



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS – DECAM  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**FRANCISCO JHEFISON DO NASCIMENTO**

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE BARRAGENS DE PEQUENO PORTE – ESTUDO DE  
CASO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

MOSSORÓ

2019

**FRANCISCO JHEFISON DO NASCIMENTO**

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE BARRAGENS DE PEQUENO PORTE – ESTUDO DE  
CASO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

Monografia apresentada a Universidade  
Federal Rural do Semi-Árido como requisito  
para obtenção do título de Engenheiro Civil.

**Orientador: FELIPE AUGUSTO DANTAS DE  
OLIVEIRA**

**MOSSORÓ**

**2019**

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas  
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

NN244 Nascimento, Francisco Jhefison do.  
a ANALISE DE ESTABILIDADE DE BARRAGENS DE TERRA  
DE PEQUENO PORTE - ESTUDO DE CASO NO SEMIARIDO  
NORDESTINO / Francisco Jhefison do Nascimento. -  
2019.  
48 f. : il.

Orientador: Felipe Augusto Dantas de Oliveira.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal  
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,  
2019.

1. Barragem de Terra. 2. Estabilidade de  
taludes. 3. Inclinação. 4. Semiárido. I. Oliveira,  
Felipe Augusto Dantas de, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

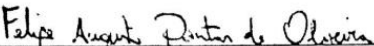
**FRANCISCO JHEFISON DO NASCIMENTO**

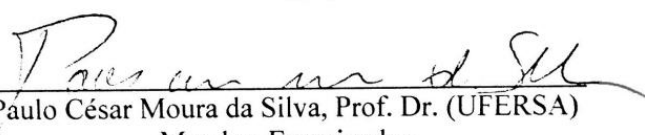
**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE BARRAGENS DE PEQUENO PORTE – ESTUDO DE  
CASO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO**

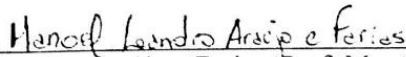
Monografia apresentada a Universidade  
Federal Rural do Semi-Árido como requisito  
para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Defendida em: 12 / 08 / 2016.

**BANCA EXAMINADORA**

  
Felipe Augusto Dantas de Oliveira, Prof. (UFERSA)  
Presidente

  
Paulo César Moura da Silva, Prof. Dr. (UFERSA)  
Membro Examinador

  
Manoel Leandro Araújo e Farias, Prof. Me. (UFERSA)  
Membro Examinador

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por ter me dado força de vontade para nunca ter desistido, mesmo em épocas difíceis, contado com apoio de poucas pessoas e quase passando dificuldades financeiras.

Agradeço ao meu orientador Felipe Augusto que me deu uma grande força, principalmente em todas as vezes em que eu pensei em desistir.

Agradeço as minhas colegas de laboratório Mirla Géssica e Amanda Cristine, que me auxiliaram e deram uma grande força na coleta de dados, nos quais sem elas não teria conseguido.

Agradeço ao meu amigo Gilvandro que sempre esteve comigo me dando conselhos para não desistir.

Agradeço aos meus pais que mesmo estando longe sempre me deram um apoio moral em especial Sr. Raimundo que mesmo enfrentando problemas de saúde sempre me deu uma moral financeira em tempos de crise.

Agradeço a minha amiga Ravena que mesmo com toda a correria do trabalho e do dia a dia parou uma manhã para me ajudar com a estrutura do trabalho.

Agradeço ao meu primo Hemerson Yuri que mesmo com muitas tarefas, casa e família para cuidar se prontificou a ir no fim de semana coletar os dados em campo quando ninguém mais foi.

É uma disciplina que promove, com visão integrada, o gerenciamento e o compartilhamento de todo o ativo de informação possuído pela empresa. Esta informação pode estar em um banco de dados, documentos, procedimentos, bem como em pessoas, através de suas experiências e habilidades.

Gartner Group

## RESUMO

Verificar os critérios que garantem a seguridade de uma barragem de terra provém quase que exclusivamente do estudo da estabilidade de taludes e também da gravidade das manifestações patológicas que existem no local. Com base nas informações obtidas a partir de estudos nessa área pode-se determinar um plano de ação capaz de proporcionar uma correção nos problemas encontrados ou nos que possam surgir. Este trabalho tem a finalidade do estudo de segurança do Açude Morada Nova, localizado no interior do município de Patu-RN. Sua geometria foi calculada baseada em modelos de medições feitas em campo e as análises do software também realizadas com esses dados além das informações obtidas de amostras coletadas para realização de ensaios de laboratório (Análise granulométrica, Compactação – Ensaio Proctor Intermediário, Frasco de areia e Umidade Speedy). Durante a realização do levantamento bibliográfico, não foram encontrados dados acerca de estudos prévios sobre estabilidade, mostrando-se então extremamente necessárias as análises desenvolvidas neste trabalho. Foram feitos os estudos de estabilidade de taludes levando em consideração o estado em que foi encontrada a barragem. O fator de segurança  $F_s$  é o principal dado que é lavado em consideração quando se deseja determinar a estabilidade de taludes, o mesmo sempre deve atingir o valor acima de 1,5 para indicar estabilidade. Através das simulações foi verificado que um dos pontos estudados apresentou uma inclinação considerada acima do recomendado, podendo acarretar problemas com relação a sua segurança. A partir das informações obtidas neste estudo, com a caracterização de tal falha, será possível o aprofundamento nos estudos, a fim de prevenir eventuais problemas que possam surgir em decorrência desta e também os órgãos governamentais caso haja algum projeto de ampliação da barragem.

**Palavras-chave:** Barragem de terra. Estabilidade de taludes. Inclinação. Semi árido.

## **ABSTRACT**

Checking the criteria that guarantee the safety of an earth dam comes almost solely on the study of slope stability and also the severity of pathological conditions that exist on site. Based on the information obtained from studies in this in this area, an action plan can be determined that can correct the problems. found, or those that may arise. This work has the purpose of the safety study of the morada nova dam, located in the interior of Patu-RN. Its geometry was calculated based on field measurement models, and software analyzes were also performed with this data in addition to information obtained from samples collected for laboratory testing. The analyzes had to be performed because during the bibliographic survey about the dam no data were found. Slope stability studies were carried out, taking into account the state in which the dam was found, and through the simulations it was verified that one of the studied points presented a slope considered above the recommended, which may cause problems regarding its safety. Therefore, according to the information obtained, it was possible to understand a specific point that needs a correction measure, even considering that the location has no indication of problems, which arouses the need to further study where they were detected. failures, in order to prevent any problems that may arise and also to guide the government agencies in case of any dam expansion project.

Keyword: Earth dam. Slope stability. Slope. Semi arid



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Elementos Básicos das Barragens.....                | 13 |
| Figura 2 – Trincas .....                                       | 17 |
| Figura 3 – Depressões .....                                    | 18 |
| Figura 4 – Erosão .....                                        | 20 |
| Figura 5 – Crescimento de Vegetação .....                      | 20 |
| Figura 6 – Tocas de Animais.....                               | 21 |
| Figura 7: Açude morada nova .....                              | 22 |
| Figura 8: Pontos de coleta das amostras .....                  | 23 |
| Figura 9: Características dos materiais .....                  | 29 |
| Figura 10: Altura da lâmina d’agua .....                       | 29 |
| Figura 11: Fator de segurança gerado pelo software .....       | 30 |
| Figura 12: Amostra do Solo do Ponto 1 após peneiramento .....  | 31 |
| Figura 13: Curva granulométrica do solo do Ponto 1 .....       | 32 |
| Figura 14: Amostra do Ponto 2 após peneiramento.....           | 32 |
| Figura 15: Curva granulométrica do solo do Ponto 2 .....       | 33 |
| Figura 16: Amostra do Ponto 3 após peneiramento.....           | 33 |
| Figura 17: Curva granulométrica do solo do Ponto 3.....        | 33 |
| Figura 18: Curva de compactação do solo do Ponto 1.....        | 35 |
| Figura 19: Curva de compactação do solo do Ponto 2.....        | 35 |
| Figura 20: Curva de compactação do solo do Ponto 3.....        | 36 |
| Figura 21: Tocas de animais.....                               | 37 |
| Figura 22: Vegetação disposta sobre o talude de jusante.....   | 38 |
| Figura 23: Vegetação disposta sobre o talude de montante ..... | 38 |
| Figura 24: Geometria do ponto 1.....                           | 39 |
| Figura 25: Geometria ponto 2.....                              | 39 |
| Figura 26: Geometria ponto 3.....                              | 40 |
| Figura 27: FS à montante e a jusante do Ponto 1. ....          | 40 |
| Figura 28: FS à montante e a jusante do Ponto 2 .....          | 40 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Resultados do ensaio do frasco de areia e <i>Speedy</i> ..... | 36 |
| Tabela 2: Medidas dos pontos em campo da figura 8.....                  | 39 |
| Tabela 3: Valores de FS utilizando o método de Bishop simplificado..... | 41 |
| Tabela 4: Valores de FS utilizando o método de Janbu simplificado.....  | 43 |

## SUMÁRIO

|          |                                                        |           |
|----------|--------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                | <b>10</b> |
| <b>2</b> | <b>OBJETIVO GERAL .....</b>                            | <b>12</b> |
| 2.1      | OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....                             | 12        |
| <b>3</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>                        | <b>13</b> |
| 3.1      | BARRAGENS .....                                        | 13        |
| 3.1.1    | Tipos de Barragem .....                                | 13        |
| 3.2      | ESTABILIDADE DE TALUDES.....                           | 15        |
| 3.3      | AValiação DE SEGURANÇA DE BARRAGENS .....              | 15        |
| 3.3.1    | Percolações.....                                       | 16        |
| 3.3.2    | Trincas .....                                          | 17        |
| 3.3.3    | Instabilidade de Taludes.....                          | 17        |
| 3.3.4    | Depressões.....                                        | 18        |
| 3.3.5    | Problemas Causados por Negligência na Manutenção ..... | 18        |
| 3.3.6    | Proteção inadequada de Taludes.....                    | 19        |
| 3.3.7    | Erosão superficial .....                               | 19        |
| 3.3.8    | Crescimento de vegetação.....                          | 20        |
| 3.3.9    | Tocas de animais.....                                  | 21        |
| <b>4</b> | <b>METODOLOGIA .....</b>                               | <b>22</b> |
| 4.2      | COLETA DE AMOSTRAS.....                                | 23        |
| 4.3      | ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....                            | 23        |
| 4.3.1    | Análise granulométrica.....                            | 24        |
| 4.3.2    | Compactação – Ensaio Proctor Intermediário .....       | 25        |
| 4.3.3    | Frasco de areia e Umidade <i>Speedy</i> .....          | 26        |
| 4.4      | CARACTERIZAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS .....     | 28        |
| 4.5      | ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES.....                | 28        |
| <b>5</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>                   | <b>31</b> |
| 5.1      | ANÁLISE GRANULOMÉTRICA .....                           | 31        |
| 5.2      | COMPACTAÇÃO – ENSAIO PROCTOR INTERMEDIÁRIO.....        | 34        |
| 5.3      | FRASCO DE AREIA E UMIDADE <i>SPEEDY</i> .....          | 36        |
| 5.4      | CARACTERIZAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS .....     | 37        |
| 5.5      | VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE.....                       | 38        |
| <b>6</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                      | <b>46</b> |
|          | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                       | 47        |

## 1 INTRODUÇÃO

A região Nordeste é umas mais assoladas pela seca, se tornando crucial a criação de mecanismos de retenção de água, porém estes ainda estão em constante aprimoramento e ainda não se tem o aproveitamento total dos recursos hídricos da nossa região, que tem origem em sua maioria das raras chuvas desta região, em oposição existem também os armazenamentos provenientes de aquíferos profundos, de chuvas que caem em bacias hidrográficas totalmente contidas na própria região. O regime de chuvas é concentrado em quatro meses durante o ano, com picos em novembro-dezembro na porção sul, março-abril na porção norte e junho-julho na parte leste do Nordeste” (ANA, 2012).

Hoje, por mais que existam esforços para melhorar o armazenamento de água nos períodos chuvosos, ainda ocorrem muitas falhas relacionadas a manutenção da estrutura, pois muitas vezes apenas se constroem tais estruturas não dando a devida manutenção, o que pode ocasionar posteriormente alguns problemas. “Em muitas obras de barragens no Brasil a ocorrência de vegetação de grande porte em maciços de terra ou em estruturas de concreto não recebe a devida importância. Entretanto tais ocorrências podem ocasionar graves problemas estruturais que, se não tratados, podem levar à deterioração e eventual falha de uma barragem”. (MEES ENGENHARIA). Analisar a segurança dessas estruturas torna-se essencial, uma vez que quando não realizada a devida manutenção as mesmas podem ter manifestações patológicas.

Este trabalho visa o estudo da segurança da barragem de terra Açude Morada Nova localizada na comunidade rural Lagoa de Pedras município de Patu interior do Rio Grande do Norte, tendo como foco estudar sua geometria, verificando os critérios de segurança, com o intuito de detectar possíveis manifestações patológicas que podem ocasionar problemas no desempenho de sua estrutura, avaliando também os aspectos positivos e negativos do impacto ambiental causado pelo barramento da massa d’água.

O estudo sobre a estabilidade da barragem se torna de crucial importância justamente pelo fato da barragem servir de auxílio na subsistência de muitas famílias contidas naquela região tendo em vista que no interior onde a maior parte da renda das famílias é a agricultura e pecuária o recurso que se torna essencial para o desenvolvimento dessas atividades é a água, apontar e estudar problemas que podem ocasionar problemas em um reservatório que é de grande importância na região torna-se essencial tendo em vista que, mesmo as pequenas famílias da região usufruindo dos recursos não dão a determinada importância para preservação e manutenção adequada do talude da barragem.

Um possível caso de ruptura do talude pode deixar em períodos de seca muitas pequenas famílias de agricultores sem ter em que trabalhar, estudar a estabilidade do maciço não só ajuda com o desenvolvimento de um plano de ação caso seja necessário a intervenção técnica em caso de necessidade mais também torna possível contar um pouco da importância que o Açude possui tendo em vista que não existem catalogados nenhum tipo de dado ou informação referente sua construção ou composição, portanto faz-se a creditar que se torna mais que necessário o desenvolvimento desse estudo de caso afim não apenas de proporcionar uma fonte de dados acerca do local mais também, o armazenamento de dados para posterior utilização em caso de manutenção ou ampliação.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Verificar a estabilidade da barragem do Açude Morada Nova localizada na zona rural do município de Patu/RN, situado no Semiárido potiguar.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudar o solo contido no maciço da barragem do Açude Morada Nova em Patu/RN;
- Caracterizar as manifestações patológicas;
- Gerar um modelo computacional da barragem com auxílio de equipamentos topográficos;
- Propor alternativas de manutenção para os problemas encontrados na barragem.

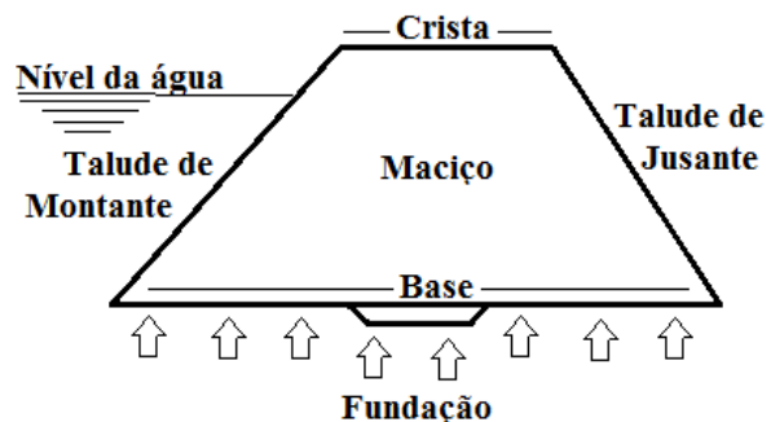
### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 BARRAGENS

Barragens são estruturas projetadas, utilizadas como reservatório para contenção e acumulação de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos provenientes do processo de beneficiamento de minérios. As barragens foram, desde o início da história da Humanidade, fundamentais para seu desenvolvimento. Descobertas arqueológicas recentes indicam que barragens simples de terra e redes de canais foram construídas já em 2.000 a.C. para fornecer às pessoas fontes confiáveis da água. Em nível mundial, algumas das barragens mais antigas de que há conhecimento situavam-se, por exemplo, no Egito, Médio Oriente e Índia (FRITZEN, 2008).

Para funcionar, as barragens precisam ter vários componentes específicos: um vertedouro, um reservatório, estruturas de descarga e uma unidade de controle.

**Figura 1 – Elementos Básicos das Barragens**



Fonte: FRITZEN, 2008

##### 3.1.1 Tipos de Barragem

De acordo com Civil (2019) as barragens se classificam quanto seu material: terra, enrocamento e concreto.

### **a) Barragens de Terra**

Barragens de terra são aquelas que possuem o solo como parte de sua constituição. E são divididas em dois tipos: zonadas, nas quais são feitos zoneamentos de materiais terrosos em função das características de permeabilidade e homogênea ou seja tipos diferentes de solos na sua composição ou quando há predominância de um único material (embora possam ocorrer elementos como filtros, Rip rap, etc.) (CIVIL, 2019).

### **b) Barragens de Enrocamento**

Consiste em um maciço formado por fragmentos de rochas compactadas em camadas cujo peso e sobreposição, propicia a estabilidade do corpo submetido ao impulso hidrostático. Podem possuir o núcleo impermeável, feito com maior parte de material rochoso e núcleo argiloso que impede a passagem de água, ou ter face impermeável, cuja vedação da água é garantida pela impermeabilização da face montante da barragem com uma camada de asfalto, chapa de aço ou outro material (CIVIL, 2019).

### **c) Barragens de concreto**

Construídas essencialmente com materiais granulares produzidos artificialmente aos quais se adicionam cimento e aditivos químicos, são divididas em cinco tipos diferentes:

- Gravidade: barragens maciças de concreto com pouca armação;
- Gravidade Aliviada: tem estrutura mais leve e é desenvolvida com o objetivo de imprimir menor pressão às fundações ou economizar concreto;
- Em contraforte: ainda mais leve que a barragem de Gravidade Aliviada, concentra em uma pequena área da fundação os esforços causados pela pressão hidrostática;
- De concreto rolado ou compactado: é uma barragem de gravidade em que o concreto é espalhado com trator de esteira e depois compactado;
- Abóbada: são aquelas cujas curvaturas ocorrem em duplo sentido, ou seja, na horizontal e na vertical. Parte das pressões hidráulicas é transmitida às ombreiras por estes arcos.



### 3.2 ESTABILIDADE DE TALUDES

Segundo Das (2014) existem cinco formas de rupturas de taludes causadas pela instabilidade: queda, que consiste no desprendimento de parte do talude; tombamentos, quando existe a rotação de parte do talude; escorregamentos, deslizamento do solo na superfície de ruptura; expansões laterais, deslizamento por translação lateral das partículas; escoamentos, “movimento, ladeira abaixo, da massa de solo, de forma similar à de fluidos viscosos.

Um dos maiores exemplos de rompimento de barragem por instabilidade de taludes, foi o reservatório de Vajont, na Itália, em 1963, a maior barragem do mundo em arco. Durante um período de intensas chuvas, o talude montando entrou em colapso, causando um escorregamento de 200 milhões de metros cúbicos de massa rochosa da estrutura. A ruptura causou a morte de três mil pessoas (MASSAD, 2010).

A superfície de ruptura pode variar de acordo com o método e material utilizado, os mais comuns são as rupturas em arco de círculos divididos em fatias ou lamelas, também conhecido como método das fatias. No estudo de estabilidade de taludes, o método mais consolidado para realizar essa análise utiliza o cálculo do Fator de Segurança (FS), baseado na relação entre as forças resistentes que se opõem a ruptura ou a resistência de cisalhamento do solo ( $s$ ), e a tensão cisalhante atuante, ou resistência mobilizada ( $\tau$ ), a qual induz a ruptura. A estabilidade depende do equilíbrio entre essas forças, como mostrado na Equação 1 (MASSAD, 2010).

$$F_s = \frac{s}{\tau} \quad (1)$$

### 3.3 AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

De acordo com o Manual de Inspeção e Segurança de Barragens, elaborado pelo Ministério da Integração - MI (2002) o objetivo da inspeção é identificar anomalias ou preocupações que afetem potencialmente a segurança da barragem. Assim, é importante inspecionar a superfície completa da área de um maciço. A técnica geral é caminhar sobre os taludes e o coroamento, tantas vezes quantas sejam necessárias, de forma a observar a superfície da área claramente. Observando o talude à distância, pode-se revelar um número de anomalias tais como: distorções nas superfícies do maciço, ausência de revestimento etc.

Segundo DAS (2014), a instabilidade do talude é atingida quando as tensões cisalhantes mobilizadas se igualam à resistência de cisalhamento, isto é, o valor de FS é igual a 1 ou inferior. Fatores externos podem contribuir para esse estado, como a redução da resistência do solo ou aumento das forças atuantes, como por exemplo: construções ou passagem de veículos no topo do talude, saturação do maciço, intemperismos, escavações no pé do talude, posição do nível da água, entre outros.

### **3.3.1 Percolações**

Percolação é o fenômeno da passagem de água pelo maciço da fundação. Esta pode se tornar um problema quando o solo é levado pelo fluxo da água, ou quando a pressão na barragem ou na fundação aumentam. Quando ela não possui um controle por drenagem interna incorporada na própria barragem e fundação é denominada percolação não controlada. (BRASIL, 2002)

#### **3.3.1.1 Tipos de Controle de Percolação:**

Segundo o (BRASIL, 2002), a percolação pode ser controlada pelos seguintes sistemas de drenagem:

- a) Drenos internos: interceptam e descarregam o fluxo com segurança. Incluem o dreno de pé, o tapete horizontal e o dreno vertical (ou inclinado).
- b) Poços de alívio: são instalados junto ao pé de jusante para reduzir os danos potenciais das supressões dos materiais mais permeáveis subjacentes à camada Trincas ou Fraturas menos permeável (argilosa). Tais subpressões podem acarretar erosão interna do material de fundação e instabilidade do maciço. Ajudam também a controlar a direção e a quantidade de fluxo sob a barragem (BRASIL, 2002).

#### **3.3.1.2 Problemas de Percolação:**

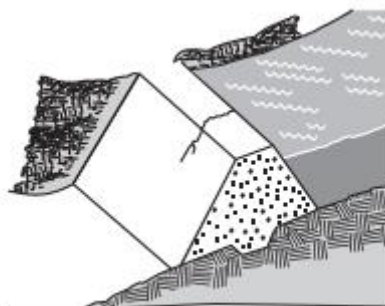
O aumento de poropressões e a saturação, tanto na fundação, quanto no maciço causam perda de resistência. Ocorrem casos que a erosão acaba removendo o material no ponto de saída, a progressão em na direção em sentido ao reservatório é denominado de piping. Pode-se notar indícios de percolação verificando ao longo do maciço áreas molhadas com vegetação em

excesso. Existem técnicas para controlar as percolações com o uso de drenos internos, estes interceptam e descarregam o fluxo no interior do maciço com segurança estão inclusos neste método o dreno de pé, o tapete horizontal e o dreno vertical e poços de alívio estes já possuem sua instalação junto ao pé de jusante com a finalidade de reduzir os danos gerados das subpressões dos materiais que tem maior permeabilidade abaixo à camada. (BRASIL, 2002).

### 3.3.2 Trincas

As trincas no maciço se enquadram nas três categorias: trincas de ressecamento (devido ao ressecamento e contração do solo), trincas transversais e trincas longitudinais. A primeira delas ocorrem na crista ou no talude de jusante; as trincas transversais são perigosas, pois prosseguem até o nível abaixo da cota de reservação, podendo criar um caminho de percolação concentrado (indicam a presença de recalques diferenciais dentro do aterro ou da fundação); o último tipo ocorre na direção paralela ao comprimento da barragem, que podem permitir a penetração de água no maciço (BRASIL, 2002). Pode -se observar na figura 2 um exemplo de trinca.

**Figura 2 – Trincas**



**Fonte: (BRASIL, 2002).**

### 3.3.3 Instabilidade de Taludes

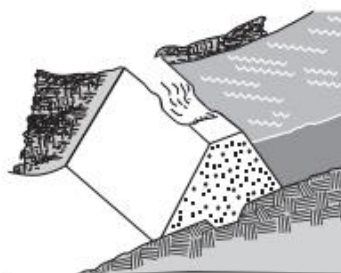
De acordo com (BRASIL, 2002) podemos classificar deslizamentos como deslocamentos que podem ocorrer em dois tipos: Ruptura superficial e Ruptura profunda. O primeiro tipo é quando ocorre no talude de montante uma ruptura superficial que causa um rebaixamento rápido com alguns deslizamentos superficiais, estes não causam ameaça à integridade da barragem, mais podem causar problemas na tomada de água, na parte mais e jusante estes deslizamentos podem causar aumento na declividade do talude acarretando perda

de resistência da estrutura, essa perda não se dá pelos deslizamentos em si mais sim pela saturação do talude, devido a percolação ou pelo fluxo superficial, fenômenos gerados pelos deslizamentos. Já o segundo é uma grande ameaça a barragem pois é caracterizado por um deslizamento íngreme onde ocorrem trincas em formato de arco sendo um movimento bem definido como rotacional e horizontal. (BRASIL, 2002).

#### **3.3.4 Depressões**

As depressões podem ser classificadas segundo o manual como localizadas (figura 3) ou abrangentes. O primeiro tipo apresenta inclinações suaves em formato de bacia, o segundo tipo apresenta lados muito íngremes por colapso devido a um vazio no solo abaixo. Estas podem ser causadas por recalque no maciço ou na fundação, tendo como resultado a diminuição da borda livre e representa respectivamente um aumento no potencial para que a barragem transborde em um período de cheias. Com a ação das ondas durante o transbordo pode ocorrer a remoção do material fino ou da camada de apoio consequentemente descalçando o maciço e formando uma depressão, a passagem d'água sobre essa superfície pode provocar erosão regressiva ou piping e consequentemente o colapso do material que está sobre a camada a jusante. (BRASIL, 2002).

**Figura 3 – Depressões**



**Fonte: (BRASIL, 2002).**

#### **3.3.5 Problemas Causados por Negligência na Manutenção**

Manutenção inclui medidas de rotina a serem tomadas para proteger e manter a barragem. As anomalias associadas à manutenção inadequada são Proteção inadequada de taludes, Erosão superficial, Crescimento de vegetação (não apropriado) e Tocas de animais (BRASIL, 2002).

### 3.3.6 Proteção inadequada de Taludes

É necessário a implementação da proteção dos taludes para prevenir a erosão na literatura existem quatro tipos básicos que podem ser implementados: Alvenaria de pedra, proteção vegetal, proteção com brita e Rip-rap (BRASIL, 2002).

**Quadro 1: Tipos de proteção inadequada de taludes**

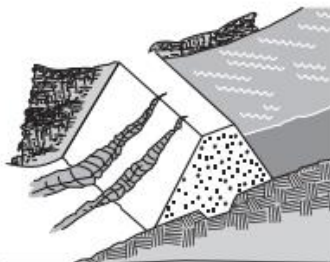
| <b>Tipo de proteção</b> | <b>Descrição</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alvenaria de pedra      | Ocasiona que a ação das ondas acaba gerando um processo de formação de praias ao pé das estruturas pela deposição do material, esse material pode ser carregado por vazios ou trincas na alvenaria provocando afundamento da proteção. Esse processo a longo prazo de forma contínua pode gerar o abatimento do talude, gerar aumento da percolação. |
| Proteção vegetal        | Ocasiona problemas de falhas na proteção do talude, pois estas podem gerar erosões profundas e estreitas que precisarão ser reparadas imediatamente.                                                                                                                                                                                                 |
| Proteção com brita      | Este processo pode ocasionar sérios problemas por falha na drenagem e também quando ocorrem dificuldades durante a compactação do material do talude.                                                                                                                                                                                                |
| Rip-rap                 | Se dá tendo como formação duas camadas de materiais, uma interna e outra externa. Enquanto a camada interna tem a função de evitar a perda do material do maciço por meio dos vazios do enrocamento, a camada externa forma uma proteção de pedras                                                                                                   |

Fonte: BRASIL, 2002.

### 3.3.7 Erosão superficial

Pode ser considerada uma das complicações mais frequentes em barragens de terra em geral. Caso essa manifestação patológica possua sua correção realizada o mais rápido possível, essa negligência pode acarretar no surgimento de graves problemas, pois estas são causadores de trincas e fissuras no coroamento, e, isto pode ocasionar o encurtamento da percolação devido a redução da seção transversal do maciço de terra. Na figura 4 pode ser observado erosões superficiais causadas no talude a montante devido a falta de proteção do talude.

**Figura 4 – Erosão**



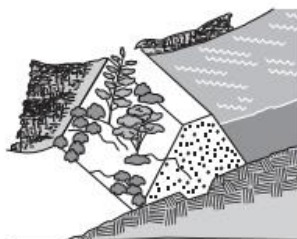
**Fonte: (BRASIL, 2002).**

### **3.3.8 Crescimento de vegetação**

O aparecimento da cobertura vegetal nos taludes deverá ter sua prevenção a todo custo, devido a este fenômeno provocar manifestações patológicas do tipo de trincas afundamentos deflexões ou mal funcionamento na drenagem aumentando o risco de colapso da estrutura.

Proporciona a capacidade de adequação de exercícios de operação normal e de emergência visando a manutenção. O crescimento das raízes pode ser um problema pois ele gera um encurtamento do caminho de percolação quando as árvores morrem, o crescimento da vegetação é necessário para que se possa ter uma proteção superficial porém se essa proteção não for controlada pode acarretar nesses problemas. Na figura 5 pode ser verificado o fenômeno do crescimento da vegetação.. (BRASIL, 2002).

**Figura 5 – Crescimento de Vegetação**

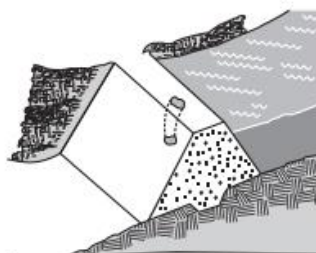


**Fonte: (BRASIL, 2002).**

### 3.3.9 Tocas de animais

Podem até levar à ruptura da barragem por erosão interna (piping) quando passagens ou ninhos de animais fazem a conexão do reservatório com o talude de jusante ou o encurtamento dos caminhos de percolação ou penetram no núcleo central da barragem. Na figura 6 pode ser observado o fenômeno.

**Figura 6 – Tocas de Animais**



**Fonte: (BRASIL, 2002).**

#### 4 METODOLOGIA

A pesquisa pode ser classificada como quali-quantitativa de caráter exploratória, isto é, será realizada, primordialmente, por meio de material bibliográfico encontrado em livros, artigos e consultas na internet.

A pesquisa será realizada no município de Patu, localizado no estado do Rio Grande do norte. A população atual do município é estimada em 11664 habitantes (IBGE 2010), com uma área territorial corresponde a 319,129 km<sup>2</sup> a cidade possui como principal ponto turístico a serra do lima onde fica localizado o Santuário Nossa Senhora dos Impossíveis, conhecido como *Santuário do Lima*.

É na zona rural de Patu que estará localizada a barragem Morada Nova, objeto do estudo em questão. Ensaios de caracterização do maciço foram realizados para obtenção das propriedades do solo utilizado em sua construção, para então ser possível a determinação dos fatores de segurança dos taludes e também possibilitar a verificação de possíveis manifestações patológicas que possam surgir, proporcionado assim a seleção de uma alternativa manutenção e preservação apropriada.

Logo em seguida, métodos computacionais foram utilizados para obter a estabilidade da barragem de terra do açude Morada Nova através de suas medidas (altura, largura da base, largura da crista, inclinações).

**Figura 7: Açude morada nova**



**Fonte: Google (2019)**

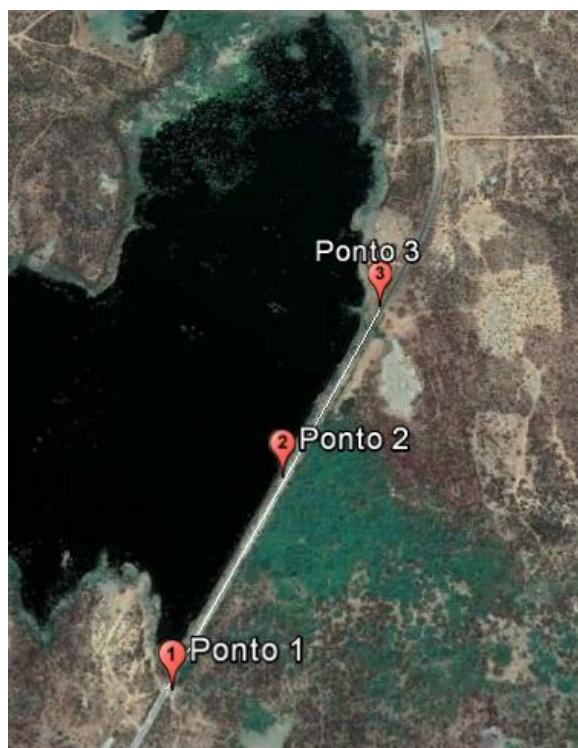


## 4.2 COLETA DE AMOSTRAS

A amostra foi coletada preservando o máximo as características do material usando saco de ráfia, o material será coletado a jusante do talude da barragem para serem verificadas as características do solo. Após coletadas, as amostras foram preservadas em local coberto, impedindo a entrada ou saída de umidade do material, além de se evitar segregação.

Foram escolhidos 3 pontos para coleta de dados no talude da barragem, nestes pontos serão coletados material tanto à montante e à jusante, em quantidade suficiente para realização dos ensaios contidos no item 4.3. Estes pontos, como exibido na Figura 8, estão localizados na ombreira esquerda da barragem (PC1 – ponto de coleta 1), centro (PC2 – ponto de coleta 2) e ombreira direita (PC3 – ponto de coleta 3).

**Figura 8: Pontos de coleta das amostras**



**Fonte: Google (2019)**

## 4.3 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

Serão realizados ensaios para caracterização do maciço da barragem para verificar as condições em que os taludes de montante e jusante se encontram. Os ensaios serão realizados

no Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação (LAMESP) da UFERSA campus Central, para realização dos ensaios foram coletados 10kg de amostra de cada ponto a jusante do talude na Figura 8 pode se observar onde foram os pontos de coleta

#### **4.3.1 Análise granulométrica**

Como a barragem a ser estudada não possuía nenhum tipo de informação acerca das propriedades do solo, foi necessário realizar a análise granulométrica dos 3 pontos de estudo, possibilitando assim a caracterização do solo que compõe o maciço de terra. Seguindo o ensaio normatizado pela NBR 248 (ABNT, 2003). Granulometria é o termo utilizado para medir a proporção relativa, em porcentagem, dos diferentes tamanhos dos grãos que constituem o agregado. A composição granulométrica tem grande influência nas propriedades futuras das argamassas e concretos. É determinada por meio de peneiramento, através de peneiras com determinada abertura constituindo uma série padrão, Coletar a amostra de agregado conforme a NBR NM 26. Da amostra remetida ao laboratório, depois de umedecida para evitar segregação e de cuidadosamente misturada, formar duas amostras para o ensaio, de acordo com a NBR NM 27.

Secar as amostras de ensaio em estufa (105 - 110) °C, esfriar à temperatura ambiente e determinar suas massas. Encaixar as peneiras previamente limpas, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo. Prover um fundo de peneiras adequado para o conjunto. Colocar a amostra ou porções dela sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar a formação de camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras. Se o material apresentar quantidade significativa de materiais pulverulentos, ensaiar previamente as amostras conforme a NBR NM 46. Considerar o teor de materiais pulverulentos no cálculo da composição granulométrica.

Promover a agitação mecânica do conjunto por um tempo razoável, para permitir a separação e classificação prévia dos diferentes tamanhos de grão da amostra. Destacar e agitar manualmente a peneira superior do conjunto (com tampa e fundo falso encaixados) até que, após 1min de agitação contínua, a massa de material passante pela peneira seja inferior a 1% da massa do material retirado. A agitação da peneira deve ser feita em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto no vertical e inclinado. Se as dimensões da peneira não permitirem estes movimentos.

Remover o material retido na peneira para uma bandeja identificada. Escovar a tela em ambos os lados para limpar a peneira. O material removido pelo lado interno é considerado como retido (juntar na bandeja) e o desprendido na parte inferior como passante.

Proceder à verificação da próxima peneira, depois de acrescentar o material passante na peneira superior, até que todas as peneiras do conjunto tenham sido verificadas

Determinar a massa total de material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto. O somatório de todas as massas não deve diferir mais de 0,3 % da massa seca da amostra, inicialmente introduzida no conjunto de peneiras.

Se não for possível a agitação mecânica do conjunto, classificar manualmente toda a amostra em uma peneira para depois passar à seguinte. Agitar cada peneira, com amostra ou porção desta, por tempo não inferior a 2 min.

#### **4.3.2 Compactação – Ensaio Proctor Intermediário**

Para calcular a o teor de umidade ótima foram realizados ensaios do tipo Proctor intermediário seguindo recomendações da NBR 7182, em todos os pontos onde foram coletadas as amostras da Figura 8. Para realizar o ensaio toma-se uma certa quantidade de material seco ao ar e faz-se o destorroamento até que não haja torrões maiores que 4,8mm, Peneira-se a amostra na peneira no.4 (4,8mm) e em seguida determina-se sua umidade higroscópica. Adiciona-se água à amostra até se verificar uma certa consistência. Deve-se atentar para uma perfeita homogeneização da amostra, Compacta-se a amostra no molde cilíndrico em 5 camadas iguais (cada uma cobrindo aproximadamente um quinto do molde), aplicando-se em cada uma delas 25 golpes distribuídos uniformemente sobre a superfície da camada, com o soquete caindo de 0,305m, Remove-se o colarinho e a base, aplaina-se a superfície do material à altura do molde e pesa-se o conjunto cilindro + solo úmido compactado, Retira-se a amostra do molde com auxílio do extrator, e partindo-a ao meio, coleta-se uma pequena quantidade para a determinação da umidade, Desmancha-se o material compactado até que possa ser passado pela peneira no.4 (4,8mm), misturando-o em seguida ao restante da amostra inicial (para o caso de reuso do material), Adiciona-se água à amostra homogeneizando-a (normalmente acrescenta-se água numa quantidade da ordem de 2% da massa original de solo, em peso). Repete-se o processo pelo menos por mais quatro vezes.

### 4.3.3 Frasco de areia e Umidade *Speedy*

Para comparação com os resultados da seção 4.3.2, foram realizados os ensaios de frasco de areia para obtenção do peso específico aparente seco e do método *Speedy*, de acordo com as normas NBR 7185 e NBR 6457.

*Determinação da massa de areia que preenche o funil e o orifício do rebaixo da bandeja:*

- Montou-se o conjunto frasco + funil, estando o frasco cheio de areia, determinou-se sua massa com resolução de 1 g e anotou-se M1.

- Foi instalado o conjunto frasco + funil, de modo que o funil foi apoiado no rebaixo da bandeja, e colocado sobre uma superfície plana. Foi aberto o registro, deixando a areia escoar livremente até cessar o seu movimento no interior do frasco. Fechou-se o registro, retirou-se o conjunto frasco + funil, e anotou-se M2 a massa com resolução de 1g da areia restante.

- A massa da areia deslocada, que preencheu o funil e o orifício no rebaixo da bandeja foi:

$$M3 = M1 - M2$$

- Repetiu-se o processo mais duas vezes. A massa de areia que passou a ser usada a seguir foi uma média dessas três determinações.

*Determinação da massa específica aparente da areia:*

- Montou-se o conjunto frasco + funil, estando o frasco cheio de areia, determinou-se sua massa com resolução de 1 g e anotou-se M4.

- Foi instalado o conjunto frasco + funil, de modo que o funil foi apoiado no rebaixo da bandeja, e colocado esta sobre a borda de um cilindro metálico de volume conhecido (V). Abriu-se o registro, deixando a areia escoar livremente até cessar o seu movimento no interior do frasco. Fechou-se o registro, retirando-se o conjunto frasco + funil e determinando M5 a massa com resolução de 1g da areia restante.

- A massa de areia que preenche o cilindro de volume conhecido foi:

$$M6 = M4 - M5 - M3$$

- Repetiu-se o processo mais duas vezes. A massa de areia que passou a ser usada a seguir foi uma média dessas três determinações.

- Massa específica da areia:

$$\gamma_{ar} = M6 / V$$

Onde:

$\gamma_{ar}$  = Massa específica aparente da areia, em g/cm<sup>3</sup>;

M6 = Massa da areia que preencheu p cilindro, em g;

V = Volume do cilindro, em cm<sup>3</sup>.

*Determinação da massa de areia que preenche a cavidade no terreno:*

- Foi limpada para tornar o máximo possível, a superfície de coleta, plana e horizontal, e verificada com um nível de bolha.

- Colocou-se a bandeja em contato com a superfície do terreno e foi escavado em torno do orifício central com uma talhadeira, martelo e concha de mão, uma cavidade cilíndrica no terreno, limitada pelo orifício central da bandeja, com uma profundidade de 15 cm.

- Recolheu-se cuidadosamente na bandeja o solo extraído da cavidade, determinou-se sua massa com resolução de 1 g e anotou-se Mh.

- Foi determinado o teor de umidade, h, do solo extraído da cavidade, conforme prescreve a NBR 6457.

- Montou-se novamente o conjunto frasco + funil, estando o frasco cheio de areia, determinando sua massa com resolução de 1 g e anotado M7.

- Foi novamente instalado o conjunto frasco + funil, de modo que o funil ficou novamente apoiado no rebaixo da bandeja. Abriu-se o registro do frasco, deixando a areia escoar livremente até cessar o seu movimento no interior do frasco. Fechou-se o registro, retirando-se o conjunto frasco + funil e determinando M8 a massa com resolução de 1g da areia restante.

- A massa de areia deslocada que preencheu o funil, o orifício no rebaixo da bandeja e a cavidade no terreno foi:

$$M9 = M7 - M8$$

- A massa de areia deslocada, que preencheu a cavidade do terreno foi:

$$M10 = M9 - M3$$

Cálculos:

$$\gamma_s = \gamma_{ar} \times (Mh / M10) \times (100 / 100 + h)$$

Onde:

$\gamma_s$  = Massa específica aparente seca , do solo “in situ”, em g/cm<sup>3</sup>;

$\gamma_{ar}$  = Massa específica aparente da areia, em g/cm<sup>3</sup> obtida;

Mh = Massa do solo extraído da cavidade no terreno, em g;

M10 = Massa da areia que preencheu a cavidade no terreno, em g;

h = Teor de umidade do solo extraído da cavidade no terreno, em %

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

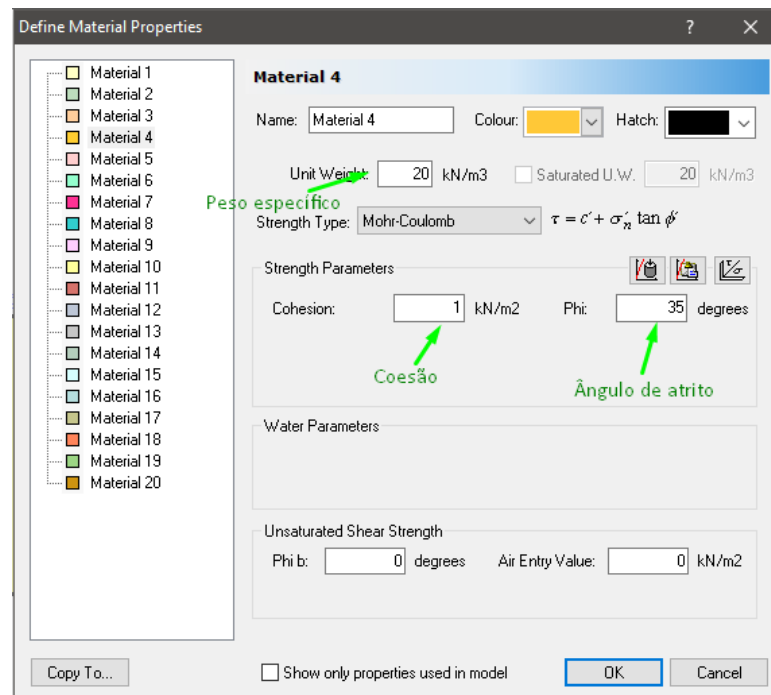
Como o objetivo principal era verificar as condições de segurança antes de executar a caracterização das manifestações patológicas não foi utilizado nenhum tipo de ficha previamente preparada, foi apenas feito uma verificação superficial do talude a medida em que os dados de sua geometria e as amostras eram coletadas como mostra a Figura 8.

#### 4.5 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DE TALUDES

Será utilizado o *Software Rocscience Slide 6.0* versão *Trial* para verificação da estabilidade dos taludes da barragem, tendo como base medições topográficas realizadas em campo com auxílio de duas trenas, uma com capacidade de medição de 100m para calcular o comprimento do talude e outra com capacidade de 50m para medir as respectivas alturas: montante, crista e jusante. Essa medição foi necessária pela falta de projetos (execução ou ampliação) para a barragem em estudo. Além disso, utilizou-se o *Global Positioning System* (GPS) com precisão de 3 metros para marcar as coordenadas dos pontos onde foi feita a coleta dos dados.

Primeiramente, para análise de estabilidade de taludes, inseriu-se no programa as características do solo para cada um dos três pontos coletados. Devido à falta do equipamento para o ensaio de compressão triaxial no LAMESP, estimou-se a coesão e ângulo de atrito de acordo com o tipo de material encontrado na barragem em estudo. A Figura 9 mostra a inserção das propriedades dos materiais no *software*.

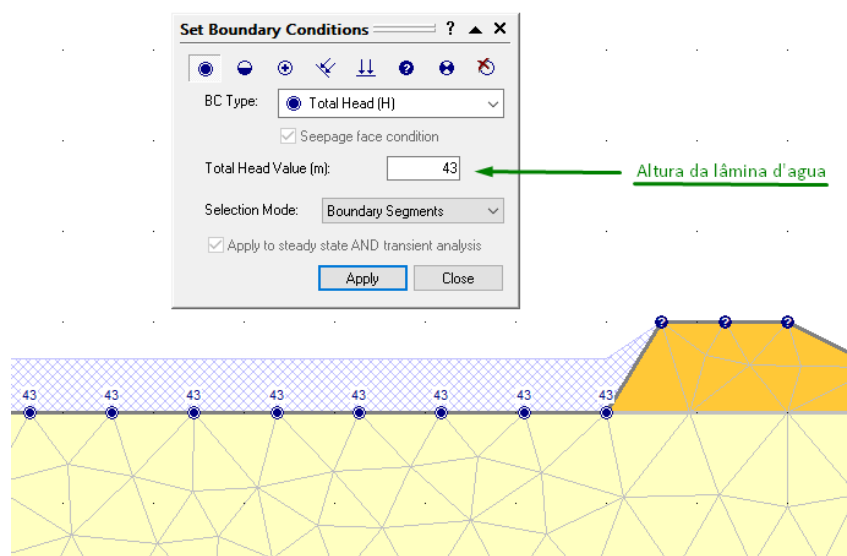
**Figura 9: Características dos materiais**



Fonte: do autor.

Outro fator a ser considerado foi a altura da lâmina d'água, isto é, a altura entre o pé da barragem até o vertedouro. Como a cota até o pé da barragem adotada no *software* foi de 40 metros, adotou-se uma carga total (*total head*) de 43 metros. A Figura 10 exibe interface do programa para inserção da carga total, para simular a carga d'água.

**Figura 10: Altura da lâmina d'água**

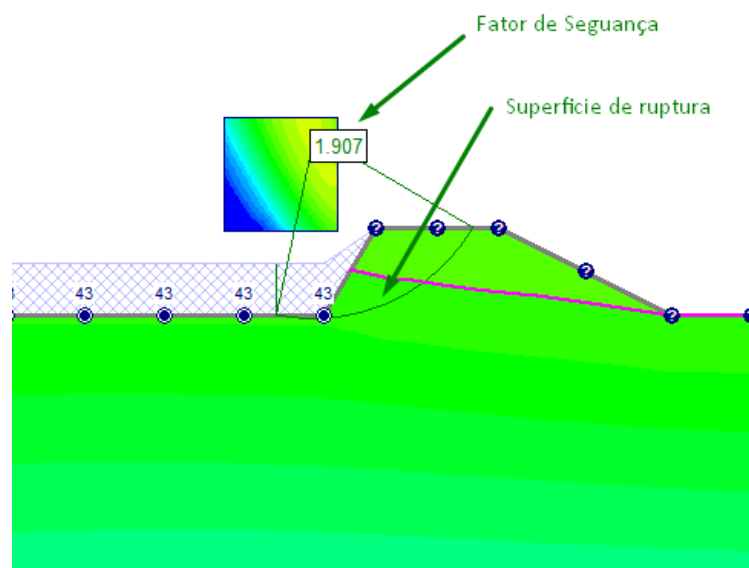


Fonte: do autor.

Com a geometria já inserida, além das propriedades dos materiais e do valor da carga total, procedeu-se para a verificação do fator de segurança (FS) a partir dos métodos Bishop simplificado e Janbu simplificado, para então gerar os gráficos necessários para análise a partir da interface *Interpret* do programa.

Ao final de todas as simulações, o software gera uma tela mostrando os resultados e apresenta o Fator de Segurança (FS) no centro do círculo que gera a superfície de ruptura como pode ser observado na Figura 11.

**Figura 11: Fator de segurança gerado pelo software**



**Fonte: do autor.**



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Os resultados obtidos seguindo o ensaio normatizado pela NBR 248, foram os seguintes resultados.

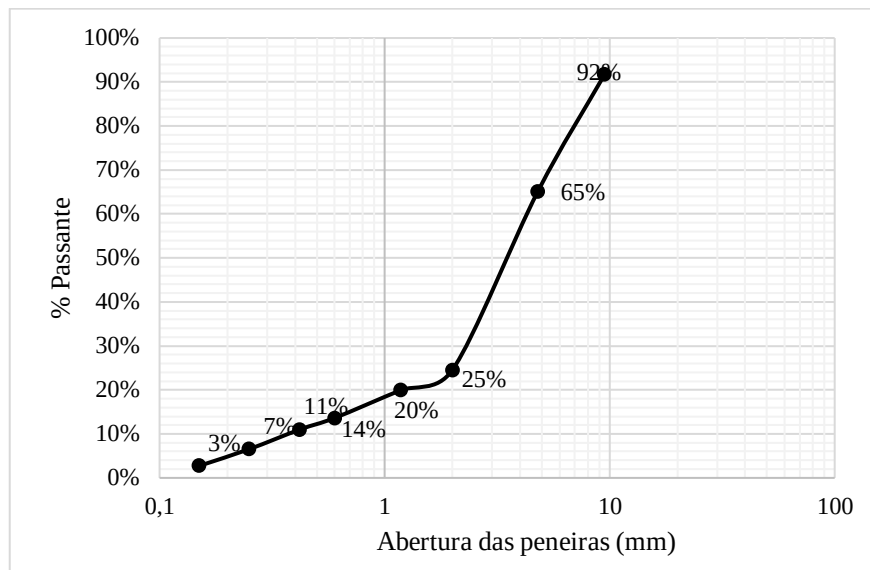
**Figura 12: Amostra do Solo do Ponto 1 após peneiramento**



**Fonte: do autor.**

Com a amostra do Ponto 1 devidamente preparada segundo a norma foi obtida a curva granulométrica apresentada na Figura 12.

**Figura 13: Curva granulométrica do solo do Ponto 1**



**Fonte: do autor.**

De acordo com a Figura 13, verificou se que a maior parte do solo ficou retido nas peneiras 4,8mm e 2mm para a amostra do ponto estudado, implicando que o solo possui uma grande quantidade de material arenoso grosso. A curva granulométrica, bem como a Figura 14, evidenciou também que o solo possui uma boa graduação, visto que não possui grandes descontinuidades ou uniformidades em sua composição.

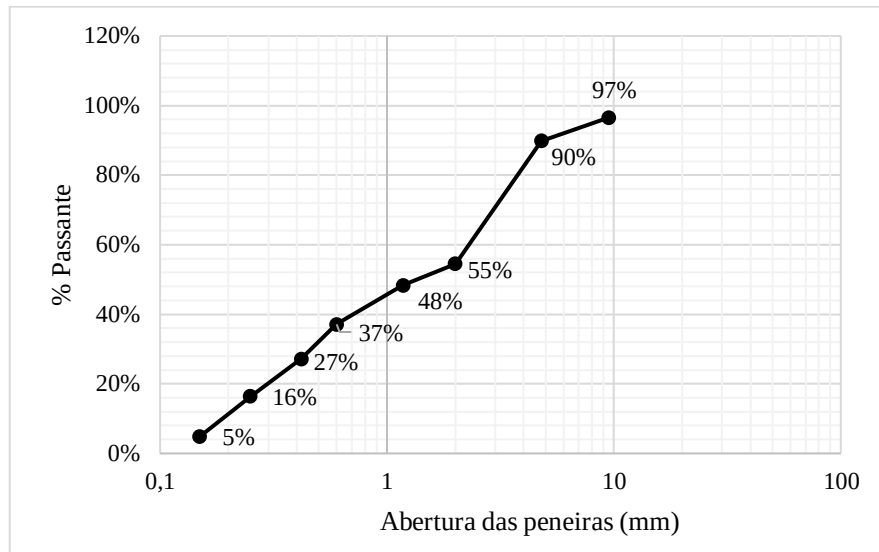
**Figura 14: Amostra do Ponto 2 após peneiramento**



**Fonte: do autor.**

Repetiu se o processo também para o material do Ponto 2, obtendo-se a seguinte curva granulométrica mostrada na Figura 15.

**Figura 15: Curva granulométrica do solo do Ponto 2**



**Fonte: do autor.**

Pode-se constatar que o material do Ponto 2 é bastante semelhante ao material do Ponto 1, evidenciando praticamente a mesma granulometria utilizado tanto na ombreira direita da barragem quanto no centro dela. Em outras palavras, o material também tem altas porcentagens de areia grossa, sendo um material bem graduado.

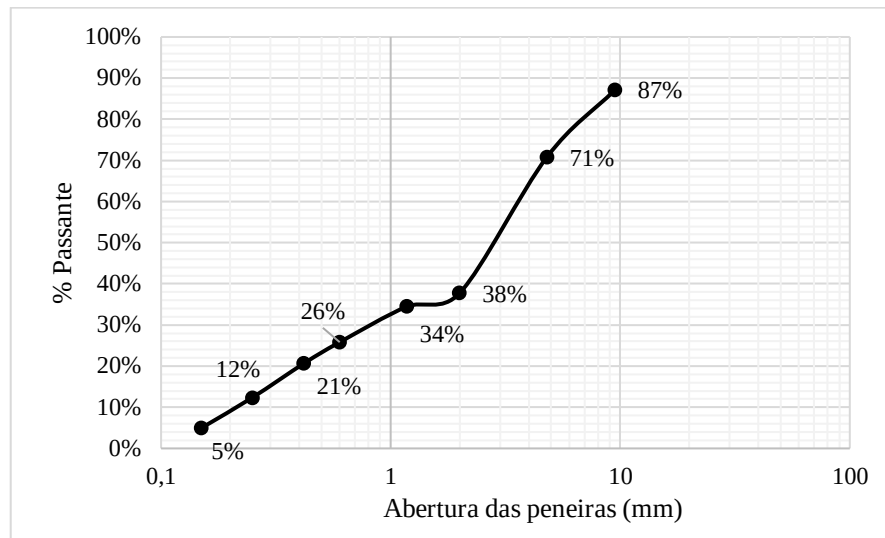
**Figura 16: Amostra do Ponto 3 após peneiramento**



**Fonte: do autor.**

No material do Ponto 3 também foi realizado o mesmo procedimento obtendo-se os seguintes valores mostrados na Figura 17.

**Figura 17: Curva granulométrica do solo do Ponto 3**

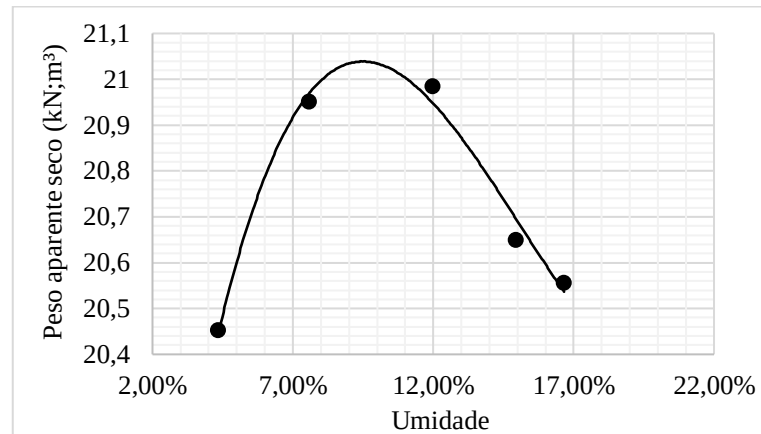


**Fonte: do autor.**

Mais uma vez praticamente não houve diferença entre a composição dos solos, podendo se então afirmar que nos três pontos de coleta (mesmo com algumas poucas diferenças) o solo manteve praticamente as mesmas características geotécnicas quanto a sua granulometria. Pode-se afirmar, então, que o maciço da barragem é composto por material bem graduado, com grande predominância, em massa, de areia grossa.

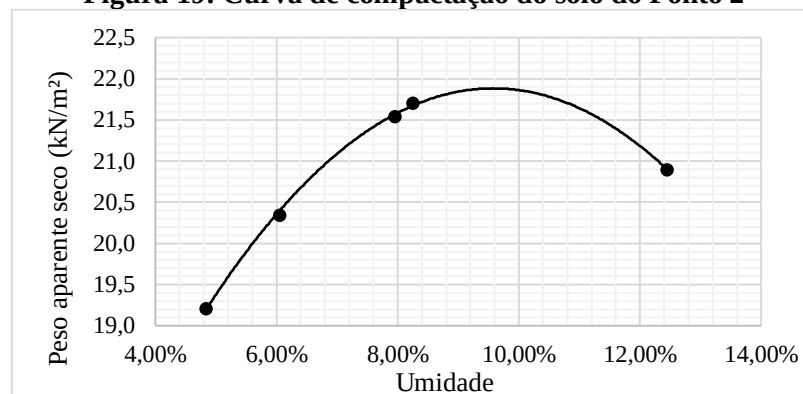
## 5.2 COMPACTAÇÃO – ENSAIO PROCTOR INTERMEDIÁRIO

Com os ensaios realizados foi possível obter os resultados mostrados na Figura 18, Figura 19 e Figura 20.

**Figura 18: Curva de compactação do solo do Ponto 1**

**Fonte: do autor.**

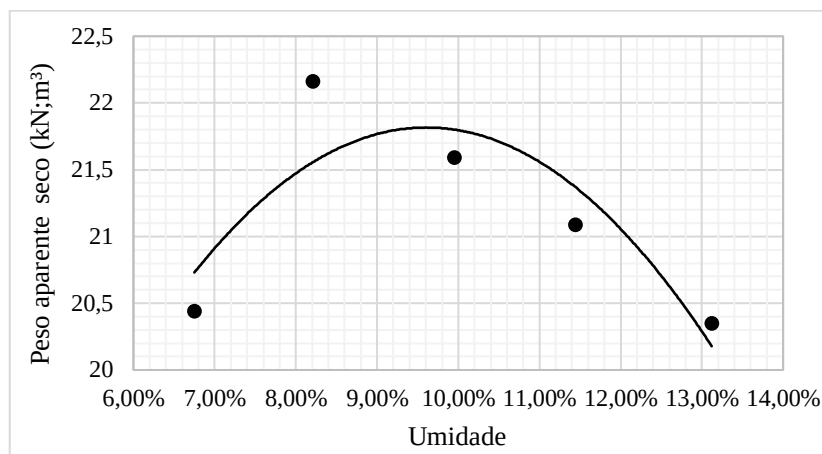
Para a confecção do gráfico da Figura 18 determinou-se a umidade inicial da amostra obtida em campo, ficando em torno de 4,35%, sendo assim adicionou-se cerca de 2,5% de água (em massa) para a obtenção dos outros pontos do ensaio. Dessa forma, obteve-se o teor de umidade ótima na ordem de 9,5%, bem como um peso específico aparente seco de 21,04 kN/m³.

**Figura 19: Curva de compactação do solo do Ponto 2**

**Fonte: do autor.**

Para a confecção do gráfico da Figura 19 mais uma vez seguiu-se o procedimento adotado na amostra do Ponto 1 (Figura 18), onde a umidade inicial da amostra ficou em torno de 4,8%. Obteve-se então o teor de umidade ótima na ordem de 9,6%, bem como um peso específico aparente seco de 21,90 kN/m³.

**Figura 20: Curva de compactação do solo do Ponto 3**



**Fonte: do autor.**

Já para a amostra do Ponto 3, a umidade inicial se mostrou bem alta, com um valor 6,75%. Após os incrementos de 2,5% percebeu-se, a partir do gráfico da Figura 20, que a umidade ótima deste solo é de 9,6% para um peso específico aparente seco de 21,8 kN/m³.

### 5.3 FRASCO DE AREIA E UMIDADE *SPEEDY*

Para comparação com os resultados do Proctor intermediário da seção 5.2, foram realizados os ensaios de frasco de areia para obtenção do peso específico aparente seco e do método *Speedy*, de acordo com as normas NBR 7185 e NBR 6457. Obteu-se, dessa forma, os resultados exibidos na Tabela 1**Erro! Fonte de referência não encontrada.**

**Tabela 1: Resultados do ensaio do frasco de areia e *Speedy***

| Ensaio                                         | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 |
|------------------------------------------------|---------|---------|---------|
| Massa específica aparente úmido (g/cm³)        | 13,39   | 15,44   | 11,17   |
| Massa específica aparente do solo seco (g/cm³) | 13,19   | 14,09   | 10,06   |
| Umidade (%)                                    | 1,50    | 2,00    | 4,00    |

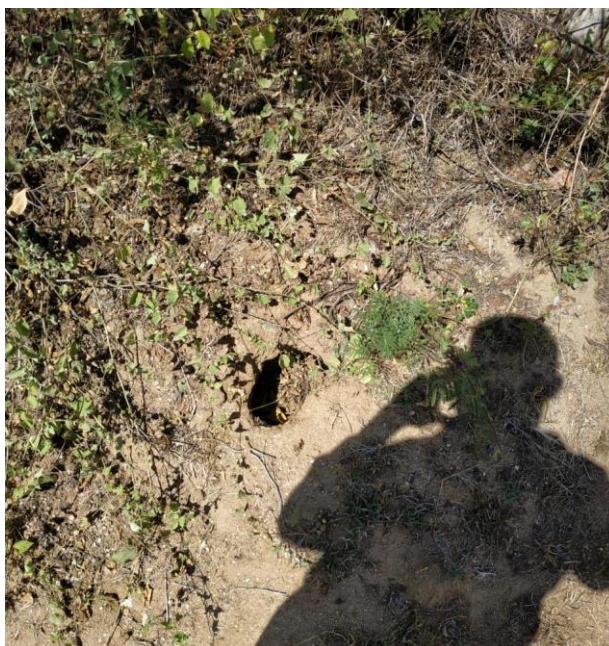
**Fonte: do autor.**

A partir dos dados da Tabela 1**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, percebeu-se que, em campo, as umidades estavam bem abaixo das obtidas em laboratório, um resultado já esperado, visto que no dia da verificação o solo estava bastante seco, devido a vários dias sem chuva. Além disso, o peso específico obtido foi muito abaixo do peso específico máximo obtido em laboratório, gerando graus de compactação médio da ordem de 67%, algo totalmente inaceitável para uma barragem, mesmo que de pequeno porte.

#### 5.4 CARACTERIZAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Dos dois lados do talude foram detectadas várias imperfeições relacionadas a escavações realizadas pela própria população. Esta retirada de material de aterro dos taludes geralmente tem o intuito de fechar as panelas encontradas na RN-078, que passa na crista da barragem. Também foram detectadas uma grande quantidade de árvores de grande porte (Figura 22 e Figura 23), tanto a montante quanto a jusante, o que pode gerar problemas de percolação. Além disso, foram encontradas algumas tocas de animais ao longo dos 640 metros do talude, como exibido na Figura 21. Um ponto importante a se mencionar é que os taludes, não apresentaram trincas ou fissuras; essa ausência está relacionada à camada de vegetação densa que se encontra distribuída ao longo de todo o comprimento dos taludes, também exibido na Figura 22**Erro! Fonte de referência não encontrada.** e na Figura 23**Erro! Fonte de referência não encontrada.**

**Figura 21: Tocas de animais**



**Fonte: do autor.**



**Figura 22: Vegetação disposta sobre o talude de jusante**



**Fonte: do autor.**

**Figura 23: Vegetação disposta sobre o talude de montante**



**Fonte: do autor.**

## 5.5 VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE

Como citado anteriormente na Figura 8, foram marcados 3 pontos para retiradas de amostras, além dos dados da seção, com auxílio do *Google Earth* e outras ferramentas já citadas. As medidas encontradas estão exibidas na Tabela 2.



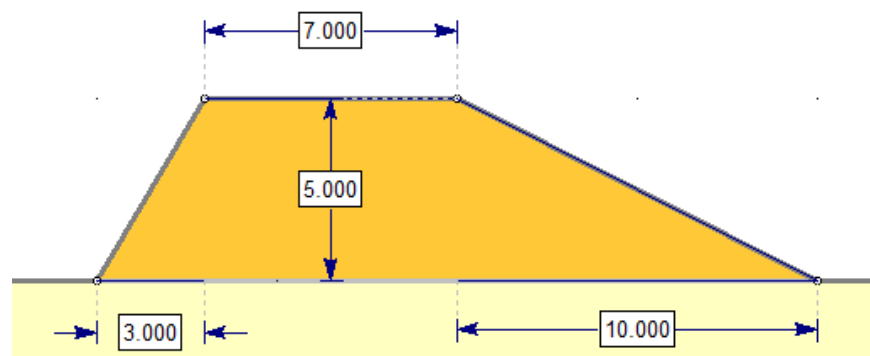
**Tabela 2: Medidas dos pontos em campo da figura 8**

| Seção   | Montante | Crista | Jusante | Total (metros) |
|---------|----------|--------|---------|----------------|
| Ponto 1 | 6,3      | 7,0    | 8,1     | 21,4           |
| Ponto 2 | 15,1     | 8,0    | 18,1    | 41,2           |
| Ponto 3 | 18,4     | 7,5    | 17,0    | 38,9           |

Fonte: do autor.

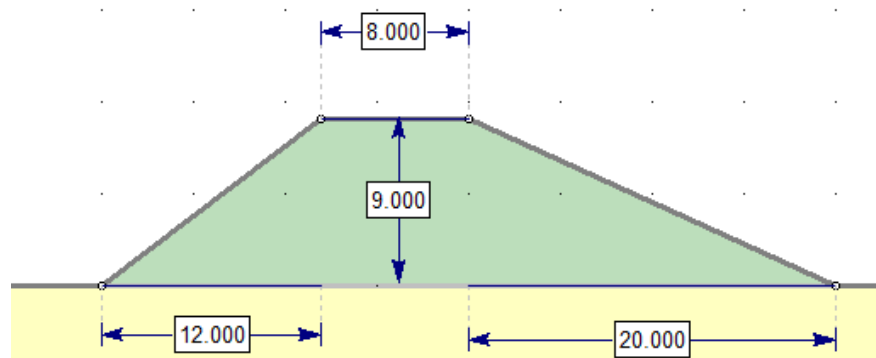
Com os dados da Tabela 2 gerou-se as seguintes geometrias contidas na Figura 24, Figura 25 e Figura 26.

**Figura 24: Geometria do ponto 1**



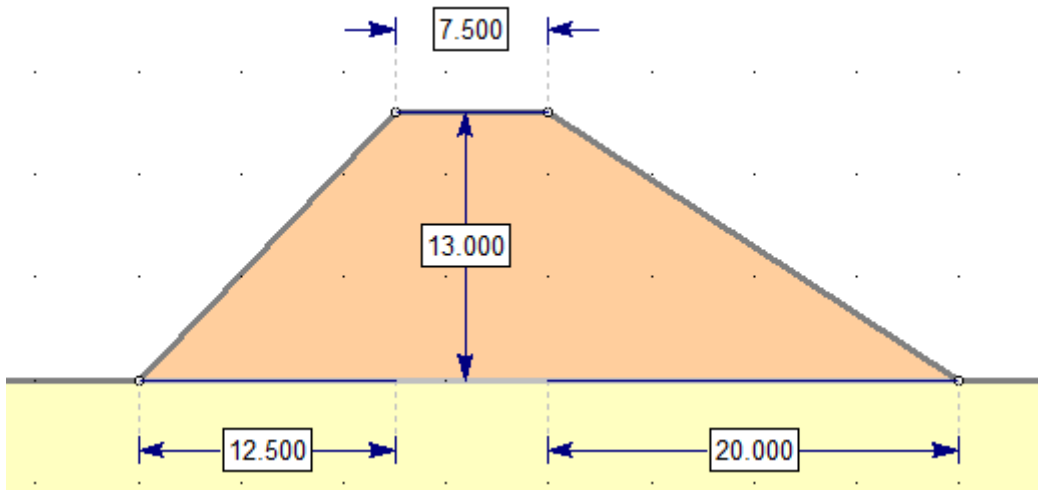
Fonte: do autor.

**Figura 25: Geometria ponto 2**



Fonte: do autor.

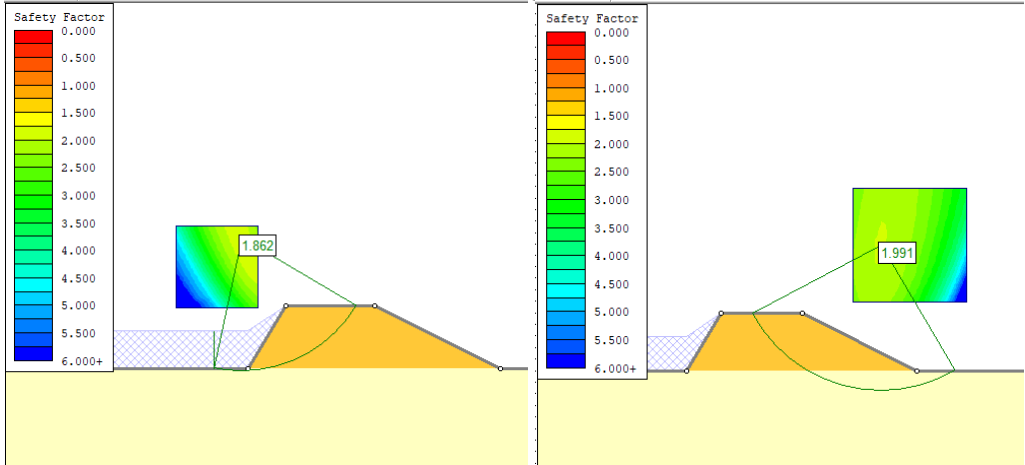
Figura 26: Geometria ponto 3



Fonte: do autor.

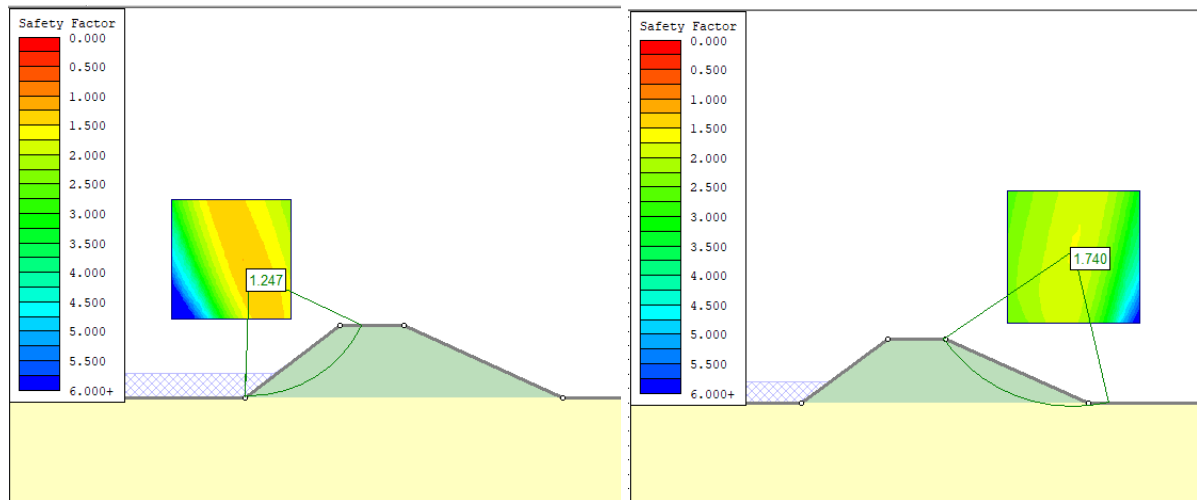
Percebe-se, pela Tabela 2, a própria declividade do terreno da região, visto que a barragem possui seções com alturas diferentes, sendo a ombreira esquerda (Ponto 3) a mais alta de todas as seções e a ombreira direita (Ponto 1) a mais baixa. As Figura 27 à **Erro! Fonte de referência não encontrada.** exibidas abaixo mostram o *Safety Factor* (FS) para os taludes à montante e jusante analisados pelo método de Bishop simplificado.

Figura 27: FS à montante e a jusante do Ponto 1.



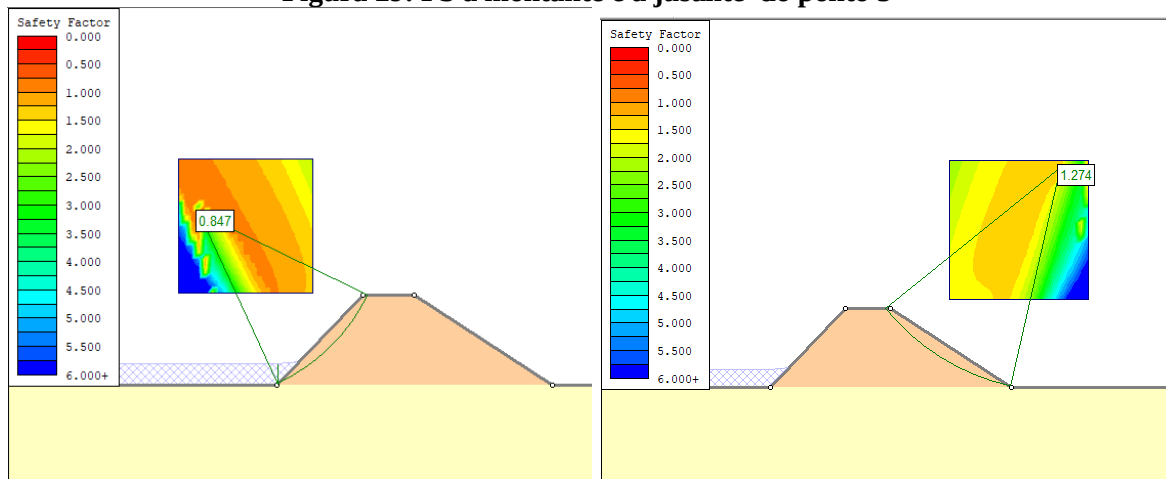
Fonte: do autor.

Figura 288: FS à montante e a jusante do Ponto 2



Fonte: do autor.

**Figura 29: FS à montante e a jusante do ponto 3**

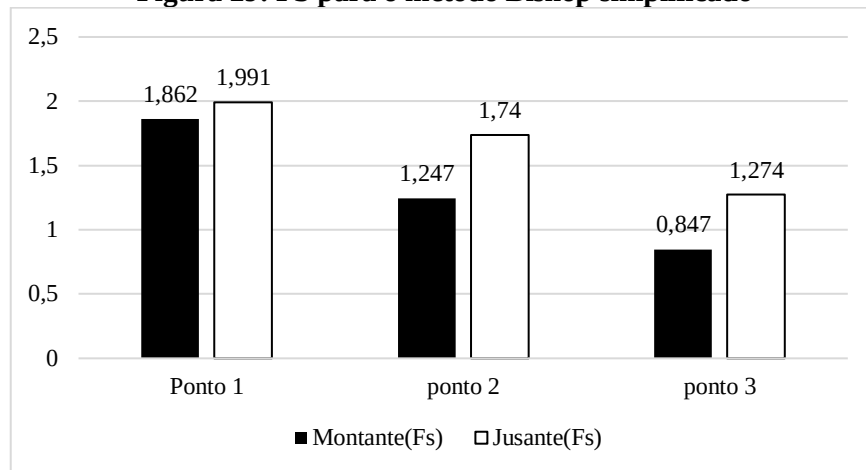


Fonte: do autor.

**Tabela 3: Valores de FS utilizando o método de Bishop simplificado**

| Pontos  | FS à Montante | FS à Jusante |
|---------|---------------|--------------|
| Ponto 1 | 1,862         | 1,991        |
| Ponto 2 | 1,247         | 1,740        |
| Ponto 3 | 0,847         | 1,274        |

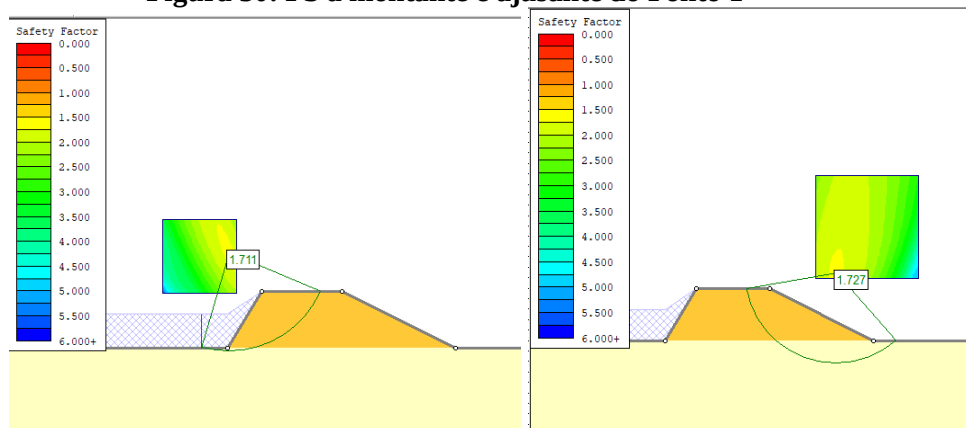
Fonte: do autor.

**Figura 29: FS para o método Bishop simplificado**

**Fonte: do autor.**

Analisando os três pontos, pelo método de Bishop simplificado, foi verificado que apenas o Ponto 3 não possui o FS de acordo com os parâmetros de segurança. Esta falta de segurança se deu pelo fato da grande altura do talude, aliado a alta inclinação do mesmo. Estudos mais apurados devem ser feitos na barragem para aferir a veracidade dos resultados encontrados, visto que neste caso a barragem já deveria ter rompido, mesmo que superficialmente. Estudos no âmbito de se descobrir a coesão do material bem como o fator de atrito, além dos métodos construtivos utilizados em sua execução (existência ou não de um núcleo argiloso, materiais de transição e/ou filtros) devem ser realizados posteriormente.

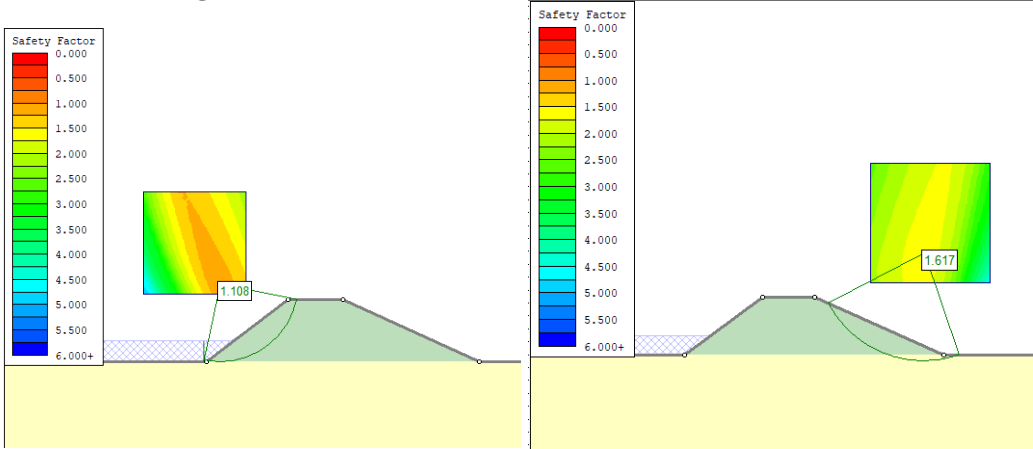
As Figura à **Erro! Fonte de referência não encontrada.** exibidas abaixo mostram o FS para os taludes à montante e jusante analisados pelo método de Janbu simplificado.

**Figura 30: FS a montante e ajusante do Ponto 1**

**Fonte: do autor.**

Ponto 2:

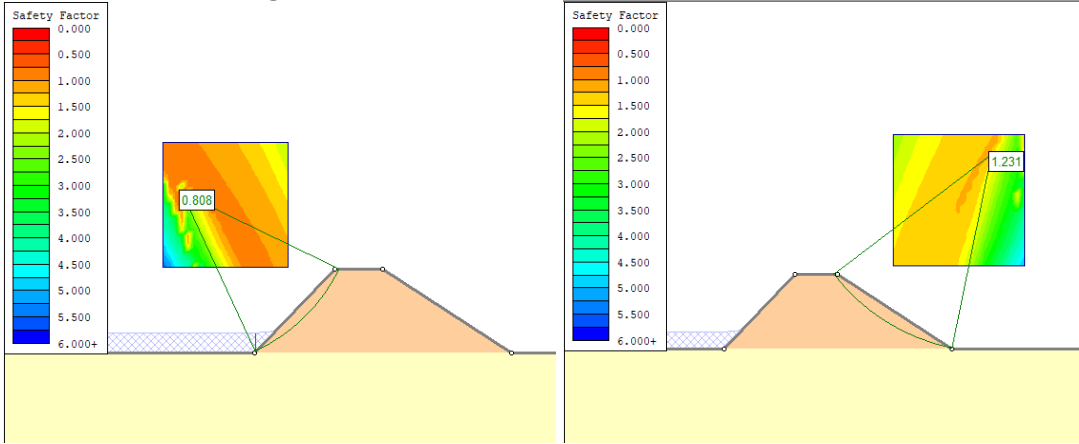
Figura 31: FS a montante e a jusante do Ponto 2



Fonte: do autor.

Ponto 3:

Figura 32: FS a montante e a jusante do Ponto 3



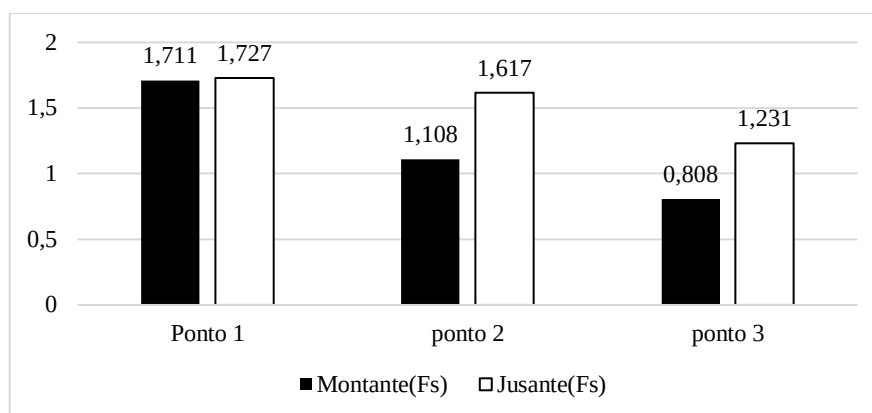
Fonte: do autor.

Tabela 4: Valores de FS utilizando o método de Janbu simplificado

| Pontos  | FS à Montante | FS à Jusante |
|---------|---------------|--------------|
| Ponto 1 | 1,711         | 1,727        |
| Ponto 2 | 1,108         | 1,617        |
| Ponto 3 | 0,808         | 1,231        |

Fonte: do autor.

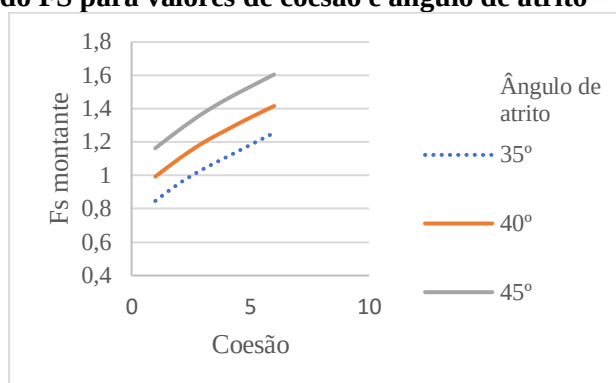
**Figura 34: Fs método Janbu simplificado**



Analogamente ao método de Bishop, pelo método de Janbu também verificou-se que o Ponto 3 não possui o FS de acordo com os parâmetros de segurança. Mais uma vez, atribuiu-se esta falta de segurança ao fato da grande altura do talude, aliado a alta inclinação do mesmo. Reitera-se que estudos mais apurados devem ser feitos na barragem para aferir a veracidade dos resultados encontrados, seja quanto as propriedades dos materiais, quanto a geometria e arranjo da seção transversal da barragem.

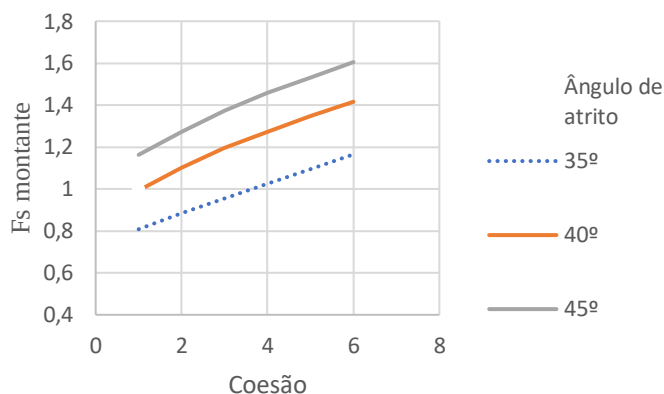
Após a verificação de instabilidade no Ponto 3, utilizou-se o *software* para sugestão de uma possível manutenção. Variou-se o ângulo de atrito da geometria atual do ponto instável, adotando-se valores de 35° 40° e 45°, bem como coesão de 1 a 6. Obteve-se então os gráficos contidos na Figura e a Figura .

**Figura 35: Variação do FS para valores de coesão e ângulo de atrito – método Bishop**



Fonte: do autor.

**Figura 36: Variação do FS para valores de coesão e ângulo de atrito – método Janbu**



Fonte: do autor.

Observando os gráficos, ambos os métodos indicam que, para um valor de FS acima de 1,5, o ideal seria utilizar um solo 45° com coesão de 5 kPa, o que retornaria um FS da ordem 1,532 pelo método Bishop simplificado. Para o método de Janbu simplificado, o melhor resultado de FS para a mesma geometria seria de e 1,485 para um ângulo de atrito de 45° e coesão 6 kPa.

Devido à falta de viabilidade de se alterar o material de aterro do maciço da barragem, recomenda-se diminuir as inclinações da barragem, acrescentando mais material de aterro tanto à montante quanto à jusante. Caso não haja recursos suficientes para tal, recomenda-se o acréscimo de material apenas no talude de montante na região entre os Pontos 2 e 3 e no talude de jusante localizado no Ponto 3, onde os graus de instabilidade foram maiores.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi avaliada a segurança do Açude Morada Nova localizado no interior do município de Patu/RN. Foram utilizadas como base para caracterização do Açude duas ferramentas, uma delas foi o Manual De Inspeção e Segurança de Barragens e a análise de estabilidade de taludes com a utilização do software Slide 6.0 - sendo utilizada uma versão de testes da ferramenta. Durante a fase de pesquisa não foi encontrado nenhum dado acerca da barragem, visto que raramente se consegue encontrar, junto aos órgãos competentes, projetos de barragens de pequeno porte em cidades do interior.

Inicialmente, verificou-se um grande número de patologias na barragem. Infelizmente, não se pode afirmar que manutenções passadas ocorreram ou não, visto a falta de um cronograma de manutenção do barramento, impossibilitando o conhecimento de manutenções prévias existente na mesma. Mesmo com as informações acima expostas, percebeu-se que, quanto à sua estabilidade, o barramento encontra-se em bom estado, embora deva ser levada em consideração, para manutenções futuras, tanto o FS no ponto 3, a vegetação e as escavações.

As simulações geradas no *software* foram realizadas com variações nas características do solo (coesão, ângulo de atrito e peso específico) e na geometria da barragem, onde foram gerados fatores de segurança para a geometria obtida através do estudo de campo. Os resultados obtidos através dos dois métodos utilizados mostraram que a maior parte do talude encontra-se em uma situação estável com FS no intervalo de 0,847 a 1,567 (Bishop simplificado) e de 0,808 a 1,711 (Jambu simplificado). Não foram verificados problemas com erosões tendo em vista que a maior parte do talude é recoberta por vegetação o que pode ser tornar um problema posteriormente em casos de estiagem.

Portanto, pode-se concluir que, quanto à sua segurança, a maior porção da barragem Morada Nova não apresenta um risco tão elevado quanto se esperava. Em contrapartida, estudos mais apurados devem ser executados no quesito de se aferir a estabilidade do ponto indicado como instável por este trabalho, para então cuidados serem tomados para a melhoria da estabilidade por autoridades competentes. Para aprimorar o estudo da barragem podem ser realizados ensaios triaxiais para conseguir determinar propriedades do solo como coesão e ângulo de atrito, também pode ser utilizada uma estação total para verificação em campo da altura real da barragem, além de sondagens no maciço da barragem para se conhecer as possíveis camadas internas.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7185: Determinação da massa específica aparente, in situ, com o emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro: Brasil, 2016.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6457 – Determinação do teor de umidade dos solos.** Rio de Janeiro, 1986.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 26 – Agregados Amostragem.** Rio de Janeiro, 2009.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR NM 248 – Agregados determinação da composição granulométrica.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSIS, A. P; HERNANDES, H. M; COLMANETTI, J.P. **Apostila de barragens.** Brasília, 2003.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica. **Manual de segurança e inspeção de barragens.** Brasília, 2002.

CARVALHO, Fernanda Alves. **AValiação de Segurança em Barragens de Pequeno Porte -ESTUDO DE CASO DA BARRAGEM DO AÇUDE GRANDE.** 2017. 56 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas - Rn, 2017.

COSTA, Walter Duarte. **Geologia de barragens.** Ouro Preto: Pearson, 2008.

CIVIL, Engenharia. **Conheça todos os tipos de barragem.** Disponível em: <<https://www.ofitexto.com.br/comunitexto/conheca-todos-os-tipos-de-barragem/>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

DAS, Braja. M. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica.** São Paulo: Cengage Learning, 2014.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **ME 052 – Solos e agregados miúdos – Determinação da umidade com emprego do “Speedy”.** Rio de Janeiro, 1994;

IBGE. Censo Demográfico 2010 – IBGE Cidades. Patu. IBGE, 2010. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/patuhttps://panorama.>> Público acesso em: 07 ago. 2019. 02 de maio de 2011.

MOLLE, François; CADIER, Eric. **Manual do pequeno açude.** Recife: SUDENE-DPGPRN-DPP-WR, 1992.