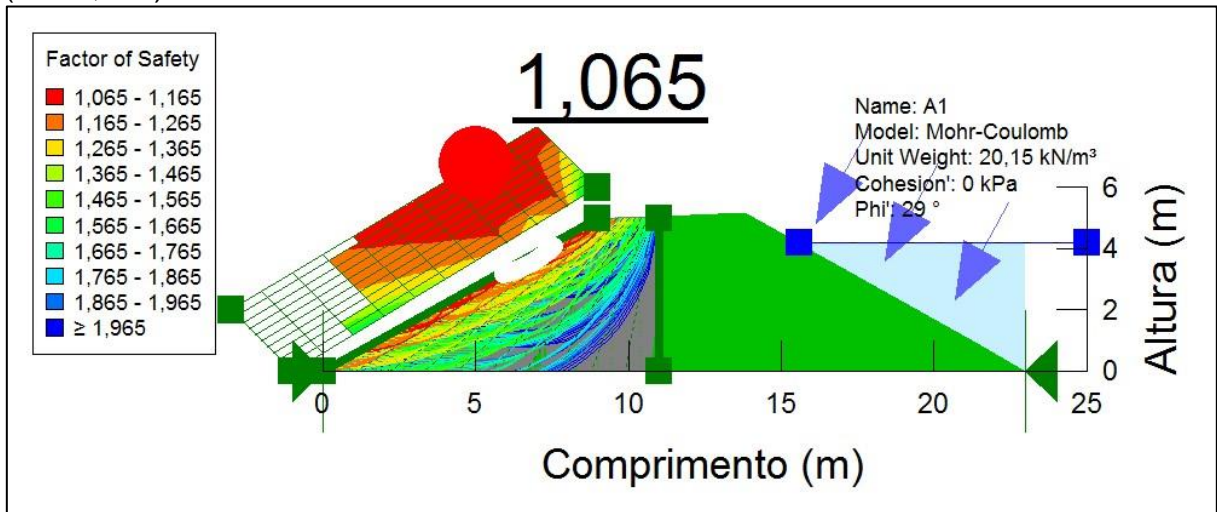


Figura J-22 – Seção 3: solo S1 sob energia Normal – Com NA - À MONTANTE (FS=1,003)

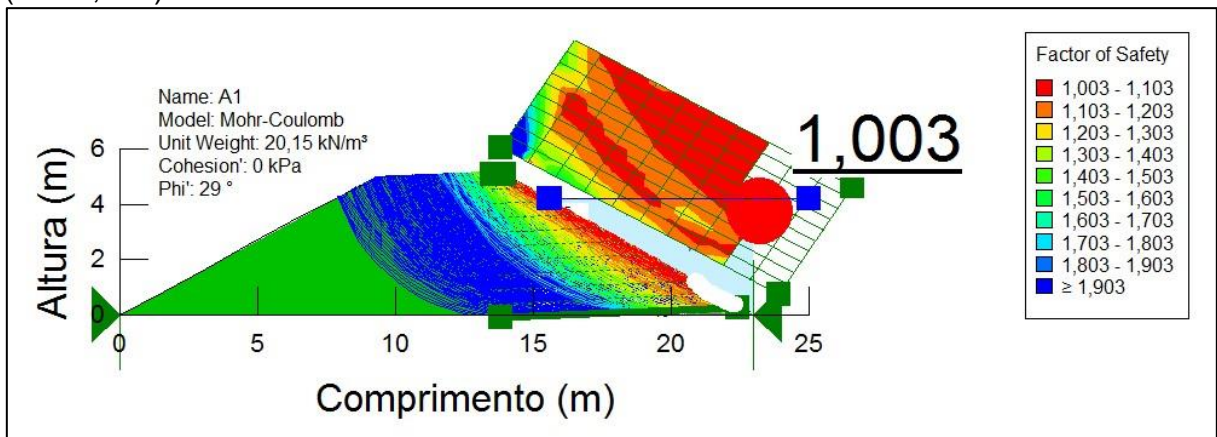


Figura J-23 – Seção 3: solo S1 sob energia Modificada – Com NA - À JUSANTE (FS=3,806)

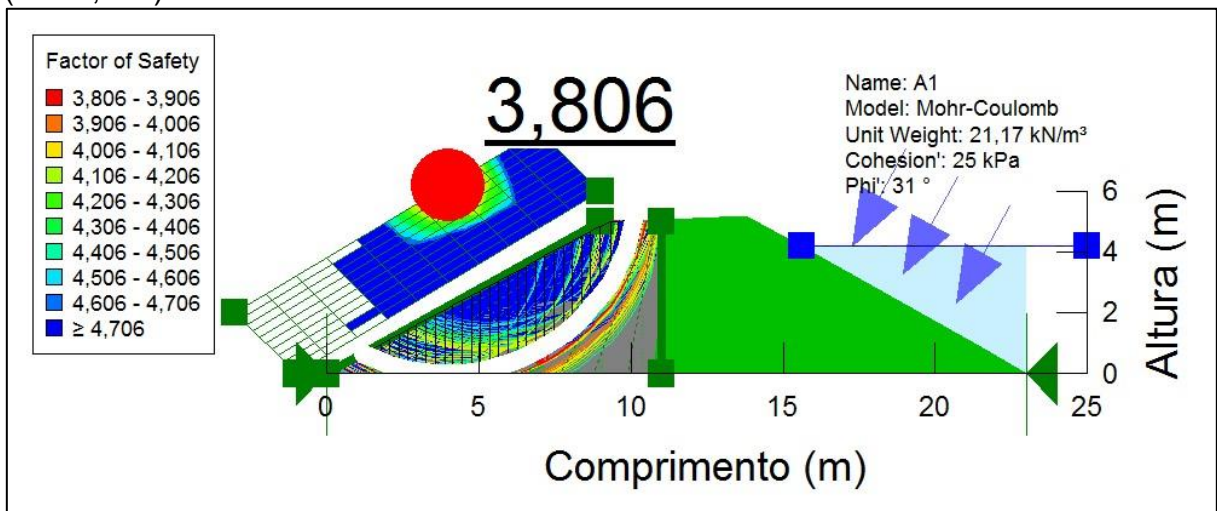




Figura J-24 – Seção 3: solo S1 sob energia Modificada – Com NA - À MONTANTE (FS=4,829)

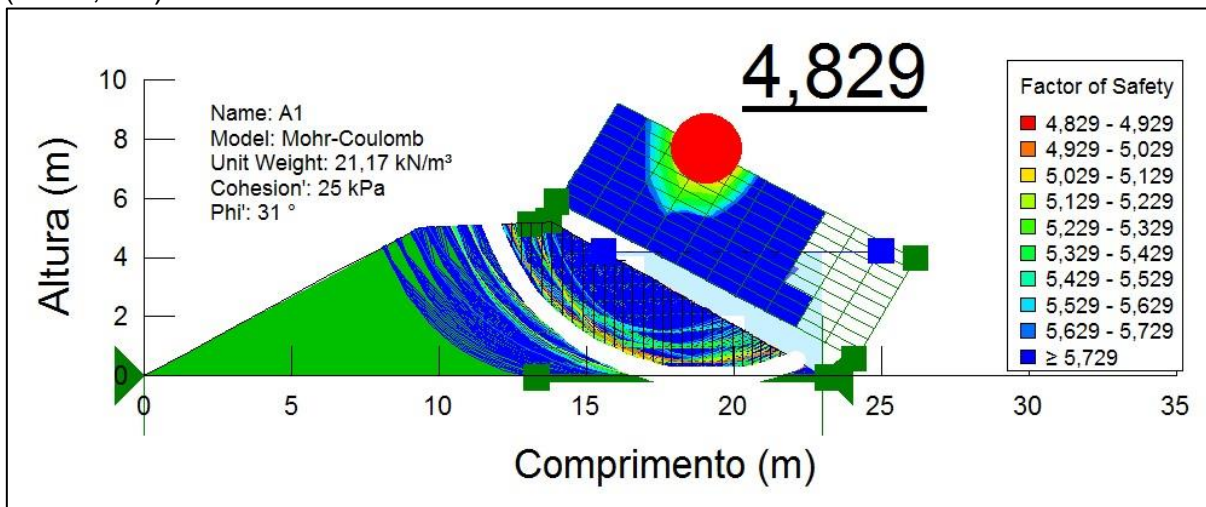


Figura J-25 – Seção 4: solo S1 sob energia Normal – Sem NA - À JUSANTE (FS=0,463)

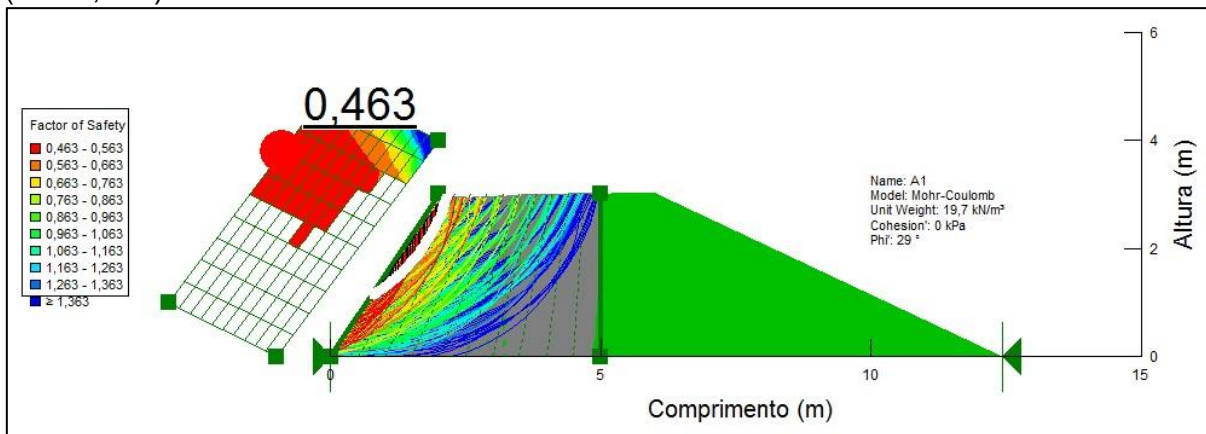


Figura J-26 – Seção 4: solo S1 sob energia Normal – Sem NA - À MONTANTE (FS=1,223)

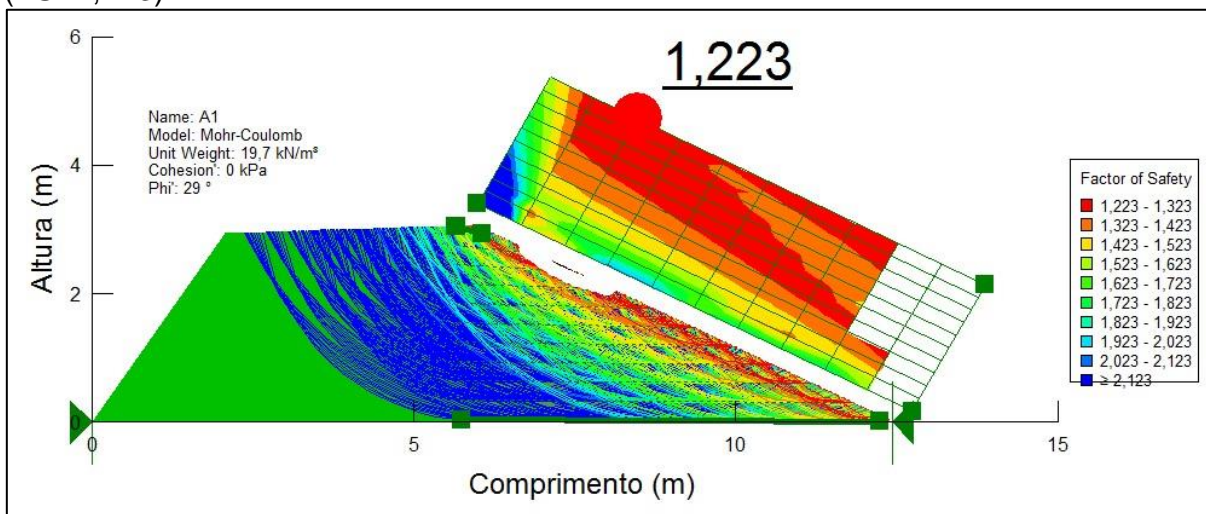


Figura J-27 – Seção 4: solo S1 sob energia Modificada – Sem NA - À JUSANTE (FS=3,262)

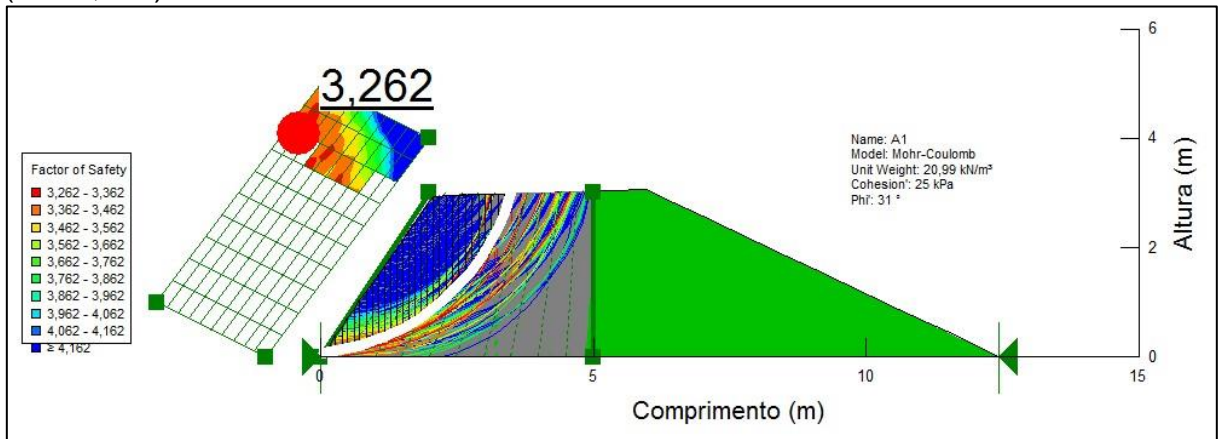


Figura J-28 – Seção 4: solo S1 sob energia Modificada – Sem NA - À MONTANTE (FS=5,620)

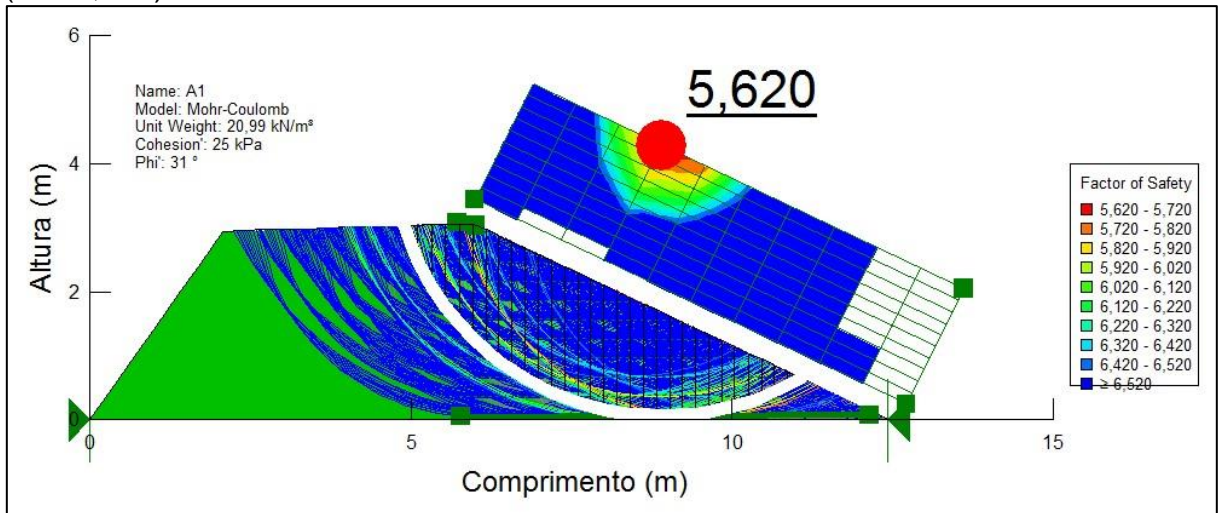


Figura J-29 – Seção 4: solo S1 sob energia Normal – Com NA - À JUSANTE (FS=0,463)

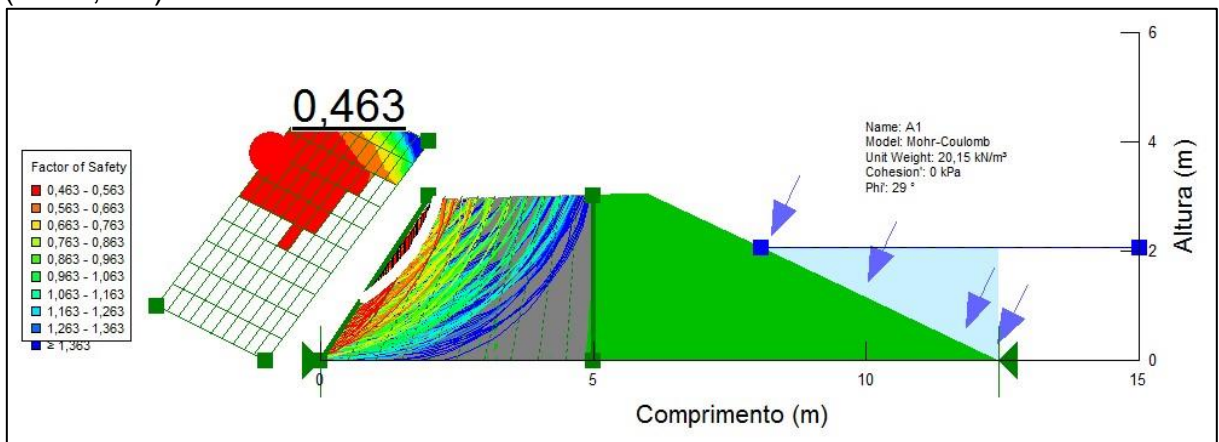


Figura J-30 – Seção 4: solo S1 sob energia Normal – Com NA - À MONTANTE (FS=1,237)

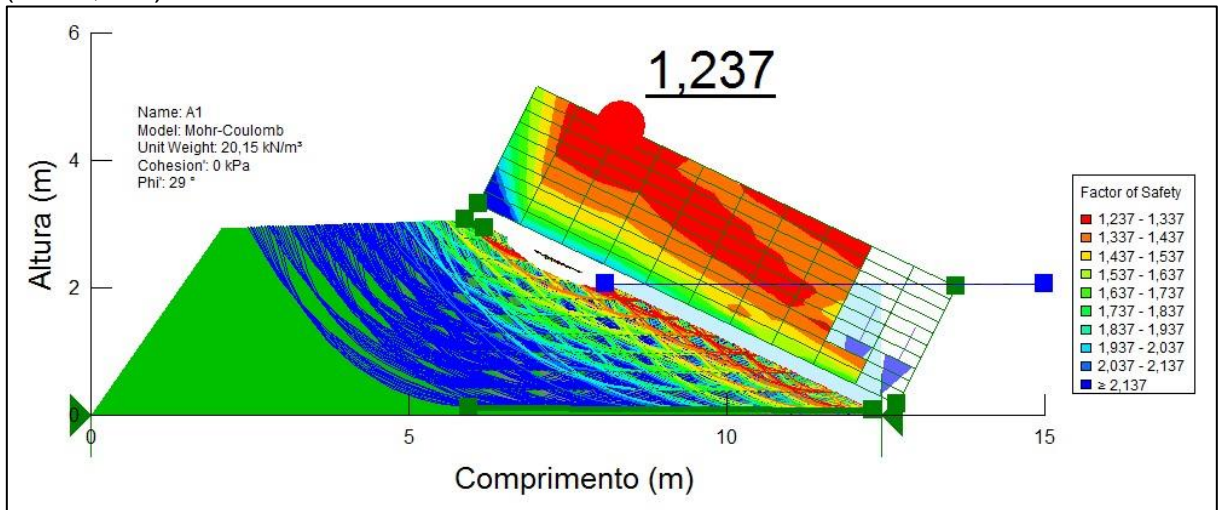


Figura J-31 – Seção 4: solo S1 sob energia Modificada – Com NA - À JUSANTE (FS=3,242)

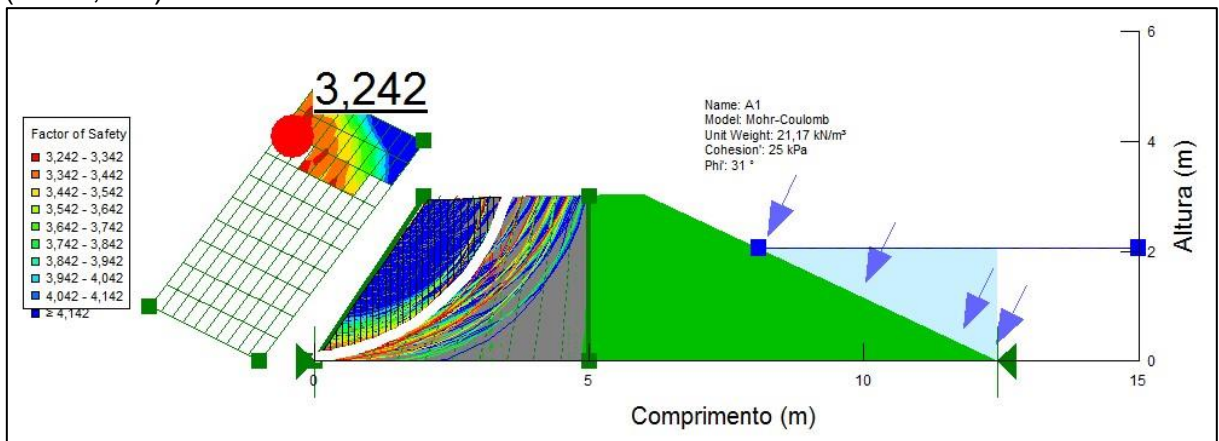


Figura J-32 – Seção 4: solo S1 sob energia Modificada – Com NA - À MONTANTE (FS=6,820)

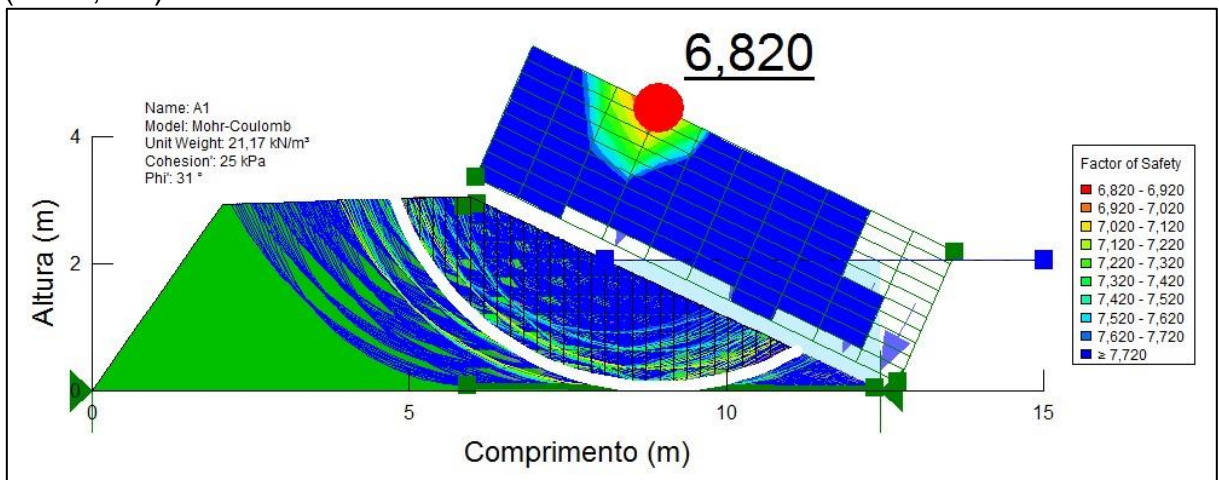




Figura J-33 – Seção 5: solo S1 sob energia Normal – Sem NA - À JUSANTE (FS=1,001)

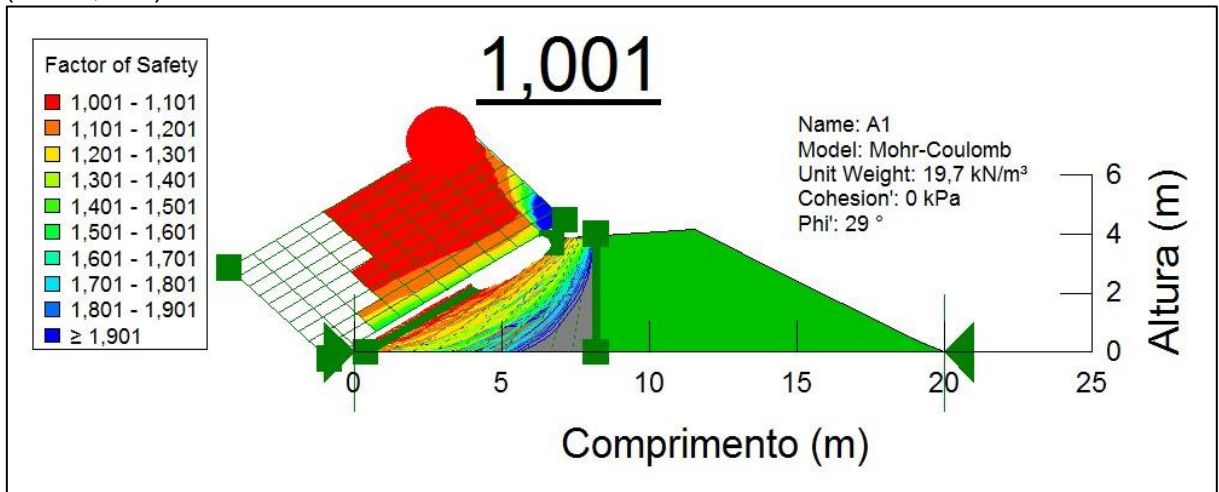


Figura J-34 – Seção 5: solo S1 sob energia Normal – Sem NA - À MONTANTE (FS=1,140)

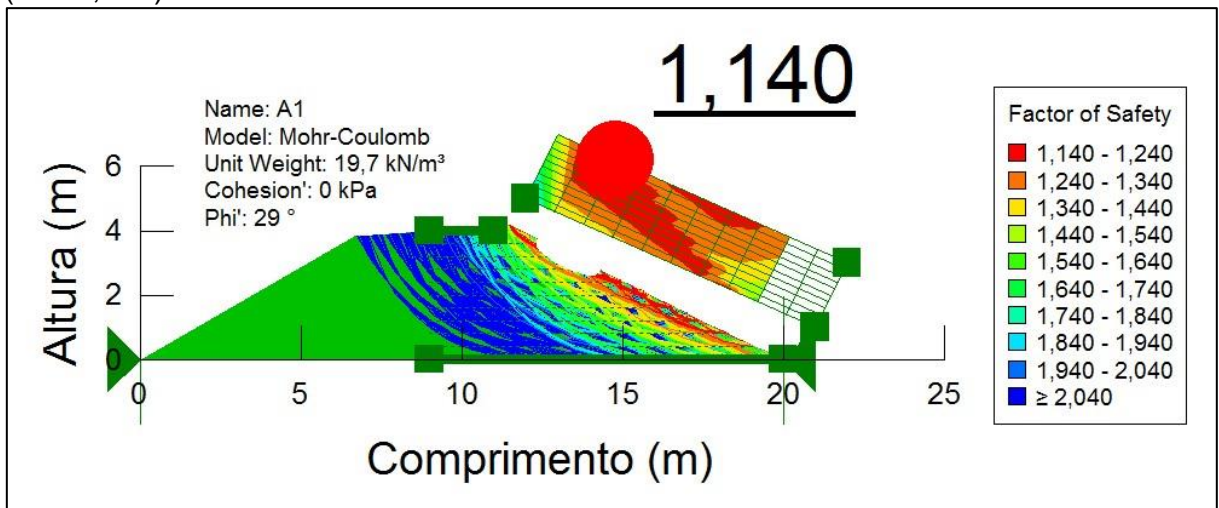


Figura J-35 – Seção 5: solo S1 sob energia Modificada – Sem NA - À JUSANTE (FS=4,116)

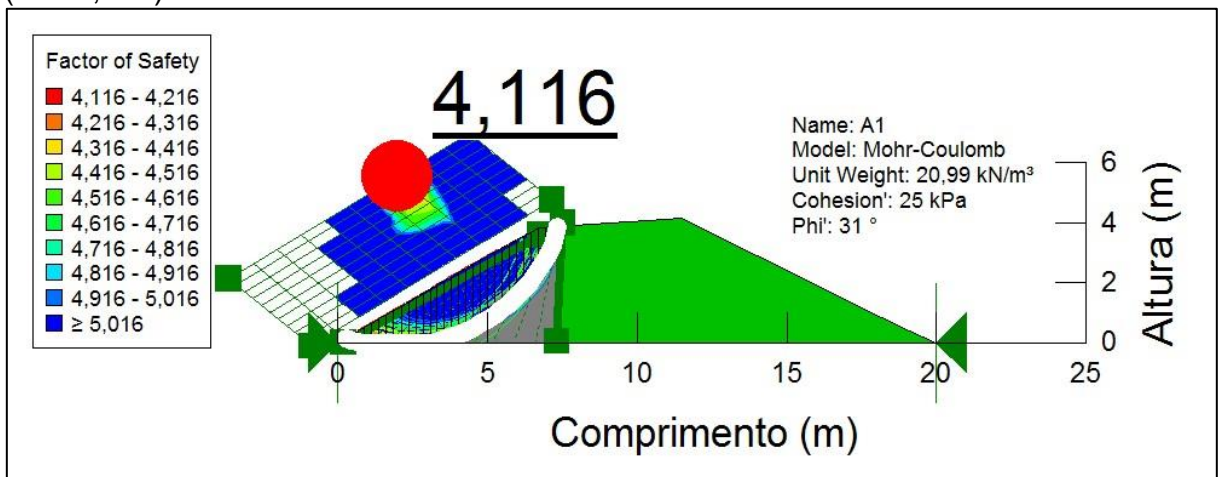


Figura J-36 – Seção 5: solo S1 sob energia Modificada – Sem NA - À MONTANTE (FS=4,419)

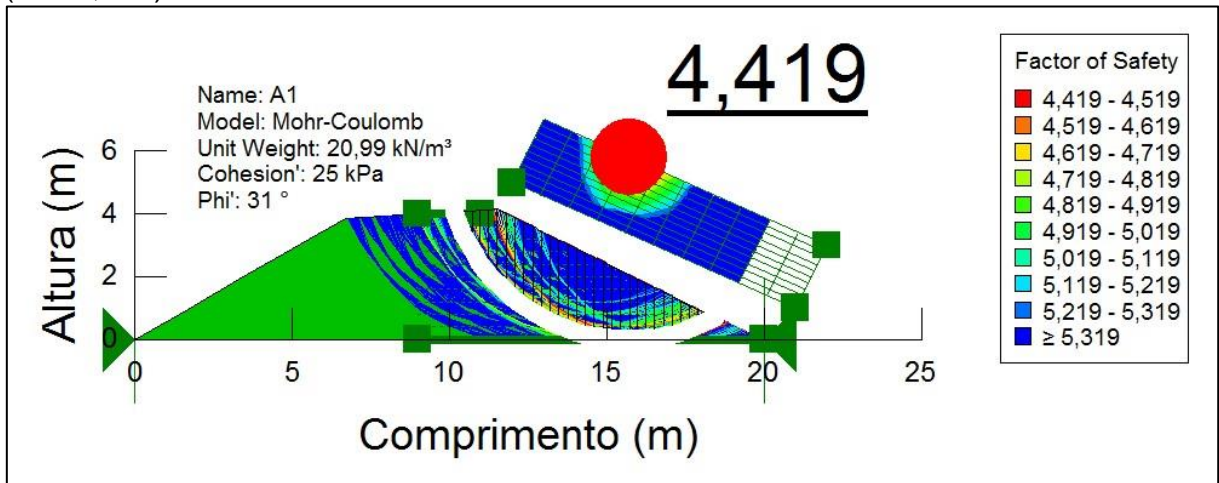


Figura J-37 – Seção 5: solo S1 sob energia Normal – Com NA - À JUSANTE (FS=1,002)

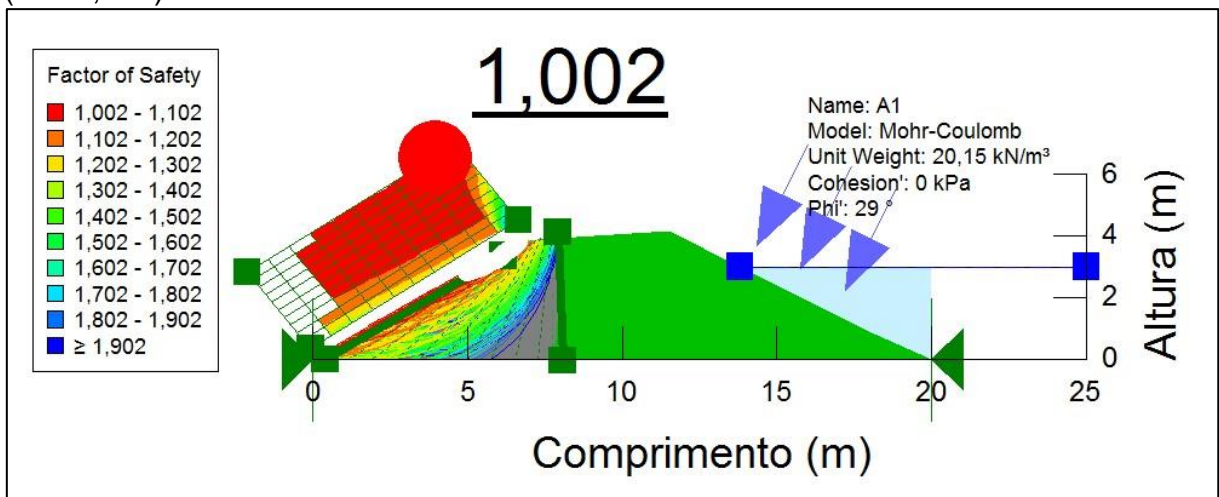


Figura J-38 – Seção 5: solo S1 sob energia Normal – Com NA - À MONTANTE (FS=1,144)

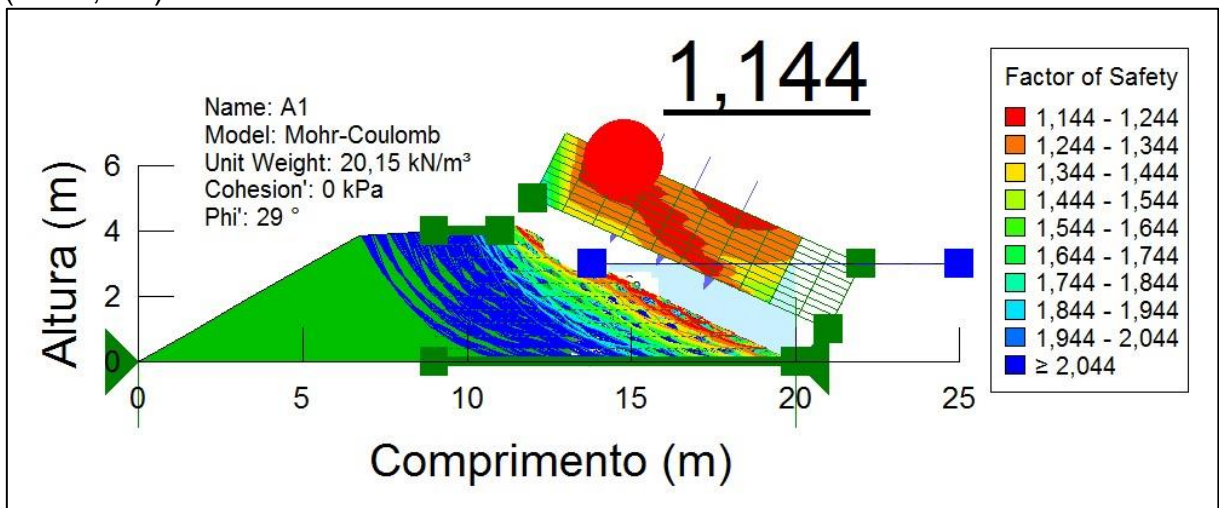


Figura J-39 – Seção 5: solo S1 sob energia Modificada – Com NA - À JUSANTE (FS=4,033)

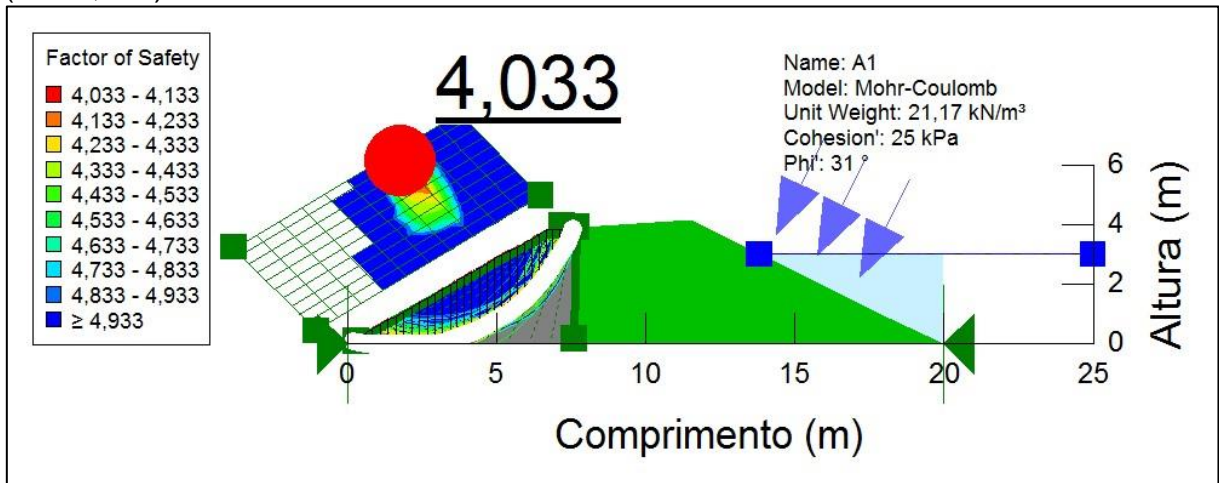


Figura J-40 – Seção 5: solo S1 sob energia Modificada – Com NA - À MONTANTE (FS=5,673)

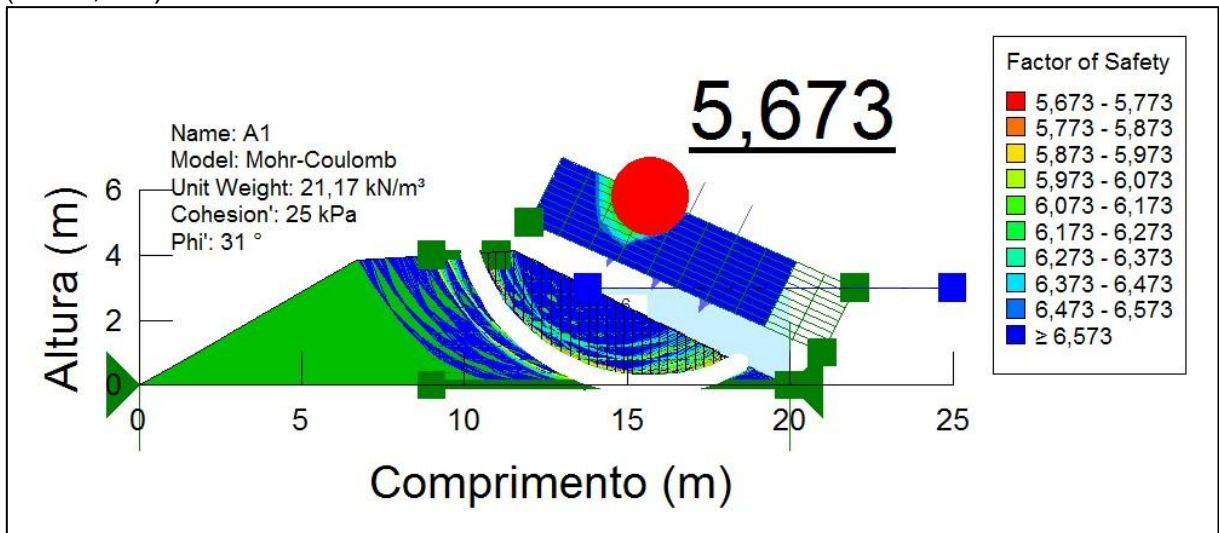


Figura J-41 – Seção 1: solo S2 sob energia Normal – Sem NA - À JUSANTE (FS=0,588)

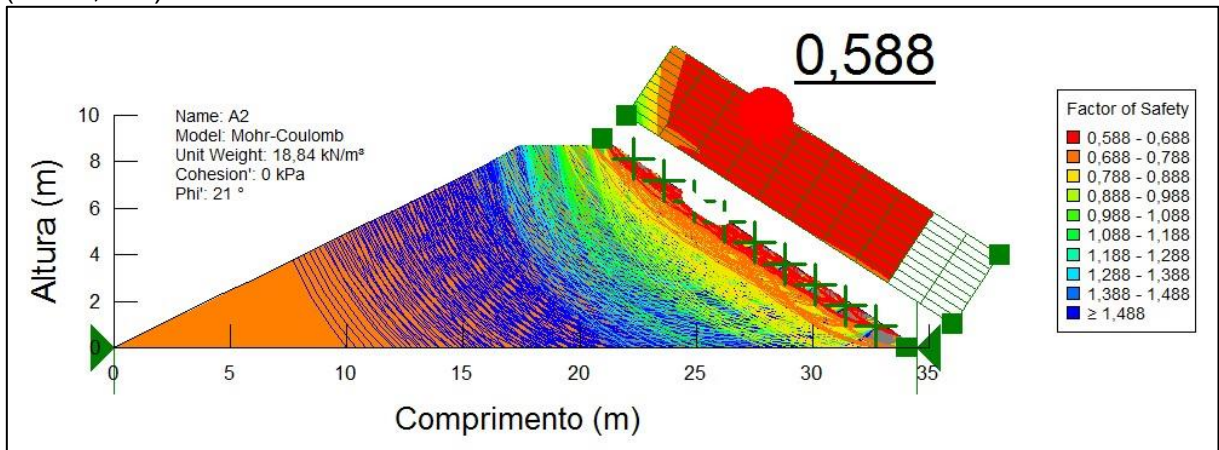




Figura J-42 – Seção 1: solo S2 sob energia Normal – Sem NA - À MONTANTE (FS=0,724)

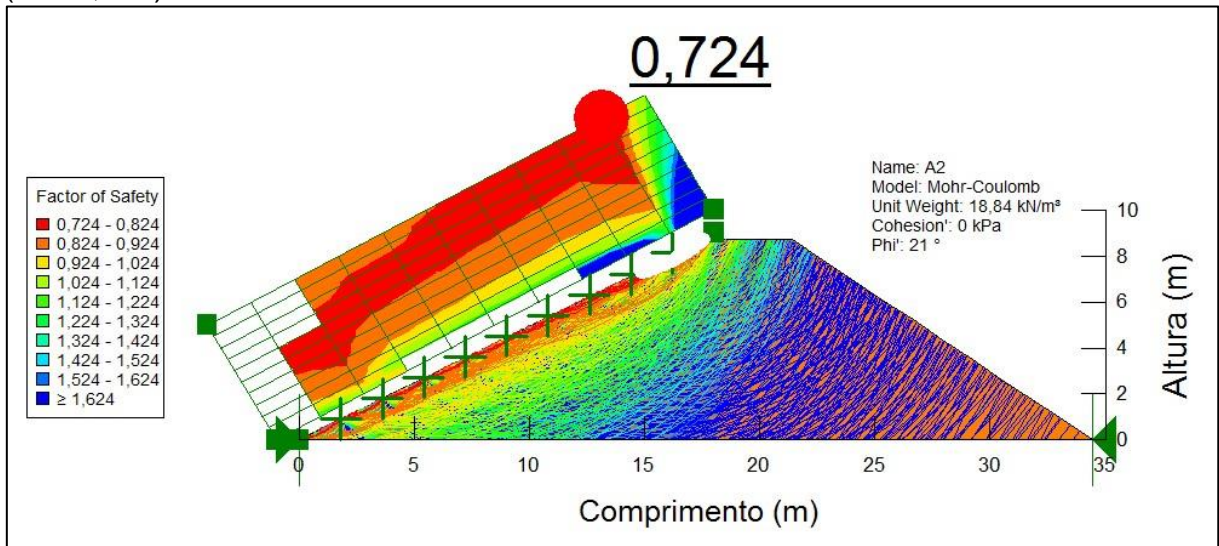


Figura J-43 – Seção 1: solo S2 sob energia Modificada – Sem NA - À JUSANTE (FS=2,377)

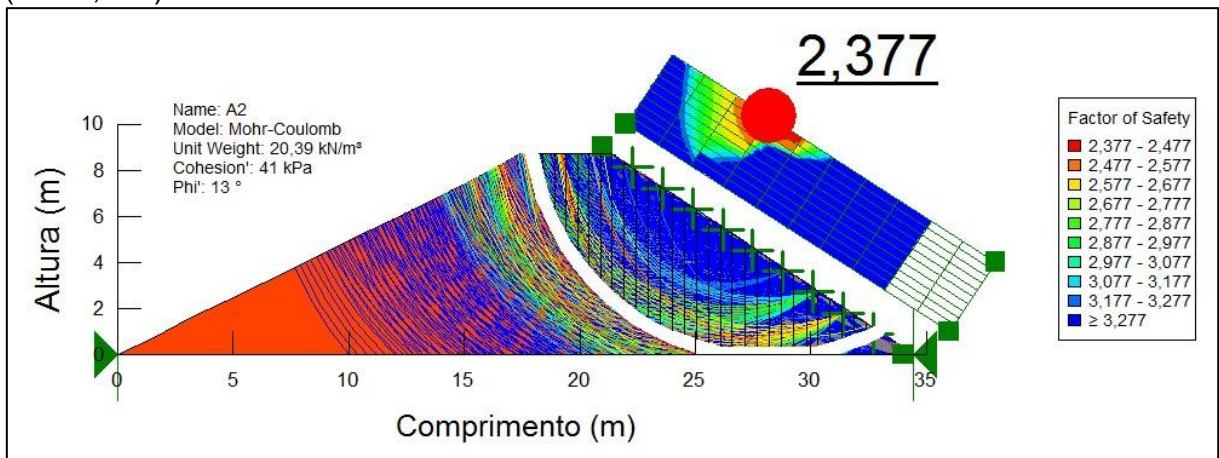


Figura J-44 – Seção 1: solo S2 sob energia Modificada – Sem NA - À MONTANTE (FS=2,815)

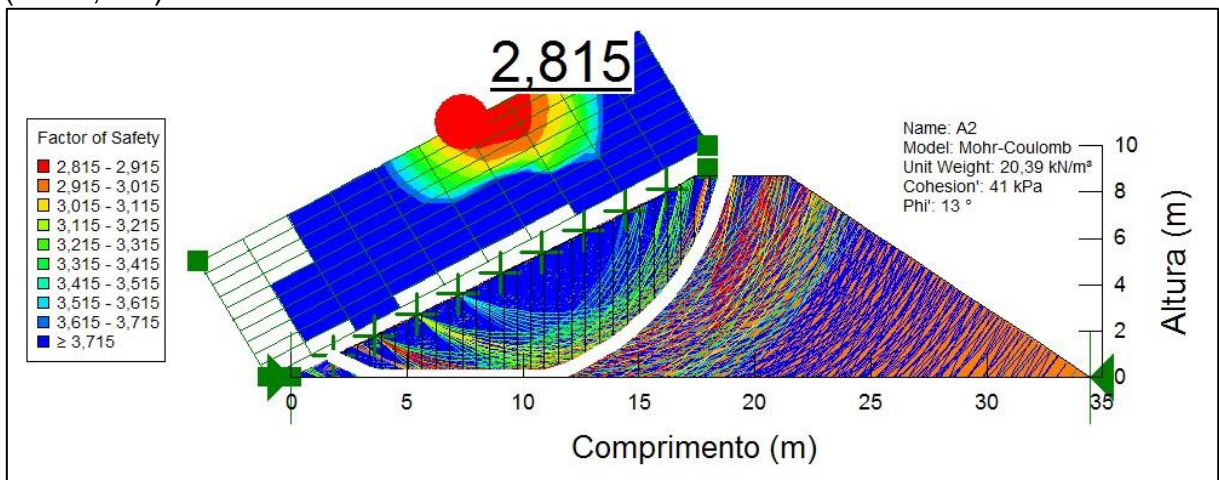


Figura J-45 – Seção 1: solo S2 sob energia Normal – Com NA - À JUSANTE (FS=0,588)

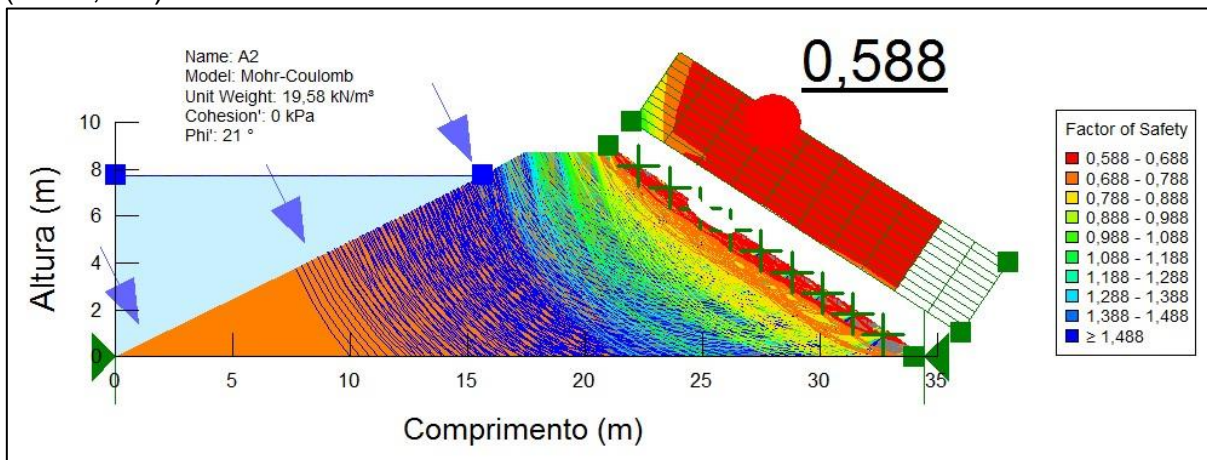


Figura J-46 – Seção 1: solo S2 sob energia Normal – Com NA - À MONTANTE (FS=0,722)

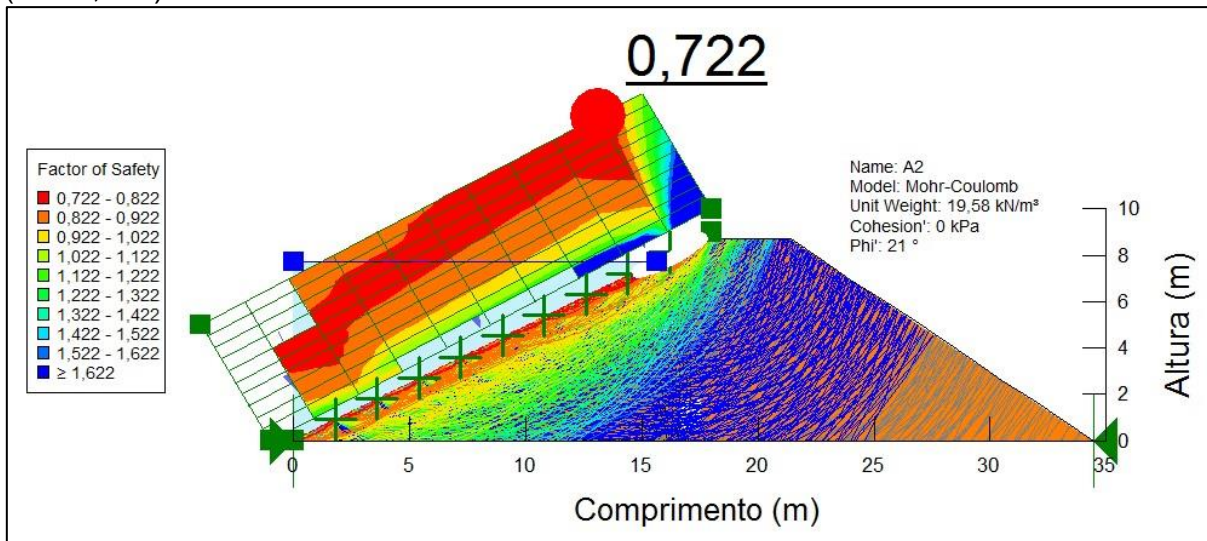


Figura J-47 – Seção 1: solo S2 sob energia Modificada – Com NA - À JUSANTE (FS=2,349)

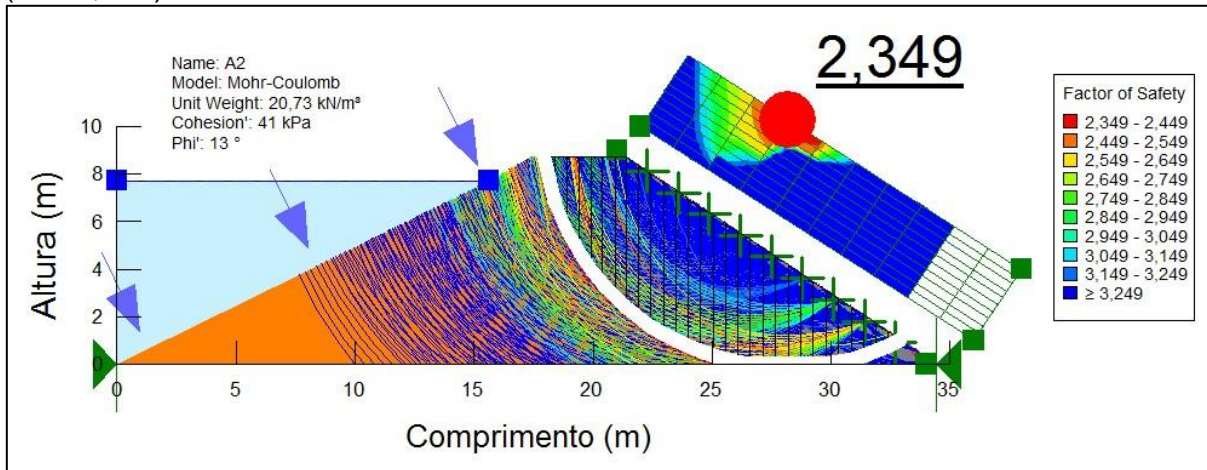




Figura J-48 – Seção 1: solo S2 sob energia Modificada – Com NA - À MONTANTE (FS=4,289)

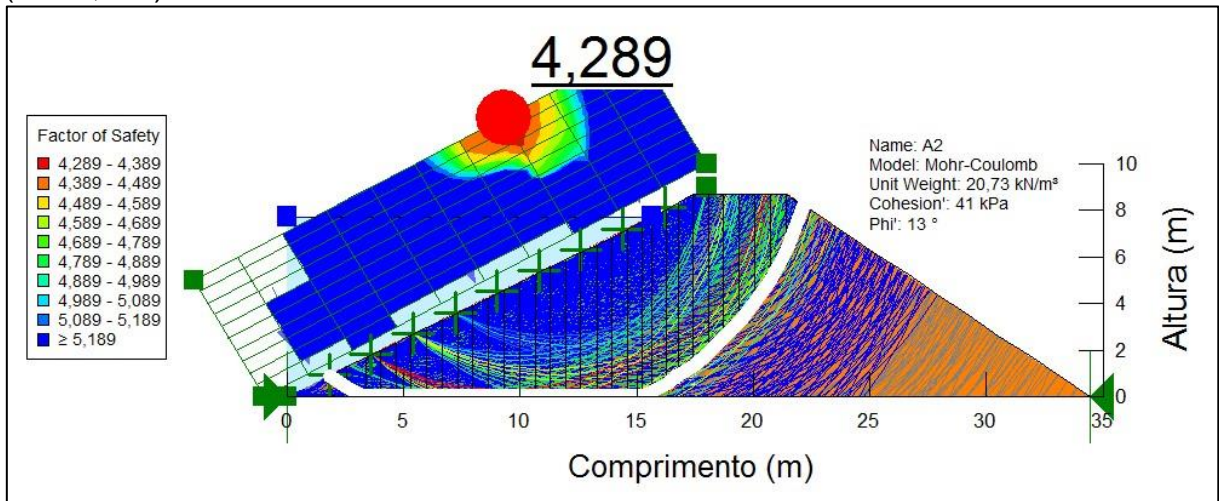


Figura J-49 – Seção 2: solo S2 sob energia Normal – Sem NA - À JUSANTE (FS=0,715)

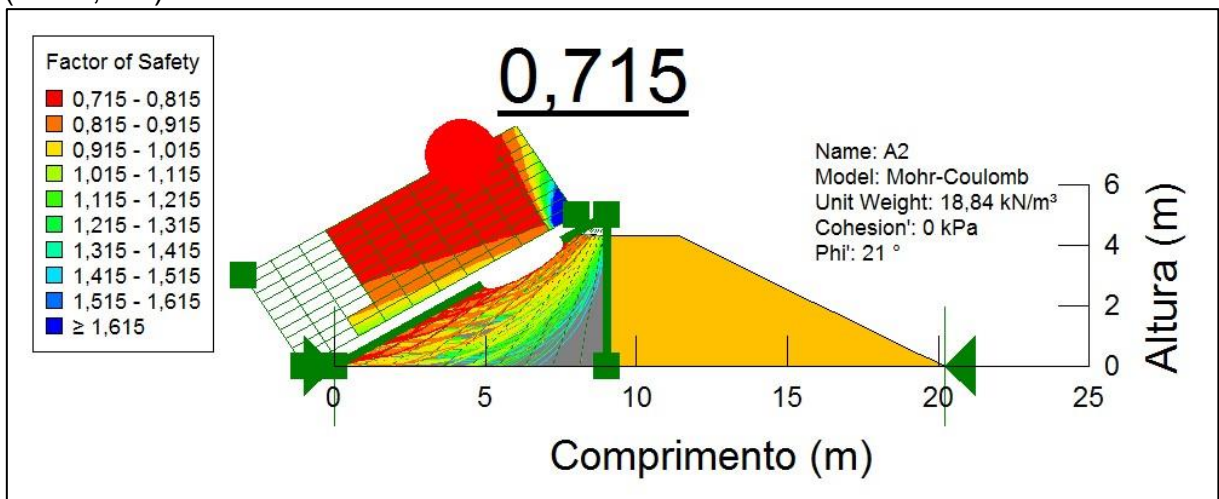


Figura J-50 – Seção 2: solo S2 sob energia Normal – Sem NA - À MONTANTE (FS=0,803)

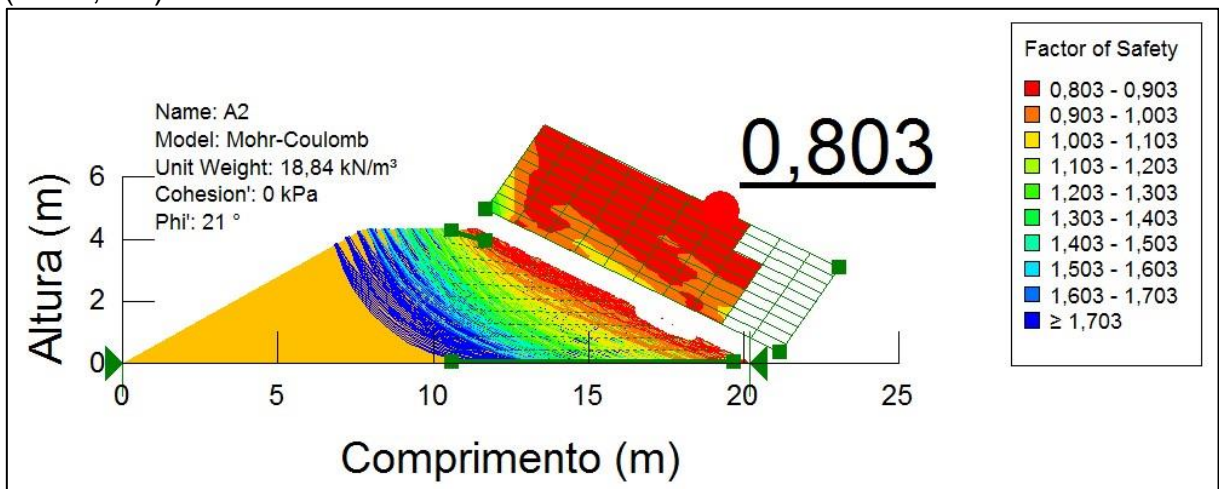


Figura J-51 – Seção 2: solo S2 sob energia Modificada – Sem NA - À JUSANTE (FS=4,544)

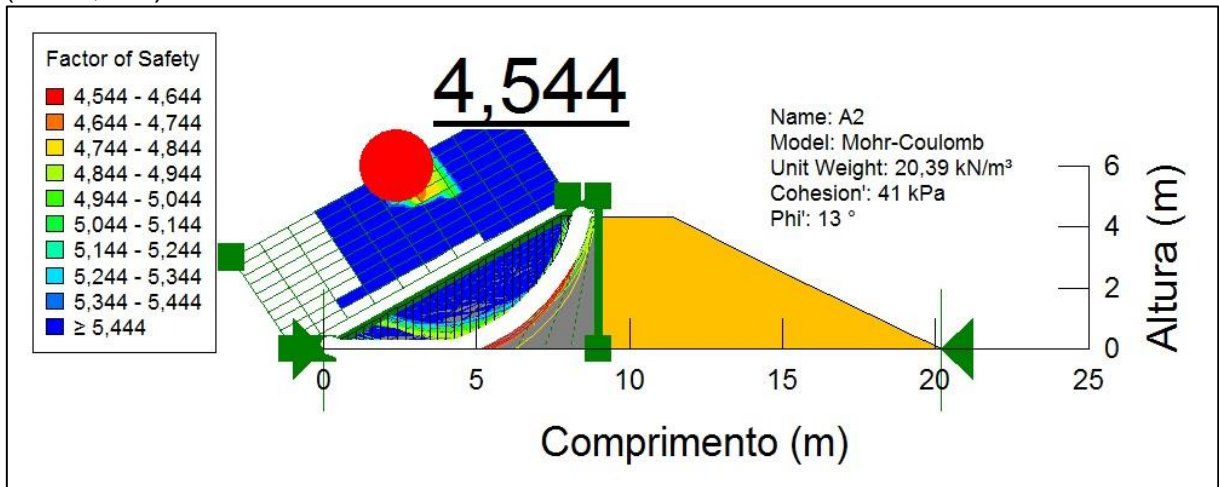


Figura J-52 – Seção 2: solo S2 sob energia Modificada – Sem NA - À MONTANTE (FS=4,714)

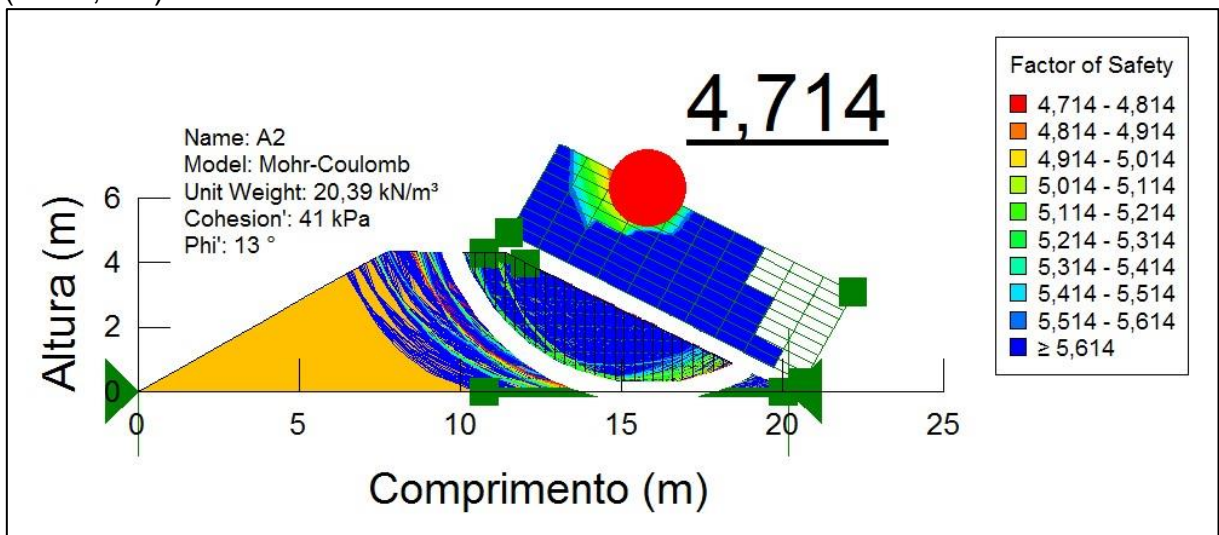


Figura J-53 – Seção 2: solo S2 sob energia Normal – Com NA - À JUSANTE (FS=0,715)

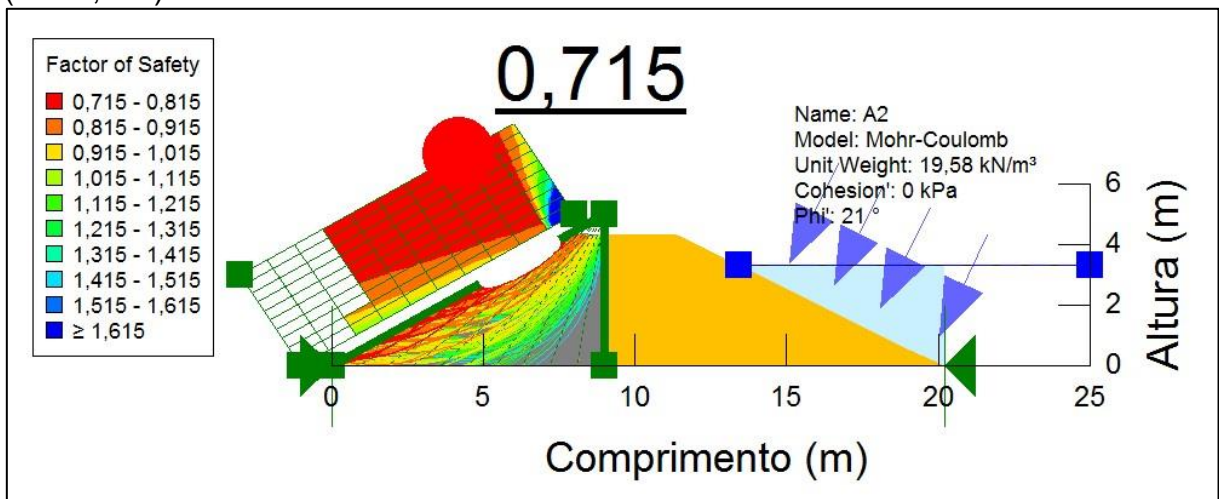




Figura J-54 – Seção 2: solo S2 sob energia Normal – Com NA - À MONTANTE (FS=0,798)

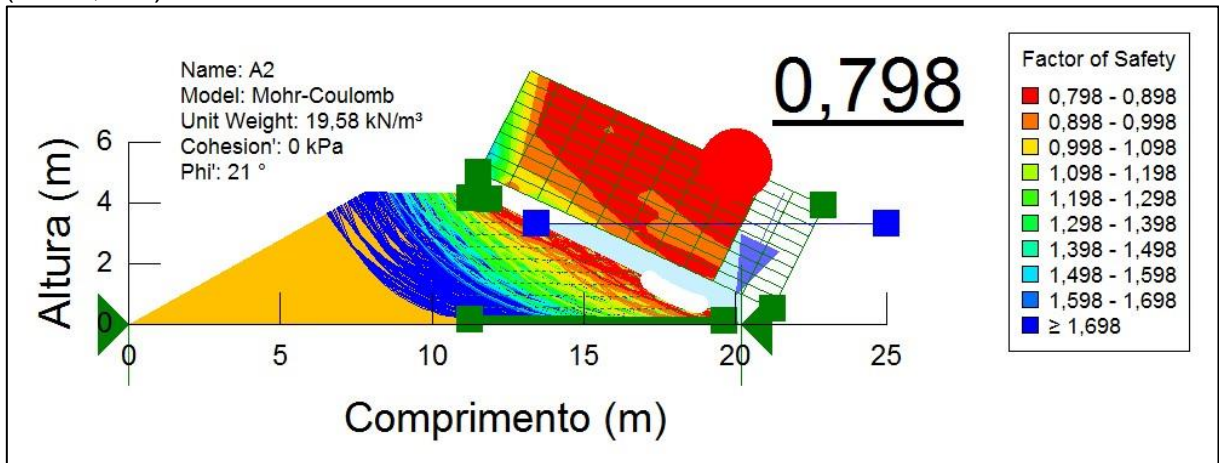


Figura J-55 – Seção 2: solo S2 sob energia Modificada – Com NA - À JUSANTE (FS=4,479)

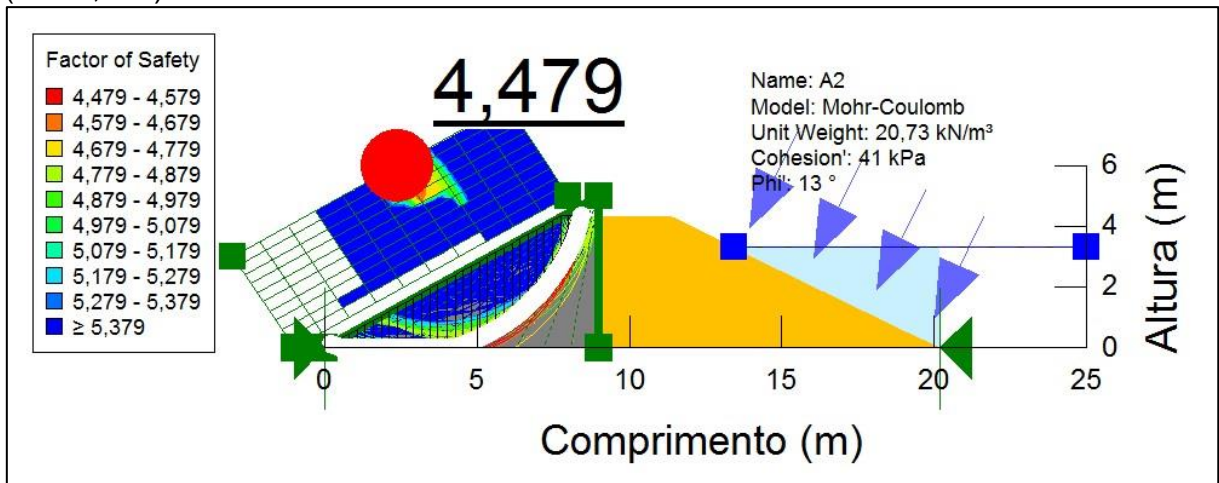


Figura J-56 – Seção 2: solo S2 sob energia Modificada – Com NA - À MONTANTE (FS=6,339)

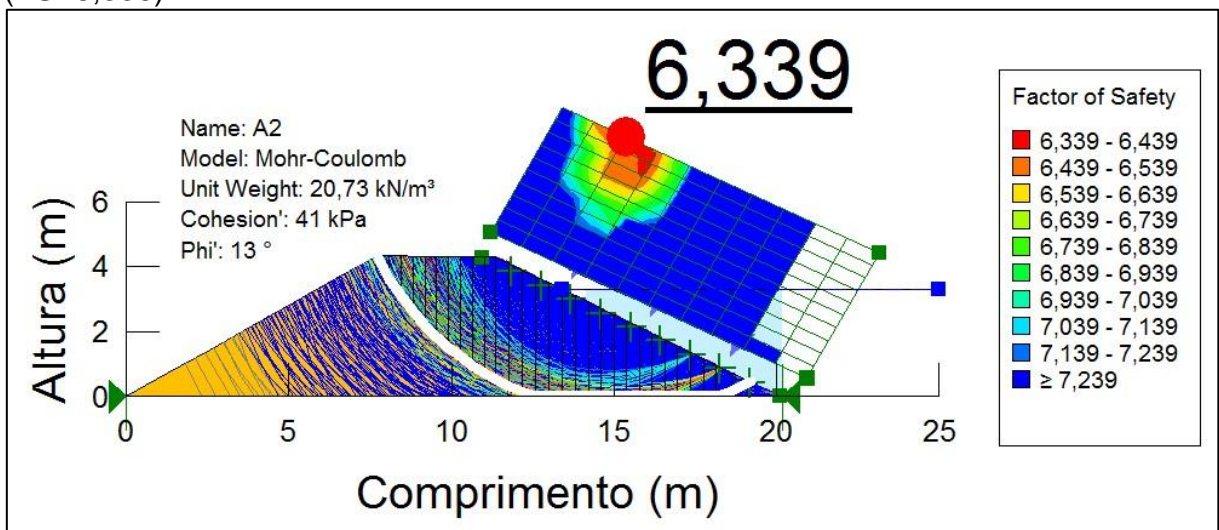




Figura J-57 – Seção 3: solo S2 sob energia Normal – Sem NA - À JUSANTE  
 (FS=0,737)  
 - À MONTANTE (FS=0,690)

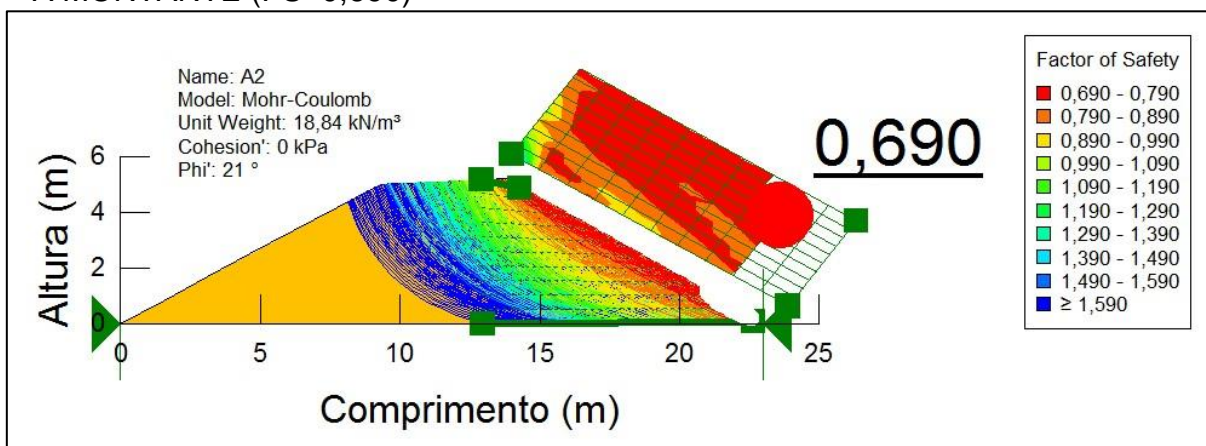


Figura J-58 – Seção 3: solo S2 sob energia Modificada – Sem NA - À JUSANTE  
 (FS=4,078)

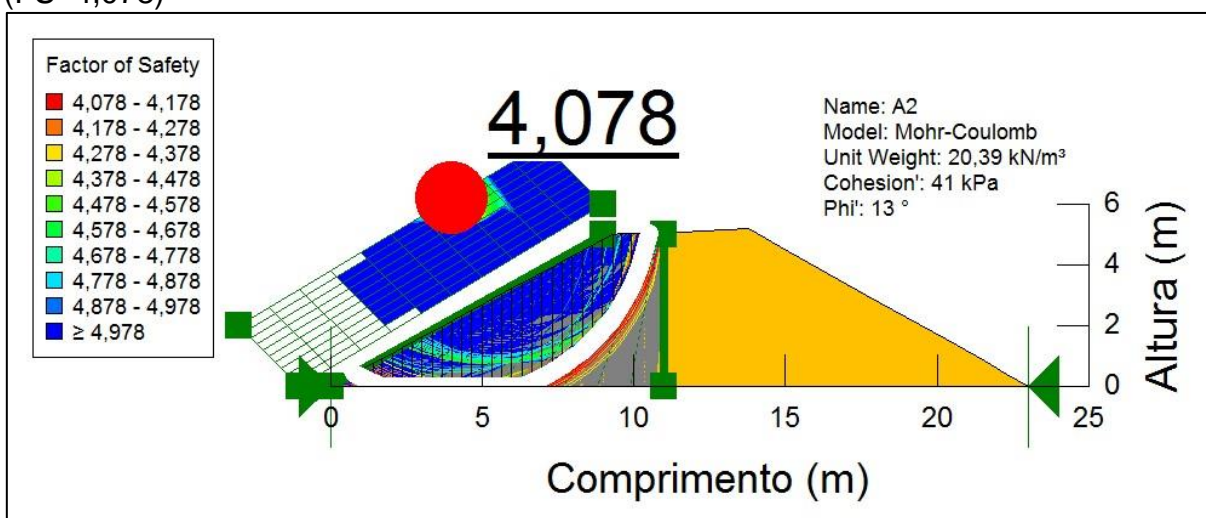


Figura J-59 – Seção 3: solo S2 sob energia Modificada – Sem NA - À MONTANTE  
 (FS=3,780)

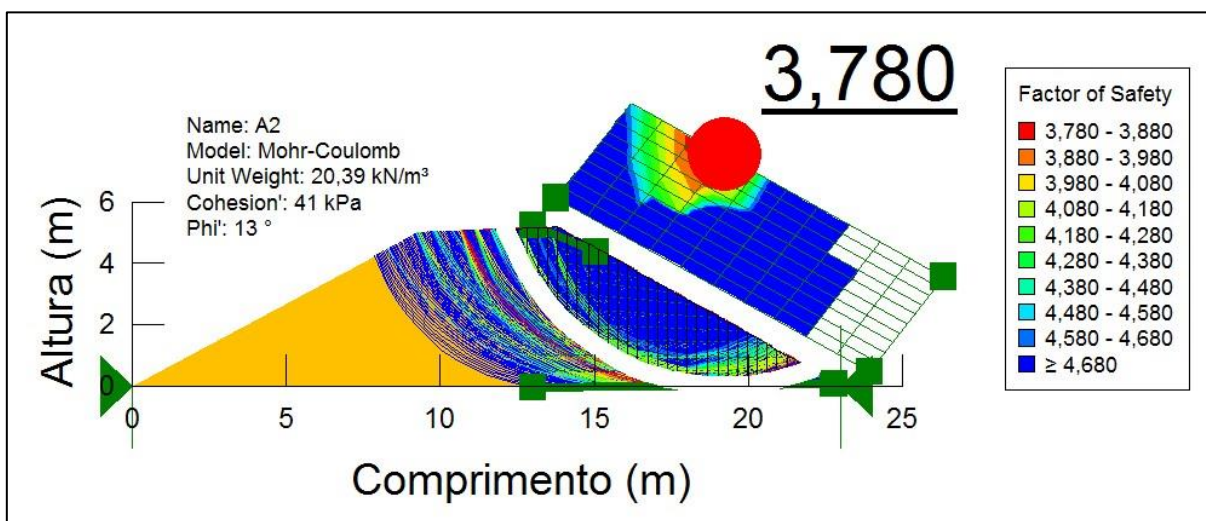


Figura J-60 – Seção 3: solo S2 sob energia Normal – Com NA - À JUSANTE (FS=0,737)

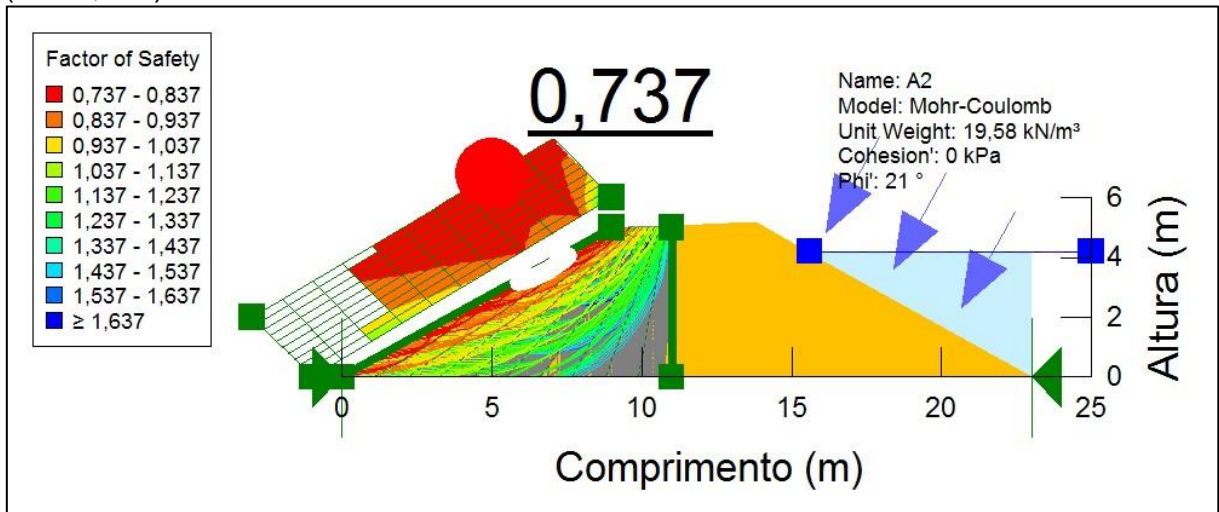


Figura J-61 – Seção 3: solo S2 sob energia Normal – Com NA - À MONTANTE (FS=0,686)

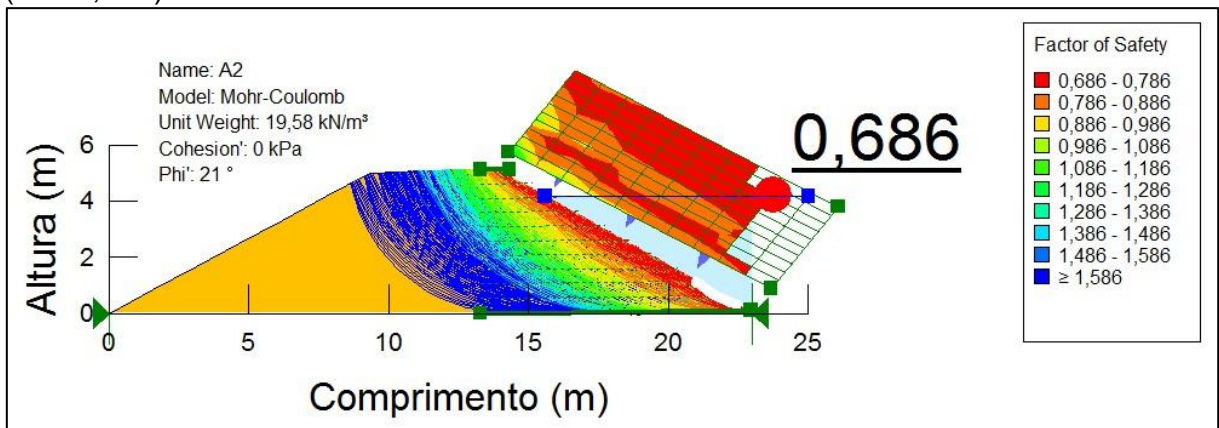


Figura J-62 – Seção 3: solo S2 sob energia Modificada – Com NA - À JUSANTE (FS=4,022)

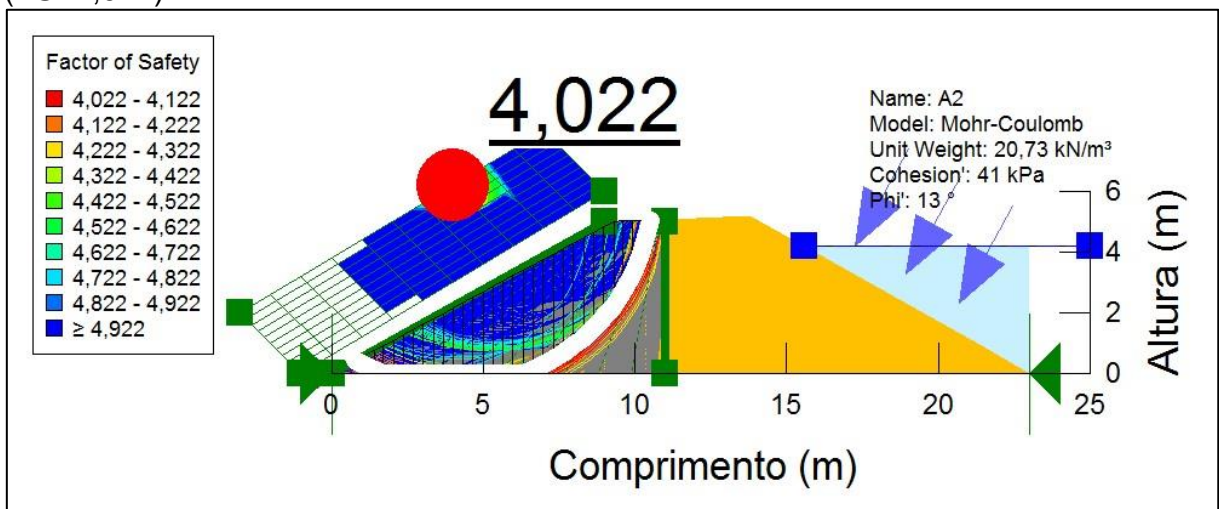


Figura J-63 – Seção 3: solo S2 sob energia Modificada – Com NA - À MONTANTE (FS=5,410)



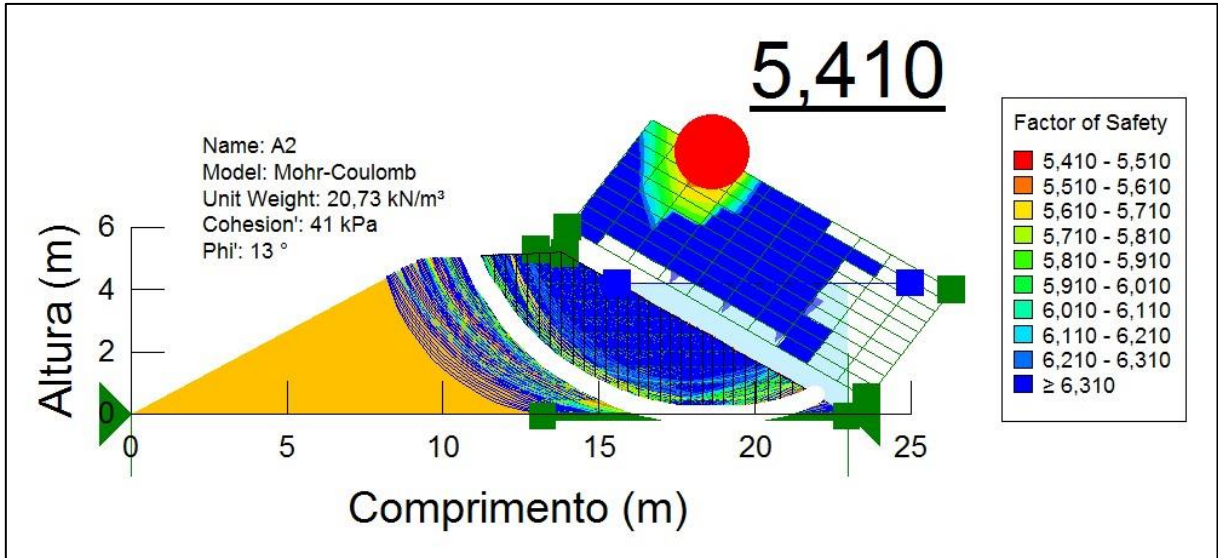


Figura J-64 – Seção 4: solo S2 sob energia Normal – Sem NA - À JUSANTE (FS=0,321)

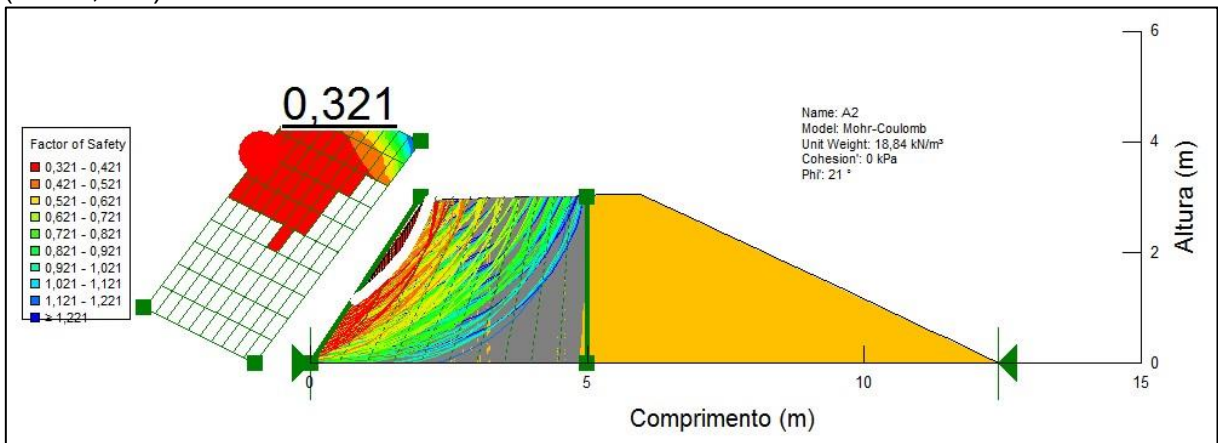


Figura J-65 – Seção 4: solo S2 sob energia Normal – Sem NA - À MONTANTE (FS=0,861)

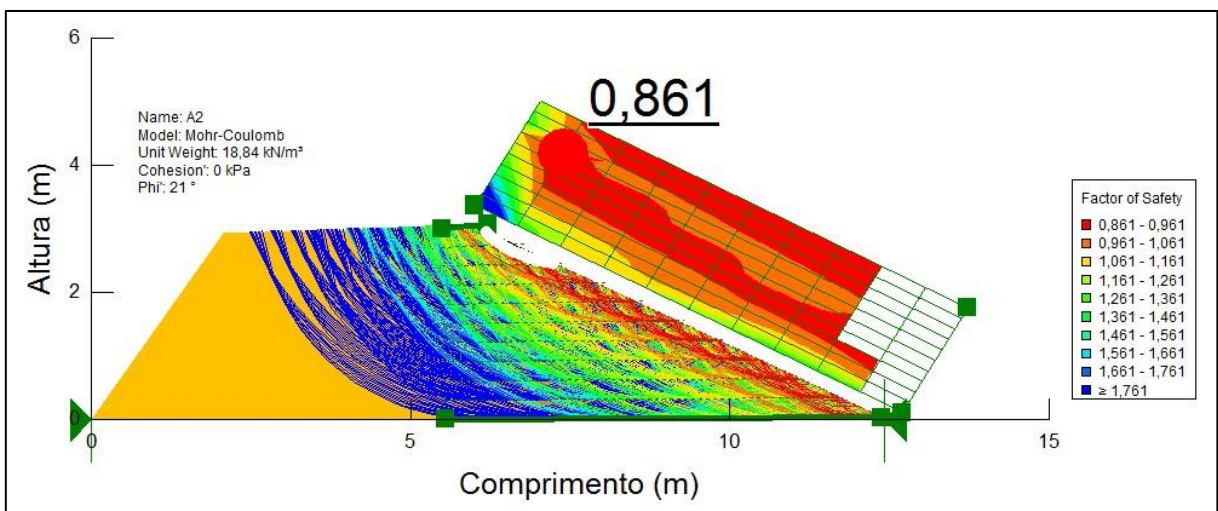


Figura J-66 – Seção 4: solo S2 sob energia Modificada – Sem NA - À JUSANTE (FS=4,156)

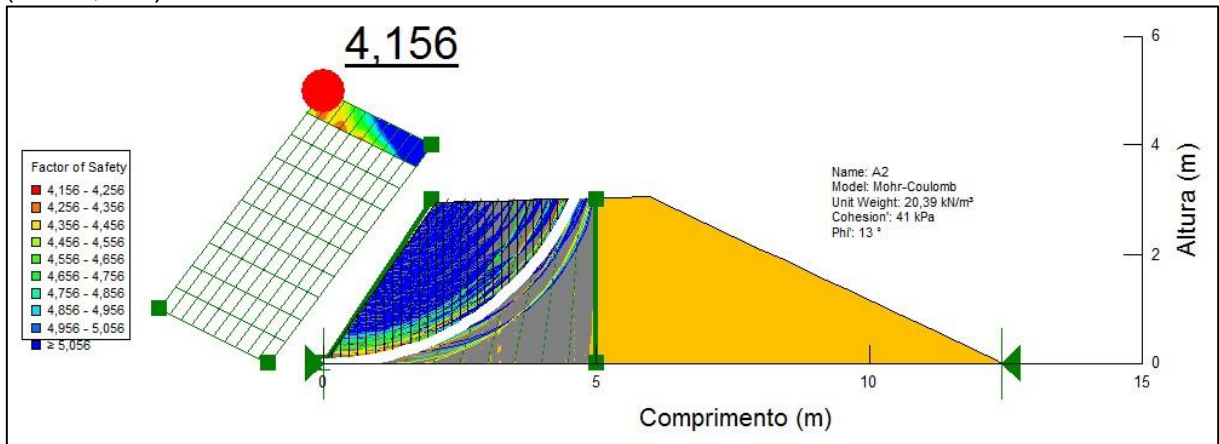


Figura J-67 – Seção 4: solo S2 sob energia Modificada – Sem NA - À MONTANTE (FS=6,595)

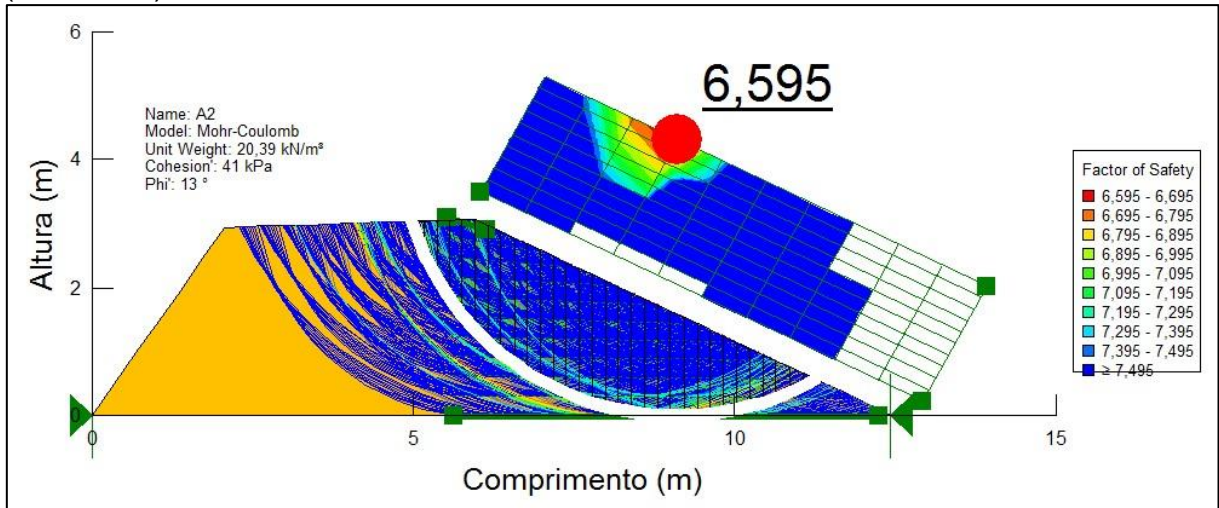


Figura J-68 – Seção 4: solo S2 sob energia Normal – Com NA - À JUSANTE (FS=0,321)

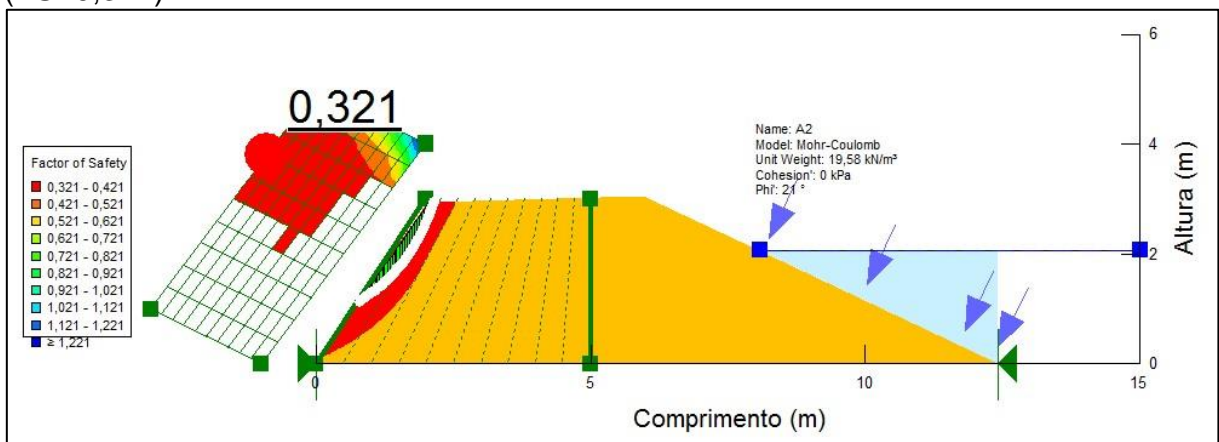


Figura J-69 – Seção 4: solo S2 sob energia Normal – Com NA - À MONTANTE (FS=0,849)

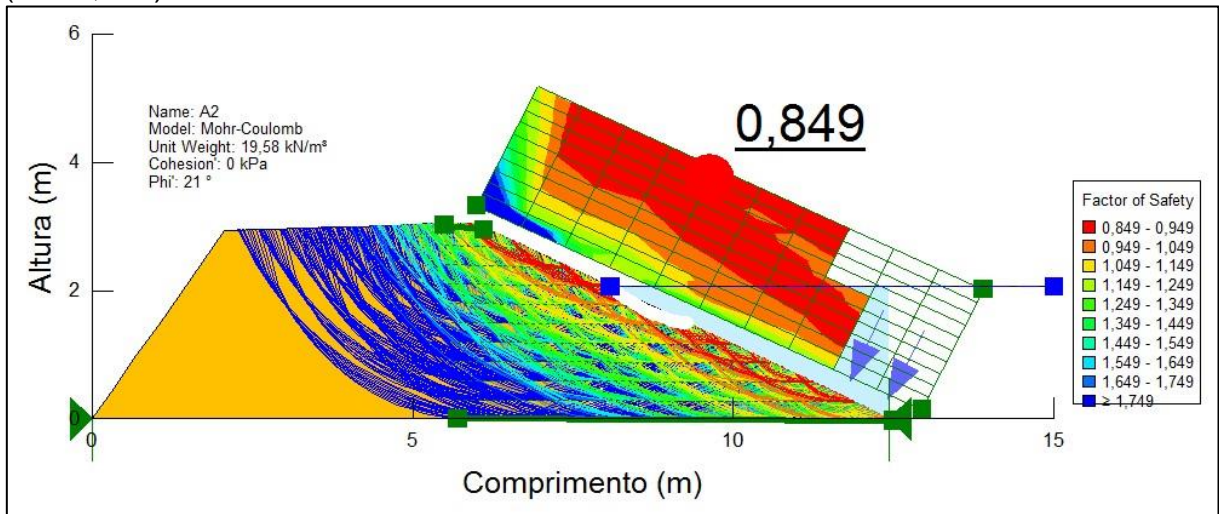


Figura J-70 – Seção 4: solo S2 sob energia Modificada – Com NA - À JUSANTE (FS=4,095)

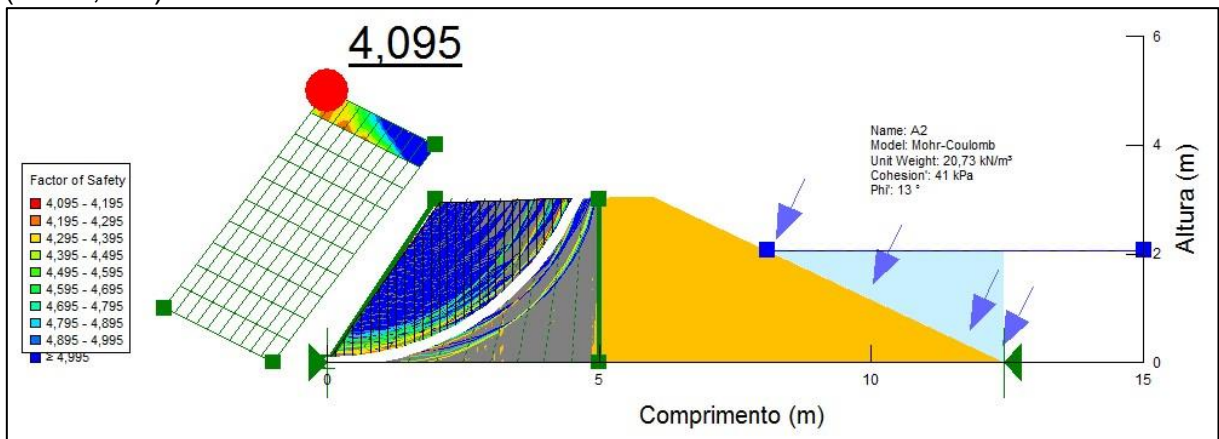


Figura J-71 – Seção 4: solo S2 sob energia Modificada – Com NA - À MONTANTE (FS=8,401)

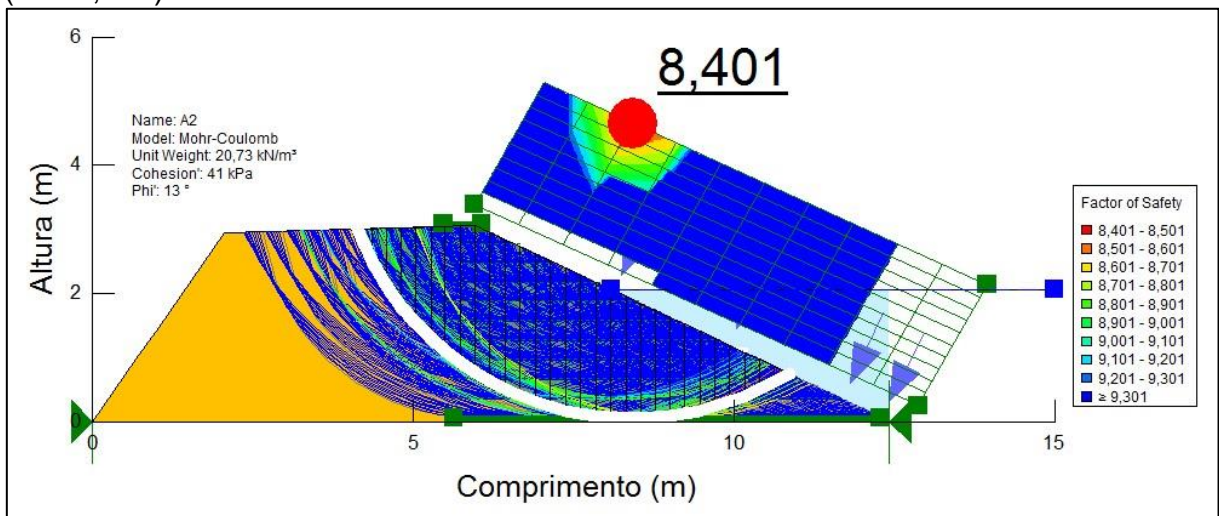




Figura J-72 – Seção 5: solo S2 sob energia Normal – Sem NA - À JUSANTE (FS=0,682)

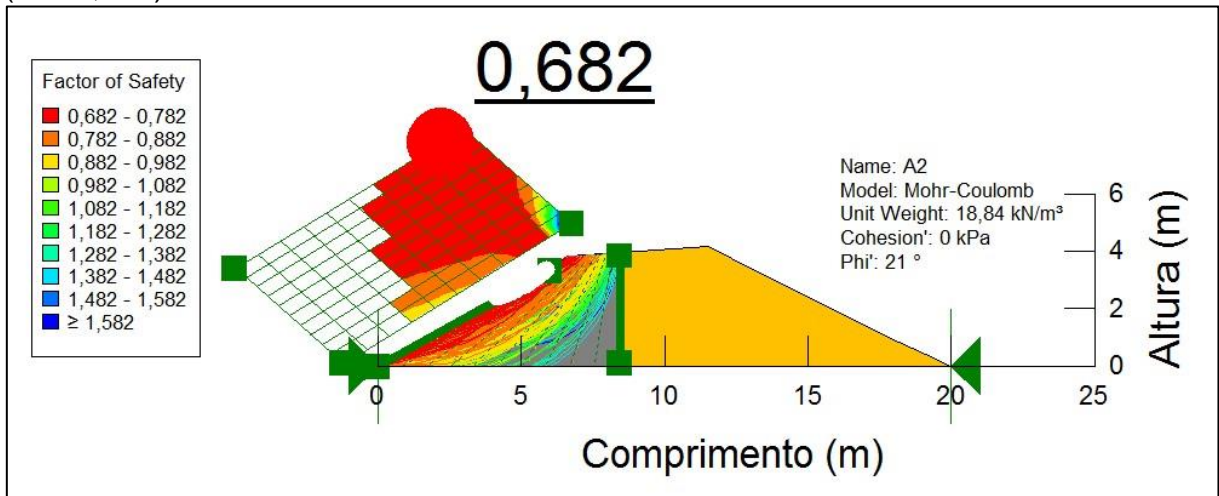


Figura J-73 – Seção 5: solo S2 sob energia Normal – Sem NA - À MONTANTE (FS=0,790)

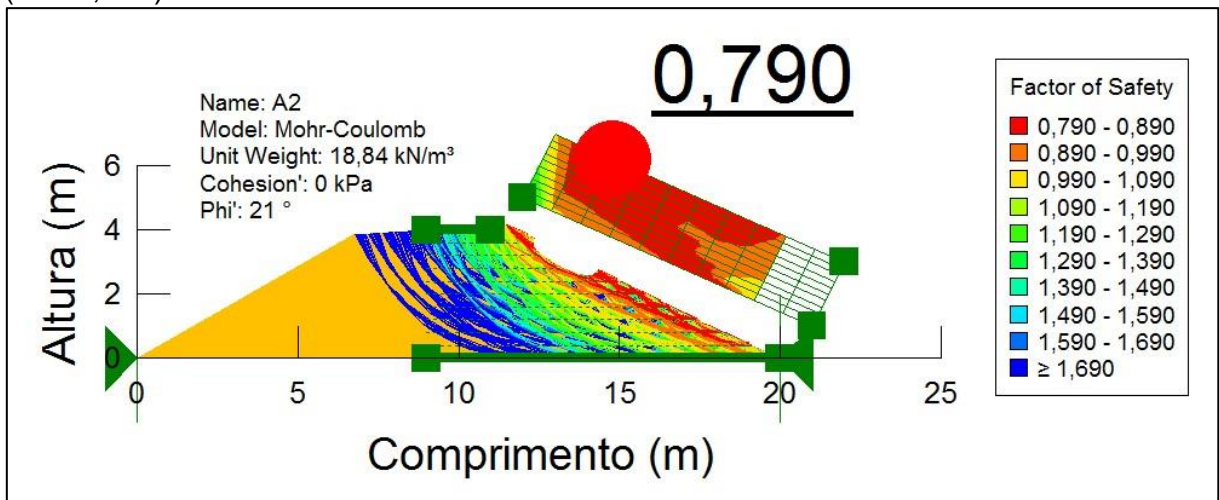


Figura J-74 – Seção 5: solo S2 sob energia Modificada – Sem NA - À JUSANTE (FS=4,782)

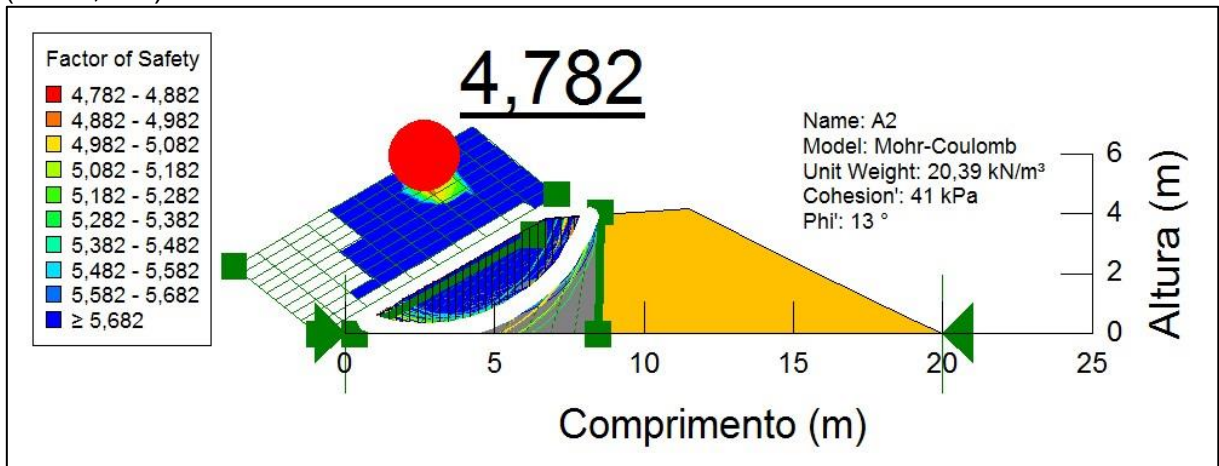


Figura J-75 – Seção 5: solo S2 sob energia Modificada – Sem NA - À MONTANTE (FS=4,911)

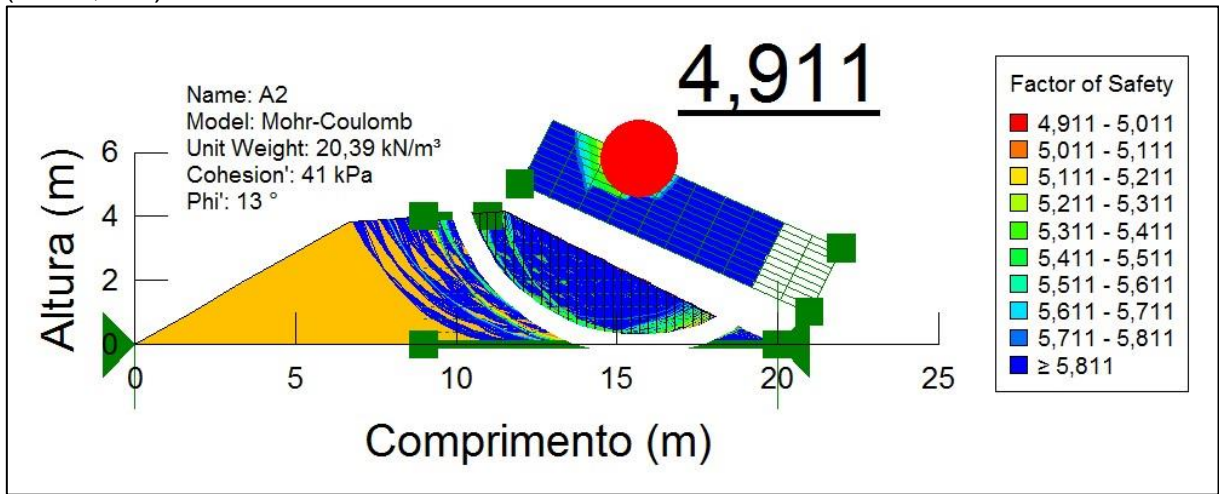


Figura J-76 – Seção 5: solo S2 sob energia Normal – Com NA - À JUSANTE (FS=0,685)

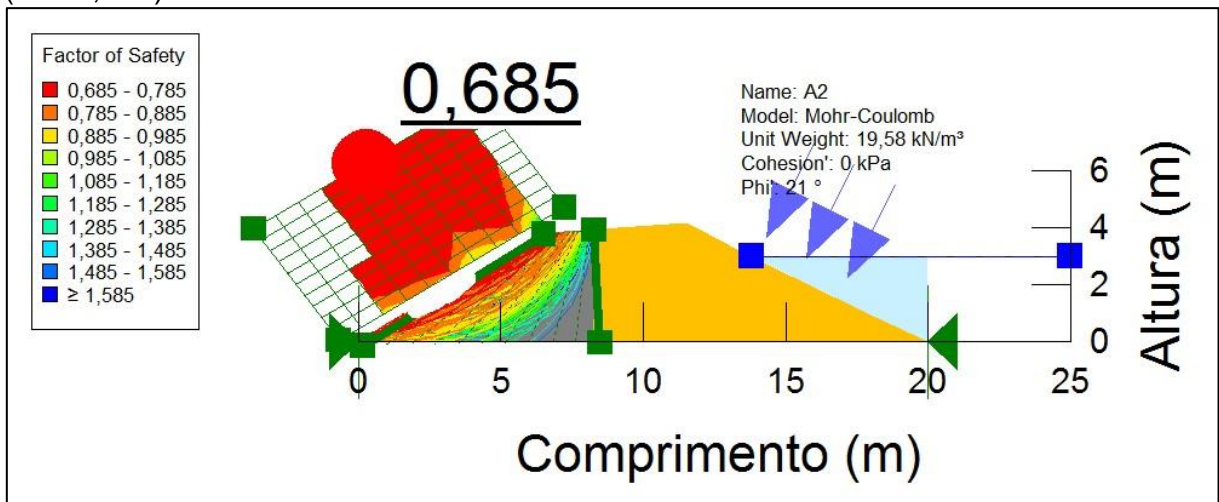


Figura J-77 – Seção 5: solo S2 sob energia Normal – Com NA - À MONTANTE (FS=0,792)

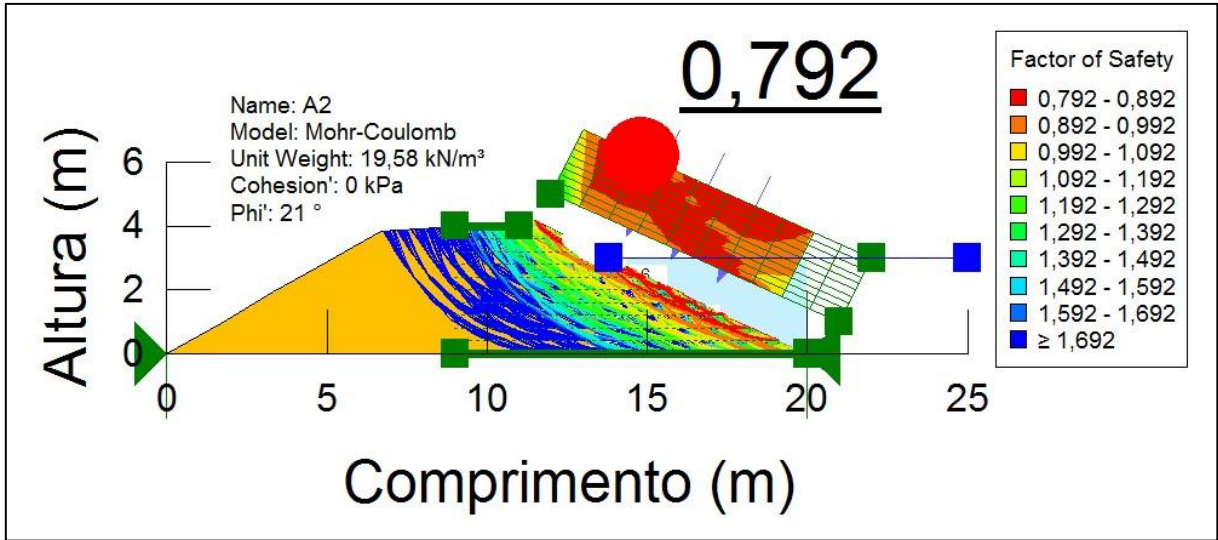


Figura J-78 – Seção 5: solo S2 sob energia Modificada – Com NA - À JUSANTE (FS=4,820)

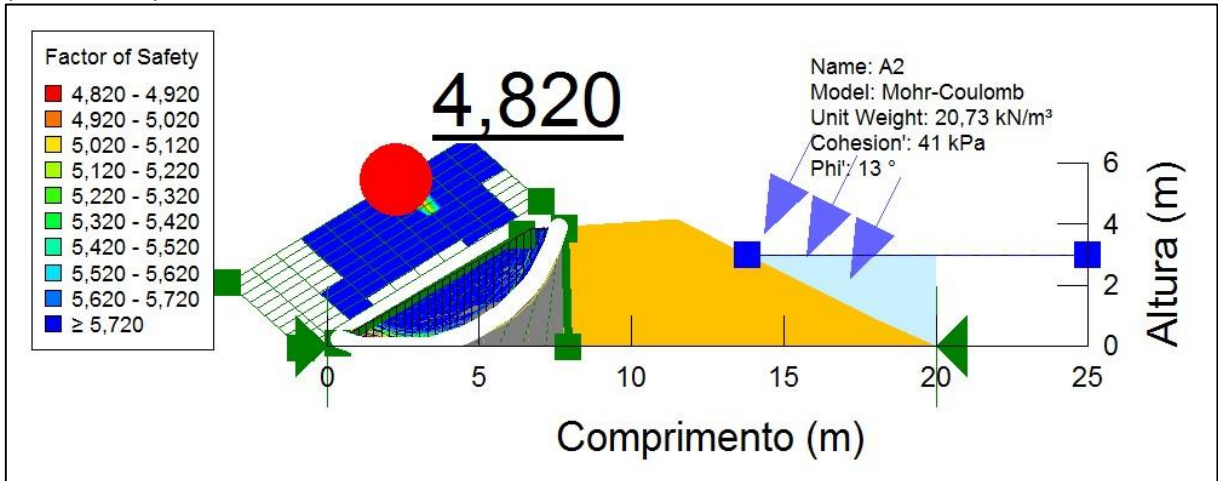


Figura J-79 – Seção 5: solo S2 sob energia Modificada – Com NA - À MONTANTE (FS=6,643)

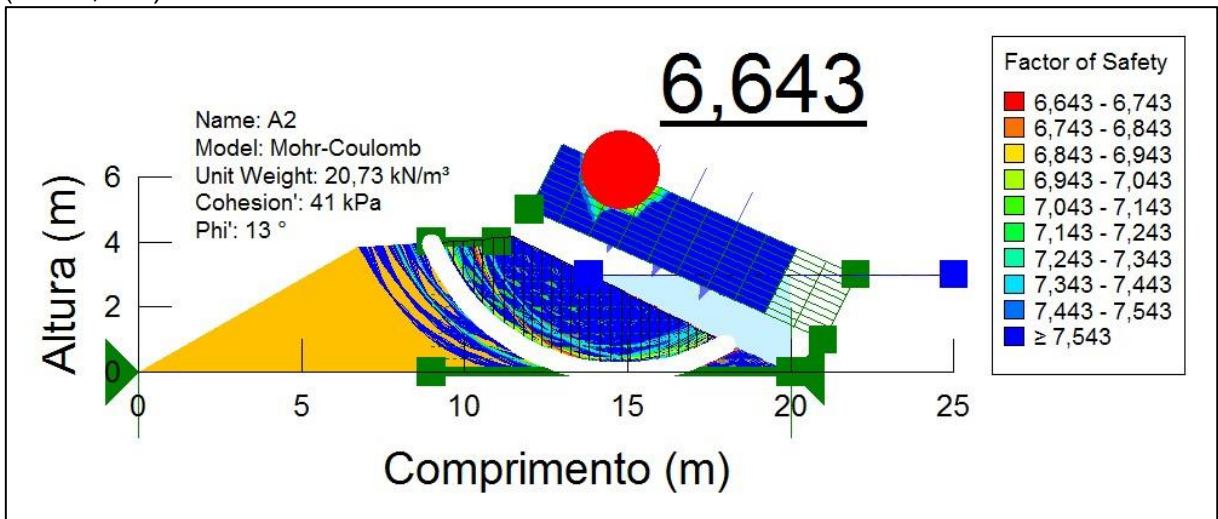




Figura J-80 – Seção 6: solo S3 sob energia Normal – Sem NA - À JUSANTE  
(FS=1,166)

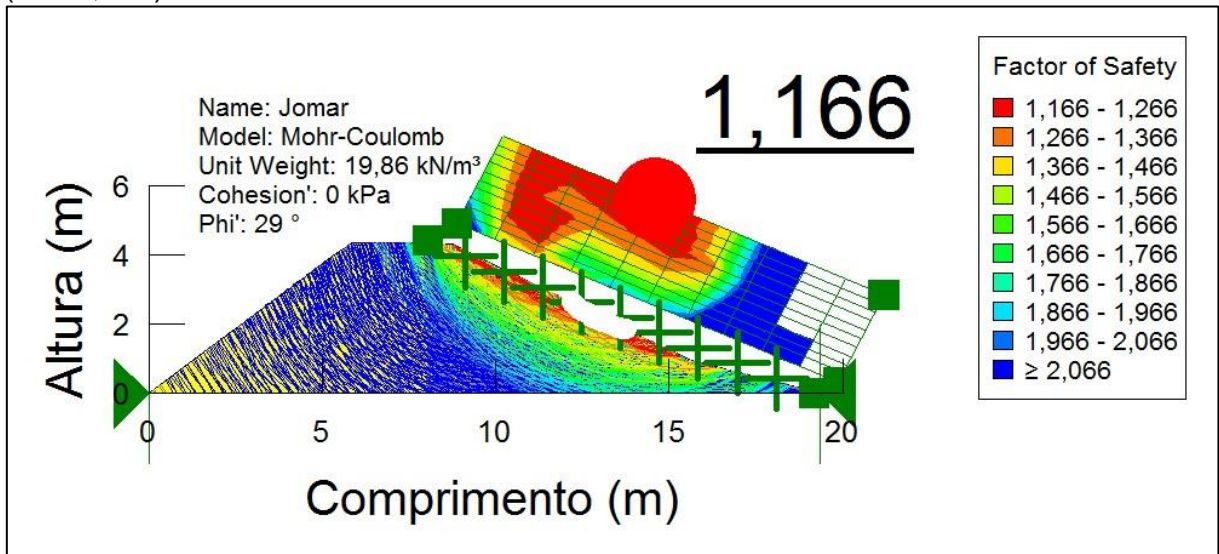


Figura J-81 – Seção 6: solo S3 sob energia Normal – Sem NA - À MONTANTE  
(FS=0,783)

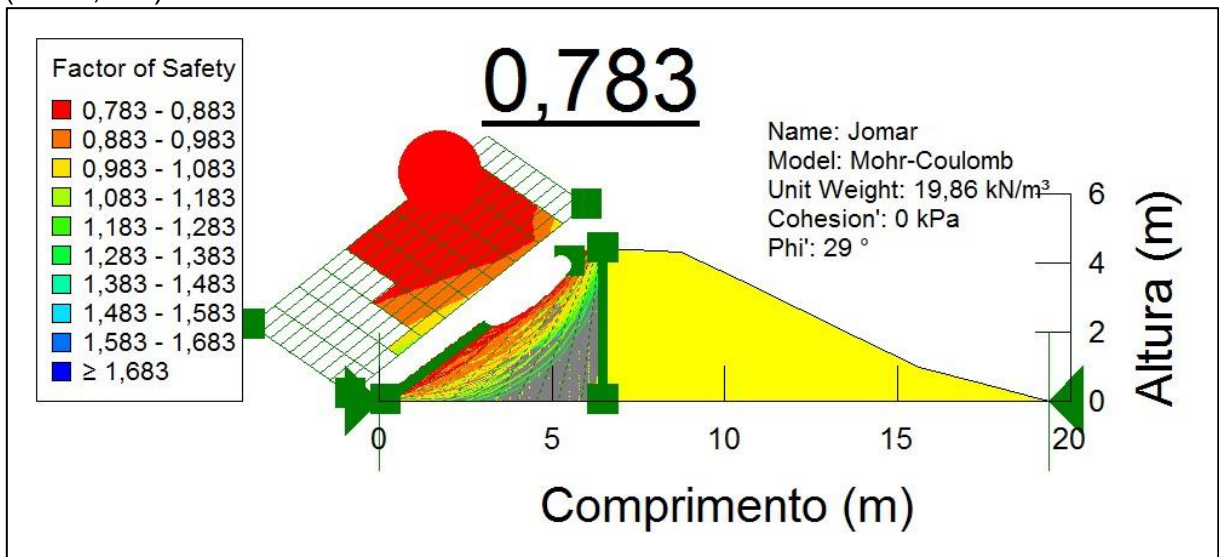


Figura J-82 – Seção 6: solo S3 sob energia Modificada – Sem NA - À JUSANTE (FS=4,244)

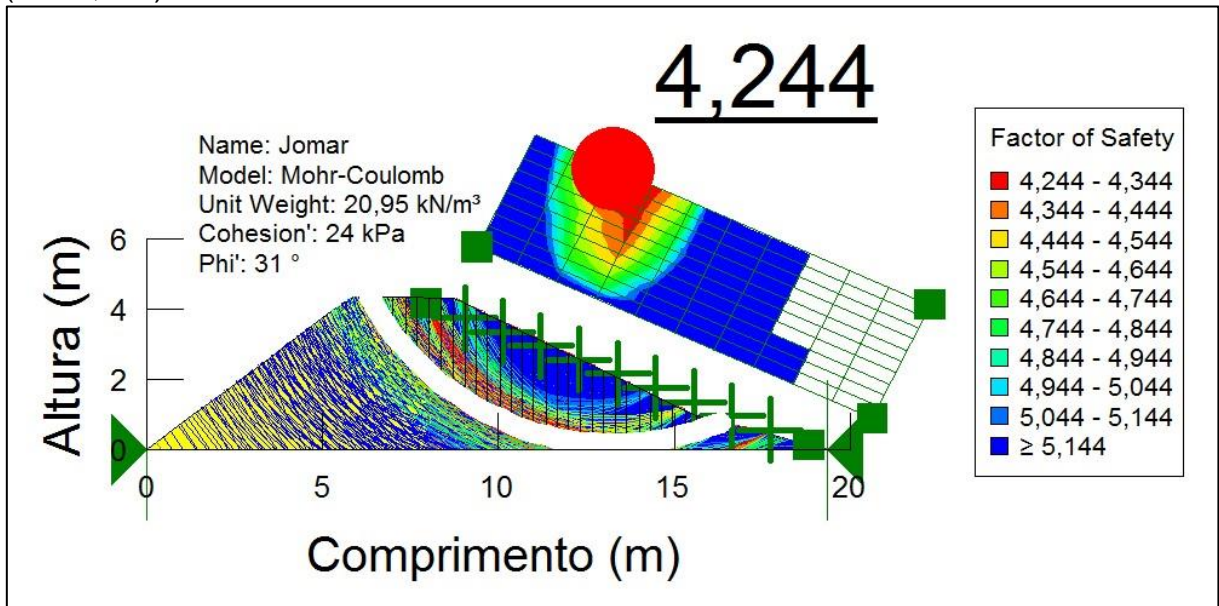


Figura J-83 – Seção 6: solo S3 sob energia Modificada – Sem NA - À MONTANTE (FS=3,319)

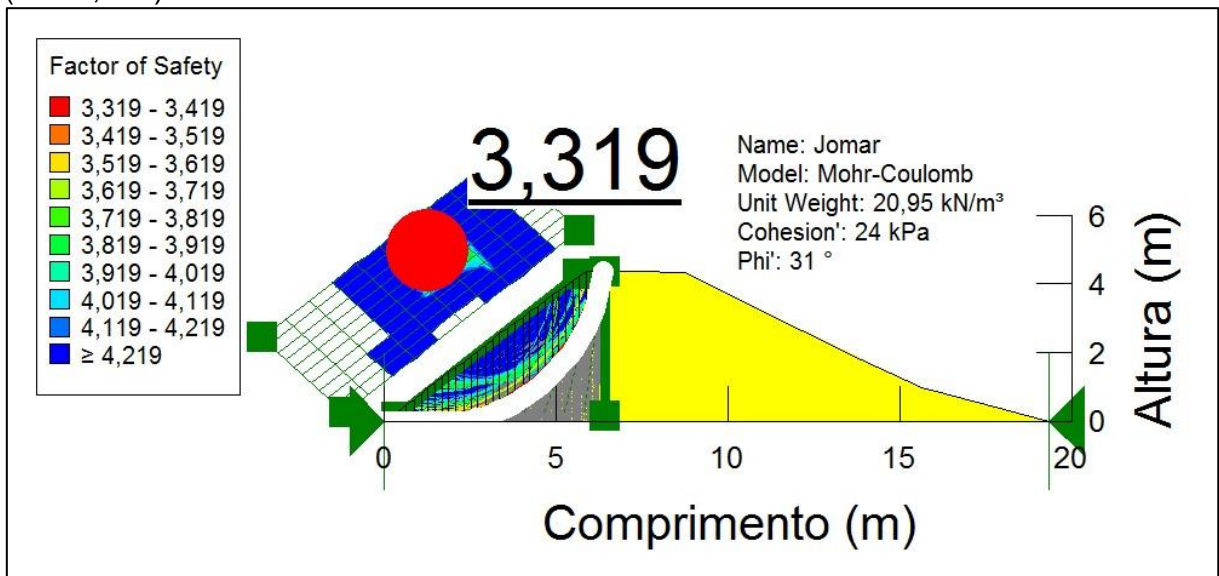


Figura J-84 – Seção 6: solo S3 sob energia Normal – Com NA - À JUSANTE (FS=1,186)

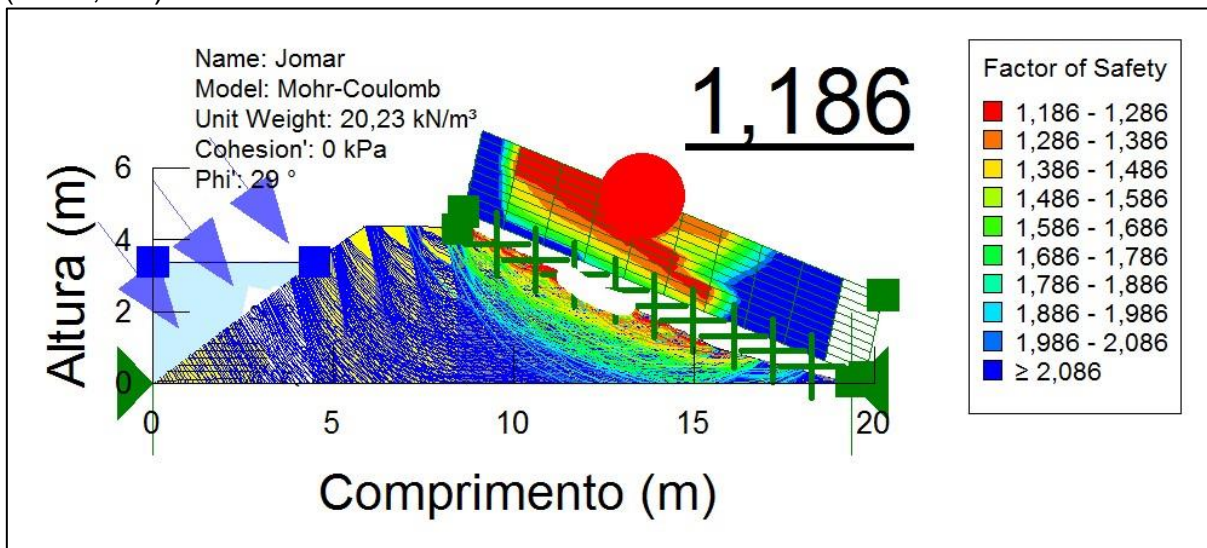


Figura J-85 – Seção 6: solo S3 sob energia Normal – Com NA - À MONTANTE (FS=0,784)

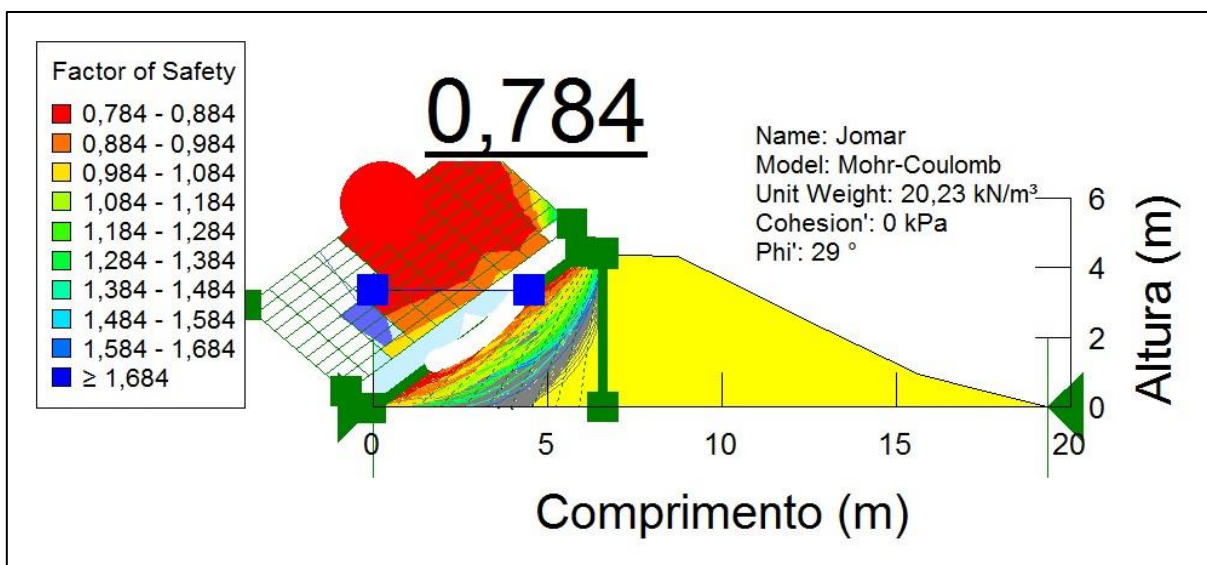




Figura J-86 – Seção 6: solo S3 sob energia Modificada – Com NA - À JUSANTE (FS=4,224)

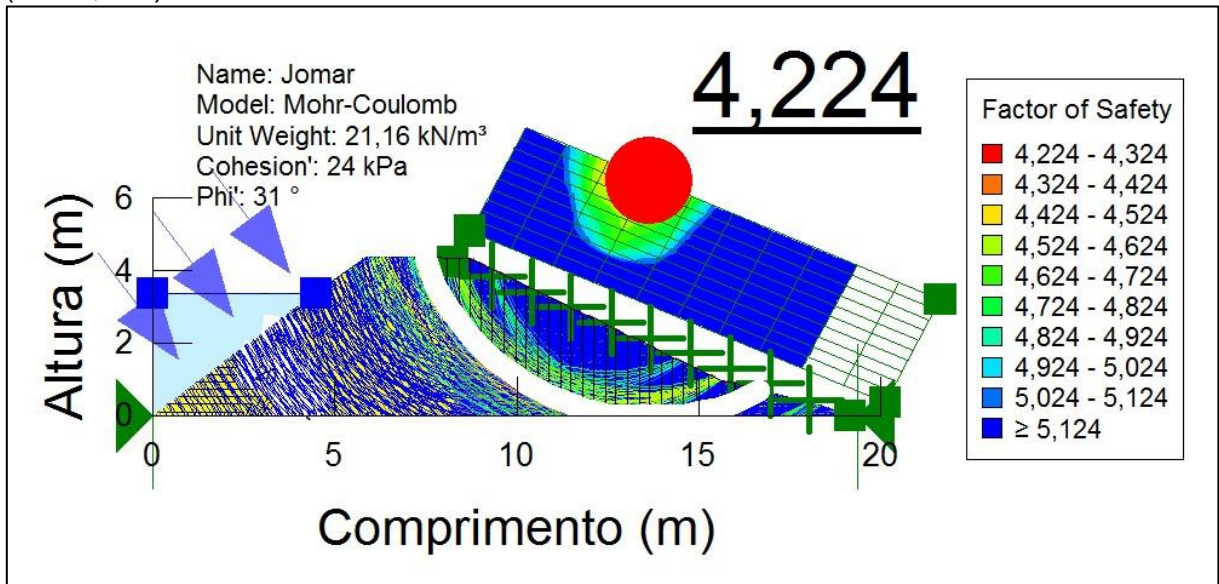


Figura J-87 – Seção 6: solo S3 sob energia Modificada – Com NA - À MONTANTE (FS=4,792)

