

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ALINE MAZOY LOPES

**ESTUDO DE PATOLOGIAS E USO DE GEOMEMBRANAS EM RIP-RAP EM BARRAGENS E
AÇUDES DE PEQUENO PORTE**

**Alegrete-RS
2022**

ALINE MAZOY LOPES

**ESTUDO DE PATOLOGIAS E USO DE GEOMEMBRANAS EM RIP-RAP EM BARRAGENS E
AÇUDES DE PEQUENO PORTE**

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

Trabalho defendido e aprovado em: 11 de agosto de 2022.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Wilber Chambi Tapahuasco
Orientador
(UNIPAMPA)

Prof. Dr. Jaelson Budny
(UNIPAMPA)

Ma. Eng. Agri. Juliana Calage Quevedo



Assinado eletronicamente por **WILBER FELICIANO CHAMBI TAPAHUASCO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/08/2022, às 21:39, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **Juliana Calage Quevedo, Usuário Externo**, em 15/08/2022, às 21:46, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **JAELSON BUDNY, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/08/2022, às 22:14, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site

[https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0)

[acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador

0897235 e o código CRC **DBEF17C3**.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família e a todas as pessoas que estiveram ao meu lado, dando-me apoio e incentivo durante esses anos de faculdade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela minha vida, pela minha família, pelos meus amigos, e principalmente por sempre me dar força e esperança para superar as dificuldades e a nunca desistir dos meus sonhos.

À minha querida mãe Iolanda Enedina Antunes Mazoy, e à minha querida avó Cloy Antunes, pela educação, por todo amor e carinho, pelo cuidado que sempre tiveram comigo, por sempre acreditarem em mim e nos meus sonhos, por sempre estarem ao meu lado. Se hoje eu sou uma mulher forte e que luta pelos seus ideais, é porque duas mulheres fortes e corajosas me criaram. Sou eternamente grata por tudo. Eu amo vocês!

À toda a minha família, que sempre me apoiaram e acreditaram nos meus sonhos. Minha eterna gratidão, amo vocês!

Ao meu namorado Mauricio Cogo, por todo o incentivo, companheirismo, amor e carinho que sempre teve comigo, o seu apoio sempre foi muito importante para a minha jornada. Dividir a vida com você, torna os meus dias mais felizes. Te amo!

Aos meus amados amigos, Gabriele Faccin e Guilherme Machado, obrigada por serem os melhores amigos que eu poderia ter, por sempre acreditarem nos meus sonhos, e sempre me apoiarem. Amo vocês!

A minha querida amiga e colega Alessandra Ferreira, obrigada pela amizade, pelo carinho e pelo apoio. Dividir esses anos de faculdade ao seu lado, os fizeram mais leves. Minha eterna amizade e gratidão!

Ao meu orientador professor Wilber Chambi Tapahuasco, pela atenção, paciência, orientação e pelo incentivo. És um grande profissional, o qual levarei para sempre todos os ensinamentos. Minha eterna gratidão e admiração!

RESUMO

As barragens de terra são as estruturas mais utilizadas no meio rural para armazenar água, que serve tanto para a irrigação agrícola, quanto para o consumo dos animais. Uma barragem de terra, possui diversas partes constituintes, entre elas pode-se ressaltar o talude de montante, que é a parte da barragem que está em contato com a água do reservatório. Por haver esse contato, o talude de montante necessita de uma estrutura de proteção, conhecida como rip-rap, que geralmente é construído com enrocamento. Porém se essa estrutura de rip-rap não estiver funcionando adequadamente, a mesma não funcionará como proteção, e como consequência não evitará que ocorram patologias. Com base nisso, surge a necessidade de procurar novos materiais, que possa ser utilizado como alternativa para a construção e manutenção do rip-rap. Dessa forma, esse trabalho tem por objetivo estudar as patologias em algumas barragens e açudes de terra inseridos no município de Alegrete/RS, além do estudo da viabilidade do uso de geomembranas, na construção e manutenção de estruturas de rip-rap em taludes de montante. Para a realização do presente trabalho, foram analisados e vistoriados in-situ os taludes de montante de oito barramentos localizados na zona rural de Alegrete/RS, em que ocorreu um levantamento das principais patologias que acometem esses barramentos. Além disso, realizou-se um estudo de correlação entre as vantagens e desvantagens da utilização do enrocamento e geomembrana como estruturas de rip-rap, em que realizou-se pesquisa sobre os custos de ambos os materiais e a sua aplicação, com cinco empresas que trabalhassem com cada um dos materiais pesquisado. O estudo apresentou como resultados a presença de diversas anomalias nas partes constituintes dos barramentos, no talude de montante, as principais patologias decorrem das condições do material que forma a estrutura rip-rap. Obteve-se também como resultado, que a utilização da geomembrana como estrutura de rip-rap é mais vantajosa do que utilizar enrocamento, pois o custo para a sua utilização é menor e possui uma alta durabilidade. Dessa forma, este trabalho possibilitou registrar e verificar as anomalias encontradas nos barramentos estudados, e mostrou que a utilização da geomembrana em estruturas rip-rap, é uma alternativa viável.

Palavras-Chave: Barragem de terra; Talude de montante; Rip-rap; Geomembrana.

ABSTRACT

Earth dams are the most used structures in rural areas to store water, which serves both for agricultural irrigation and for animal consumption. An earth dam has several constituent parts, including the upstream slope, which is the part of the dam that is in contact with the water in the reservoir. Because of this contact, the upstream slope needs a protective structure, known as rip-rap, which is usually built with rockfill. However, if this rip-rap structure is not working properly, it will not work as a protection, and as a consequence, it will not prevent pathologies from occurring. Based on this, the need arises to look for new materials that can be used as an alternative for the construction and maintenance of rip-rap. Thus, this work aims to study the pathologies in some earth dams and weirs inserted in the municipality of Alegrete/RS, in addition to the study of the feasibility of using geomembranes, in the construction and maintenance of rip-rap structures on upstream slopes. . In order to carry out the present work, the upstream slopes of eight dams located in the rural area of Alegrete/RS were analyzed and inspected in-situ, in which a survey of the main pathologies that affect these dams was carried out. In addition, a correlation study was carried out between the advantages and disadvantages of using rockfill and geomembrane as rip-rap structures, in which research was carried out on the costs of both materials and their application, with five companies that worked with each of the researched materials. The study presented as results the presence of several anomalies in the constituent parts of the dams, in the upstream slope, the main pathologies result from the conditions of the material that forms the rip-rap structure. It was also obtained as a result, that the use of geomembrane as a rip-rap structure is more advantageous than using rockfill, because the cost for its use is lower and has a high durability. Thus, this work made it possible to record and verify the anomalies found in the studied dams, and showed that the use of geomembrane in rip-rap structures is a viable alternative.

Keywords: Earth dam; Upstream slope; rip-rap; Geomembrane.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Barragem homogênea e barragem zoneada	13
Figura 2: Representação dos elementos de uma barragem de terra.....	15
Figura 3: Posicionamento do rip-rap no talude de montante.....	16
Figura 4: Rip-rap incompleto.	19
Figura 5: Rip-rap mal graduado.....	20
Figura 6: Geotêxteis	23
Figura 7: Geogrelhas	24
Figura 8: Geomembranas.....	24
Figura 9: Georredes	25
Figura 10: Geocompostos.....	25
Figura 11: Geotubos	25
Figura 12: Geocélula	26
Figura 13: Utilização de geomembranas em barragem de terra	28
Figura 14: Taludes com geossintético	28
Figura 15: Mapa do município de Alegrete/RS com os seus sub-distritos.....	30
Figura 16: Barramento 1 (B-01)	31
Figura 17: Barramento 2 (B-02).....	31
Figura 18: Barramento 3 (B-03)	31
Figura 19: Barramento 4 (B-04)	32
Figura 20: Barramento 5 (B-05)	32
Figura 21: Barramento 6 (B-06)	32
Figura 22: Barramento 7 (B-07)	33
Figura 23: Barramento 8 (B-08)	33
Figura 24: Materiais utilizados nas vistorias	34
Figura 25: Observação e preenchimento da ficha de inspeção.....	35
Figura 26: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-01	40
Figura 27: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-02	41
Figura 28: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-03	41
Figura 29: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-04	42
Figura 30: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-05	42
Figura 31: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-06	42
Figura 32: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-07	43

Figura 33: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-08.....	43
Figura 34: Erosão no talude a montante do barramento B-01	44
Figura 35: Erosão no talude a montante do barramento B-02.....	44
Figura 36: Erosão no talude a montante do barramento B-03.....	45
Figura 37: Erosão no talude a montante do barramento B-04.....	45
Figura 38: Erosão no talude a montante do barramento B-05.....	45
Figura 39: Erosão no talude a montante do barramento B-06.....	46
Figura 40: Erosão no talude a montante do barramento B-07.....	46
Figura 41: Rip-rap do talude a montante do barramento B-01	47
Figura 42: Rip-rap do talude a montante do barramento B-02.....	47
Figura 43: Rip-rap do talude a montante do barramento B-03.....	48
Figura 44: Rip-rap do talude a montante do barramento B-04.....	48
Figura 45: Rip-rap do talude a montante do barramento B-05.....	48
Figura 46: Erosão nas ombreias no barramento B-03	49
Figura 47: Defeitos na drenagem da crista do barramento B-01	51
Figura 48: Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais no barramento B-02.....	52
Figura 49: Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais no barramento B-03.....	52
Figura 50: Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais no barramento B-04.....	53
Figura 51: Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais no barramento B-05.....	53
Figura 52: Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais no barramento B-07.....	54
Figura 53: Ameaça de transbordamento do barramento B-01.....	54
Figura 54: Ameaça de transbordamento do barramento B-05.....	55
Figura 55: Afundamentos e buracos na crista do barramento B-01	55
Figura 56: Falha proteção vegetal no talude de jusante do barramento B-01	58
Figura 57: Falha proteção vegetal no talude de jusante do barramento B-03	58
Figura 58: Falha proteção vegetal no talude de jusante do barramento B-04	58
Figura 59: Falha proteção vegetal no talude de jusante do barramento B-05	59
Figura 60: Falha proteção vegetal no talude de jusante do barramento B-07	59
Figura 61: Erosão no talude a jusante do barramento B-01	60
Figura 62: Erosão no talude a jusante do barramento B-03	60
Figura 63: Erosão no talude a jusante do barramento B-04	60
Figura 64: Erosão no talude a jusante do barramento B-07	61
Figura 65: Árvores e arbustos no talude do jusante do barramento B-02	61
Figura 66: Árvores e arbustos no talude do jusante do barramento B-04	62

Figura 67: Árvores e arbustos no talude do jusante do barramento B-05	62
Figura 68: Árvores e arbustos no talude do jusante do barramento B-07	63
Figura 69: Formigueiros e tocas de animais no talude de jusante do barramento B-02.....	63
Figura 70: Formigueiros e tocas de animais no talude de jusante do barramento B-07.....	64
Figura 71: Fuga d'água e áreas úmidas no talude de jusante do barramento B-03	64
Figura 72: Fuga d'água e áreas úmidas no talude de jusante do barramento B-05	65
Figura 73: Fuga d'água e áreas úmidas no talude de jusante do barramento B-06	65
Figura 74: Escorregamento no talude de jusante do barramento B-03.....	66
Figura 75: Fuga d'água na região da jusante no barramento B-01.....	67
Figura 76: Fuga d'água na região da jusante no barramento B-02.....	68
Figura 77: Fuga d'água na região da jusante no barramento B-03.....	68
Figura 78: Fuga d'água na região da jusante no barramento B-04.....	68
Figura 79: Fuga d'água na região da jusante no barramento B-05.....	69
Figura 80: Fuga d'água na região da jusante no barramento B-07.....	69
Figura 81: Árvores/Arbustos na região a jusante do barramento B-05	70
Figura 82: Árvores/Arbustos na região a jusante do barramento B-08	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Espessura do rip-rap em relação à altura máxima da onda.....	17
Tabela 2: Estados em que estão localizadas as empresas	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Resultados do levantamento patológico dos taludes de montante	38
Quadro 2: Resultados do levantamento patológico dos taludes de montante	39
Quadro 3: Resultados do levantamento patológico das cristas	49
Quadro 4: Resultados do levantamento patológico das cristas	50
Quadro 5: Resultados do levantamento patológico dos taludes a jusante	56
Quadro 6: Resultados do levantamento patológico dos taludes a jusante	56
Quadro 7: Resultados do levantamento patológico dos taludes a jusante	56
Quadro 8: Resultados do levantamento patológico da região a jusante	66
Quadro 9: Barramento B-01	71
Quadro 10: Barramento B-02	73
Quadro 11: Barramento B-03	74
Quadro 12: Barramento B-04	75
Quadro 13: Barramento B-05	76
Quadro 14: Barramento B-06	77
Quadro 15: Barramento B-07	78
Quadro 16: Barramento B-08	79
Quadro 17: Custos do enrocamento.....	80
Quadro 18: Custos da geomembrana.....	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tipos de barragens no mundo	12
Gráfico 2: Patologias presentes nos taludes de montante:.....	39
Gráfico 3: Patologias presentes na crista	50
Gráfico 4: Anomalias presentes nos taludes de jusante.....	57
Gráfico 5: Anomalias presentes na região a jusante.....	67

LISTA DE SIGLAS OU ABREVIATURAS

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas

ANA - Agência Nacional de Águas

AU - Aumentou

B-01- Barramento 01

B-02- Barramento 02

B-03- Barramento 03

B-04- Barramento 04

B-05- Barramento 05

B-06- Barramento 06

B-07- Barramento 07

B-08- Barramento 08

CBDB - Comitê Brasileiro de Barragens

DI - Diminuiu

DS – Desapareceu

EE-01 - Empresa de Enrocamento 01

EE-02 - Empresa de Enrocamento 02

EE-03 - Empresa de Enrocamento 03

EE-04 - Empresa de Enrocamento 04

EE-05 - Empresa de Enrocamento 05

EE-06 - Empresa de Enrocamento 06

EE-07 - Empresa de Enrocamento 07

EE-08 - Empresa de Enrocamento 08

EG-01 - Empresa de Geomembrana 01

EG-02 - Empresa de Geomembrana 02

EG-03 - Empresa de Geomembrana 03

EG-04 - Empresa de Geomembrana 04

EG-05 - Empresa de Geomembrana 05

EUA - Estados Unidos da América

G - Grande

I - Insignificante

ICOLD - Comissão Internacional de Grandes Barragens

IGS - Sociedade Internacional de Geossintéticos

M - Média

NA - Não é Aplicável

NE - Não Existente

NI - Não foi Inspeccionado

P - Pequena

PC - Permaneceu Constante

PV - Primeira Vez

0 - Nenhum

1 - Atenção

2 - Alerta

3 - Emergência

Sumário

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos.....	11
1.1.1 Objetivo Geral:	11
1.1.2 Objetivos específicos:	11
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Conceito e características de barragens geotécnicas de terra e de enrocamento	11
2.2 Estruturas de rip-rap.....	16
2.3 Patologias estruturais e de erodibilidade no talude de montante de barramentos	18
2.4 Uso de geossintéticos em edificações de terra	22
2.5 Uso de geomembranas em sistemas de proteção de taludes de montante (rip-rap).....	26
3 METODOLOGIA	29
3.1 Áreas de estudo	29
3.2 Vistorias de alguns barramentos na região da cidade de Alegrete/RS.....	34
3.3 Análise da correlação de custos de utilização e implantação de rip-rap sob utilização de enrocamento e geomembrana.	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.1 Patologias presentes nos barramentos.....	37
4.1.1 Talude de montante	38
4.1.2 Cristas.....	49
4.1.3 Talude de jusante.....	56
4.1.4 Região a jusante:	66
4.2. Análise de correlação de persistência das patologias ao longo do tempo	70
4.2.1 Barramento B-01	71
4.2.2 Barramento B-02	72
4.2.3 Barramento B-03	73
4.2.4 Barramento B-04	74
4.2.5 Barramento B-05	75
4.2.6 Barramento B-06	77
4.2.7 Barramento B-07	78
4.2.8 Barramento B-08	79
4.3 Levantamento de custos para aquisição e implantação de rip-rap utilizando enrocamento e geomembrana	80
4.4 Estudo comparativo das vantagens e desvantagens do uso do enrocamento e geomembrana	82
5 CONCLUSÃO	84

6	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	85
7	REFERÊNCIAS	86

1 INTRODUÇÃO

Segundo Filho (2002), a construção de barragens para a reserva de água, a fim de suprir as necessidades do homem, é tão antiga quanto a sua história. Conforme Chiossi (2013), barragem pode ser definida como um elemento estrutural, construída transversalmente à direção de escoamento de um curso d'água, destinada a criação de um reservatório artificial de acumulação de água.

Salinas (2017), comenta que o tipo mais utilizado no meio rural são as barragens de terra de pequeno porte, em virtude da facilidade de construção e custo. Porém, essas barragens de terra podem apresentar problemas ao longo da sua utilização, se não forem construídas adequadamente. Entre os problemas que podem surgir nas barragens de terra, pode-se citar os que ocorrem no talude de montante, como erosões.

Essas erosões podem ser evitadas se houver a utilização de estruturas de proteção nesses taludes, como as estruturas de rip-rap. Conforme o trabalho de Salinas (2017), onde estudou alguns barramentos inseridos na região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, as estruturas de proteção rip-rap, geralmente são feitas com enrocamento, porém em muitos casos essa proteção não é realizada de forma adequada, seja pela falta de disponibilidade de material rochoso, ou pelo alto custo do mesmo, o que causa deslizamentos e erosões no talude de montante, afetando assim toda a estrutura do barramento.

Para Barbosa (2016), a dificuldade de disponibilidade de materiais naturais que atendam as características geotécnicas e qualitativas necessárias, associadas às circunstâncias ambientais *in loco*, faz com que a utilização de produtos sintéticos em obras geotécnicas venha crescendo cada vez mais. A geomembrana é um material geossintético, que possui a forma de uma manta contínua, tendo uma grande capacidade de flexibilidade devido aos seus materiais de origem sintética. De acordo com ABNT – NBR 12553 as geomembranas podem ser usadas, por exemplo, em canais de irrigação e adução, barragens e bacias de contenção.

Com base nas informações supracitadas, o presente trabalho propõe um estudo sobre a utilização de geomembranas em estruturas de rip-rap em taludes de montante de barragens e açudes de terra, tal análise mostra-se relevante devido a possibilidade da utilização de um material alternativo ao enrocamento na construção e manutenção do rip-rap.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral:

Estudar as patologias em algumas barragens e açudes de terra inseridos no município de Alegrete/RS, além do estudo da viabilidade do uso de geomembranas na construção e manutenção de estruturas de rip-rap em taludes de montante.

1.1.2 Objetivos específicos:

- Identificar para oito (8) barragens e açudes localizados na área rural do município de Alegrete/RS, os tipos de patologias presentes no talude de montante e nos demais elementos que compõem os barramentos.
- Analisar a persistência de patologias nos barramentos da área rural de Alegrete/RS.
- Realizar um levantamento dos custos para aquisição e aplicação de geomembrana e enrocamento em estruturas de rip-rap.
- Realizar um estudo de correlação entre as vantagens e desvantagens da utilização de enrocamento e geomembranas como estruturas de rip-rap.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Conceito e características de barragens geotécnicas de terra e de enrocamento

As barragens são definidas como obstáculos artificiais com a capacidade de reter água ou qualquer outro líquido, rejeitos, detritos, para fins de armazenamento ou controle. Podem variar em tamanho, desde pequenos maciços de terra, usados frequentemente em fazendas, a enormes estruturas de concreto ou de aterro, geralmente usadas para fornecimento de água, de energia hidrelétrica, para controle de cheias e para irrigação (CBDB, 2021). Esta técnica para maior disponibilidade hídrica é uma das mais antigas já conhecidas pelo homem, as quais eram realizadas para atender as demandas de águas para povoados e sociedades (ADAM, 2011).

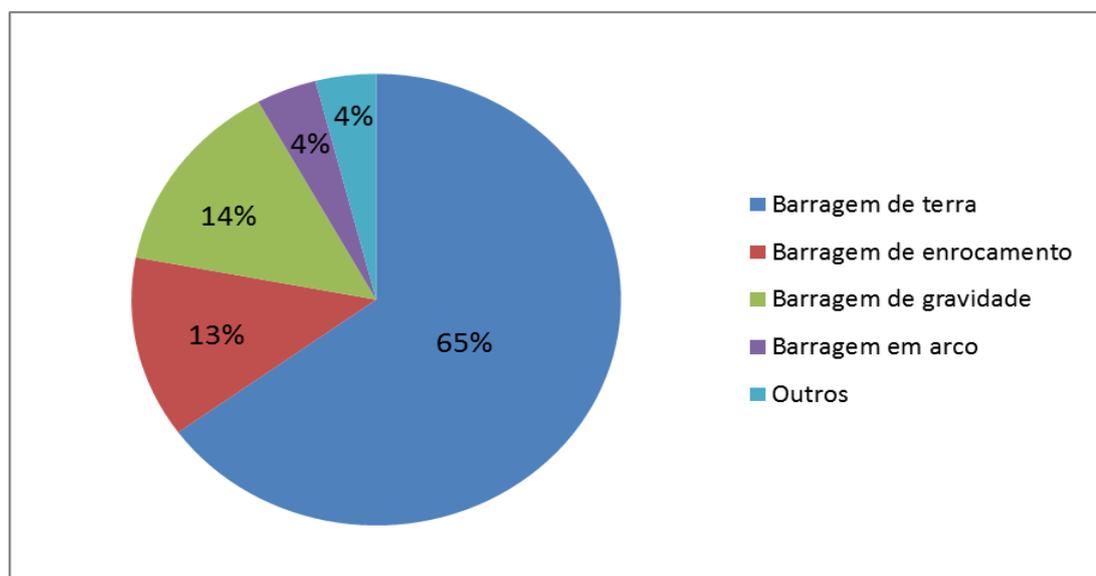
Desde os remotos tempos em que o homem tenta barrar o curso d'água com as mais variadas finalidades, as barragens evoluíram muito em tecnologia. Todavia, ainda hoje, alguns tipos mais primitivos de barragens são eventualmente utilizados quando a obra assume

pequenas proporções, principalmente quando executada por pequenos fazendeiros com o objetivo de armazenar água (Costa, 2012).

Existem vários tipos de barragens, dentre elas pode-se destacar as barragens de enrocamento e as barragens de terra. Segundo Netto (2019), as barragens de enrocamento têm suas origens em 1870 durante a corrida do ouro na Califórnia, até 1930 foram amplamente difundidas nos EUA, quando houve uma redução do uso desse tipo de estrutura devido aumento dos custos de exploração e transporte de materiais rochosos. A principal característica desse tipo de barragem é que o enrocamento é um aterro constituído por material rochoso que é compactado através de rolos vibratórios. De acordo com Pierozan (2014), as barragens de enrocamento, por sua vez, são compostas por rocha fragmentada e núcleo composto por material de baixa permeabilidade. As barragens de enrocamento possuem algumas vantagens, como afirma Frutuoso (2003), apresenta maior rapidez de construção, estabilidade inerente à estrutura, fundações mais simples e logística menos complicada de construção.

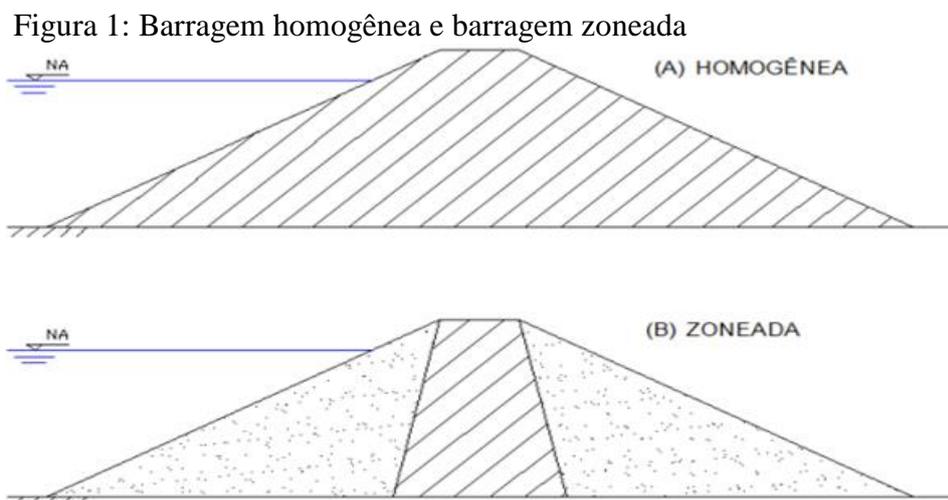
As barragens de terra caracterizam-se como um dos métodos mais antigos de construções rurais, utilizada para armazenamento de água para diversos usos, como irrigação, abastecimento da propriedade, bebedouro, entre outros fins. Segundo a Comissão Internacional de Grandes Barragens (2022), as barragens de terra correspondem a 65% do total de barragens cadastradas no Registro Mundial de Barragens, como é apresentado no Gráfico 1.

Gráfico 1: Tipos de barragens no mundo



Fonte: Adaptado de ICOLD, 2022.

No Brasil, a maioria das barragens construídas é de terra, isso ocorre devido às características do solo, a disponibilidade de material e ao baixo custo de instalação da mesma. Conforme Cordeiro (2017), a mais antiga barragem que se tem notícia em território brasileiro foi construída onde hoje é a área urbana de Recife, PE, possivelmente no final do século XVI. Nos primórdios eram projetadas com base em métodos empíricos, porém, a partir de 1930 com o avanço da Mecânica dos Solos e dos equipamentos de construção o projeto desse tipo de barragem passou a ser elaborado (Netto, 2019). Atualmente as barragens de terra são construídas com a utilização de solos e rochas, compactadas por equipamentos adequados. As barragens de terra são divididas em duas categorias, segundo Costa (2012), podem ser homogêneas ou zoneadas, de acordo com a deposição do material pelo qual ela é formada, como apresenta a Figura 1.



Fonte: Pierozan, 2014.

Como afirma Pierozan (2014), barragens de terra homogêneas são caracterizadas por possuir seção transversal constituída por apenas um tipo de material, por haver a predominância de um único tipo de solo na sua construção. As barragens de terra são denominadas zoneadas quando ocorre à presença de diferentes materiais com granulometrias distintas, como cita Barbosa (2016), esse tipo de barragem são caracterizadas pela presença de materiais de diversas granulometrias, dispostas em seções bem definidas. As barragens de terra do tipo homogêneas são mais comuns no Brasil, pois o país possui uma grande disponibilidade de material terroso e esse tipo de barragem suporta fundações com deformabilidades, isso faz com que possam ser construídas em diferentes tipos de solos. Segundo Massad (2010), a construção de barragens de terra é favorecida pelo fato de que

podem ser construídas sobre solos mais moles, uma vez que permitem fundações mais deformáveis.

De acordo com Carvalho (2011), uma barragem de terra homogênea é formada por elementos como fundação, crista, borda livre, taludes do maciço, proteção dos taludes de montante e jusante, filtros, drenos, trincheira de vedação (*cut-off*), bacia de inundação (reservatório) e vertedouro ou canal de fuga.

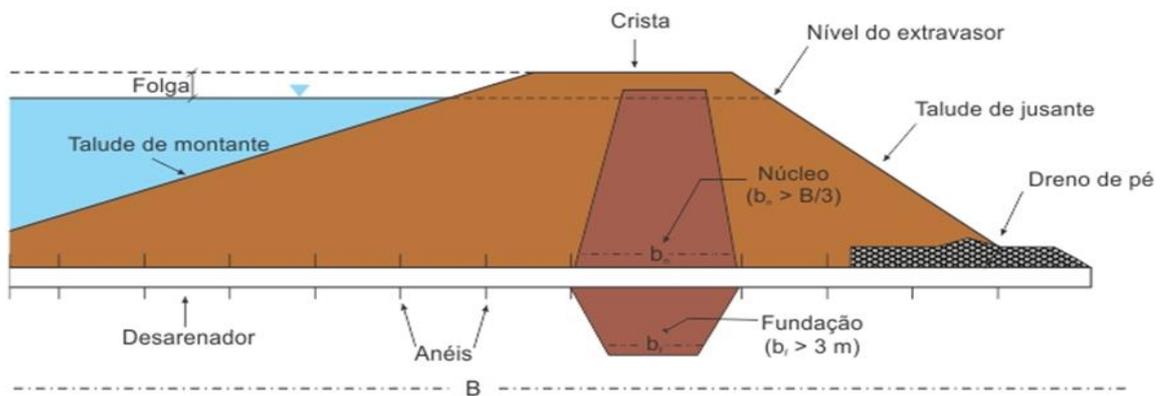
- **Fundação:** Conforme Barbosa (2016), para realizar-se uma fundação, deve-se analisar alguns aspectos, como a estabilidade, a deformabilidade e a estanqueidade. Esses aspectos são responsáveis por verificar a deformação que essa estrutura suportará sem que ocorra a ruptura ou a possibilidade de ruptura pelas cargas impostas pelo barramento e, a ocorrência de algum impedimento de passagem da água. Para ocorrer o estudo sobre esses aspectos, é necessário conhecer a topografia e a geologia do lugar onde será assentada a barragem, através de sondagens, de trincheiras e ensaios laboratoriais.
- **Crista:** A crista é o ponto de cota máximo da barragem. Sua altura deve ser a mesma do nível d'água, acrescido de uma determinada borda livre. Além disso, a plataforma da crista deve possuir, mesmo para barragens de pequeno porte, valores superiores a 3 metros (Carvalho, 2011).
- **Borda livre:** Também é conhecida como folga. Segundo Euclides (2011), é a distância vertical entre o nível da água, quando a represa estiver cheia, e a crista do maciço ou do aterro. Normalmente, adota-se como mínimo, o valor de 1 metro.
- **Taludes do maciço:** Os taludes são as partes laterais inclinadas do maciço, onde o talude de montante é o que fica em contato com a água e o talude de jusante fica do outro lado, sem a presença de água. Segundo Birck (2016), os taludes devem possuir inclinações suaves, permitindo um maior controle sobre a estabilidade da barragem.
- **Proteção dos taludes:** Pode haver a ocorrência de erosão no talude de montante devido às ondas que se formam pelo movimento da água no reservatório e pela ação da chuva. Cordeiro (2017), afirma que o talude de montante deve ser protegido contra a erosão causada pelas ondas que se formam no reservatório. Segundo Souza (2013), essa proteção aos taludes de montante contra a erosão pode ser realizada com camada de enrocamento lançado (*rip-rap*) ou camada de solo cimento. Para Filho (2002), a proteção do talude de montante deve ser executada desde a crista até uma cota um pouco abaixo do nível mínimo de água do reservatório. No talude de jusante é

comum ocorrer a sua cobertura com uma camada de vegetação, como cita Souza (2013), nos taludes de jusante a erosão é prevenida com o uso de vegetação rasteira. Também é sugerido por Filho (2002), o uso de gramíneas adaptadas ao clima local, para fazer o revestimento do talude de jusante.

- Filtros: Conforme cita Barbosa (2016), são estruturas construídas de modo a evitar o carreamento excessivo do material do maciço e da fundação, sendo constituídos, tradicionalmente, por zonas de camadas granulares relativamente delgadas que evitam que as partículas do maciço se desloquem e obstruam os vazios de um material drenante.
- Drenos: Levando em consideração os comentários de Euclides (2011), pode-se dizer que para a linha de saturação manter-se abaixo do pé de uma barragem de terra, isto é, dentro de seu corpo, ou para reduzir a subpressão hidráulica, pode-se recorrer ao uso de drenos, colocados, geralmente, no terço final do talude de jusante, ou mesmo construindo-se um enrocamento de pedras no final deste (dreno de pé).
- Trincheira de vedação (cut-off): O tratamento para impermeabilização da fundação, segundo Cordeiro (2017), pode ser providenciado pela escavação dos materiais permeáveis, exclusivamente sob a base do núcleo. O material escavado é então substituído por aterro, compactado nas mesmas condições que o núcleo, constituindo a chamada trincheira de vedação.
- Bacia de inundação (reservatório): Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2022), os reservatórios são o acúmulo de água resultante da construção dessas barragens pelo ser humano. Os reservatórios têm por objetivo acumular água durante períodos chuvosos, para que durante os períodos de estiagem possa compensar a deficiência de água.
- Vertedouro ou canal de fuga: Para Nobre (2019), vertedouro é uma estrutura que funciona como um dispositivo de segurança, dando vazão à água, impedindo que o reservatório atinja um nível que possa prejudicar a estabilidade da estrutura do barramento.

A Figura 2 ilustra alguns dos principais elementos que compõem uma barragem de terra.

Figura 2: Representação dos elementos de uma barragem de terra



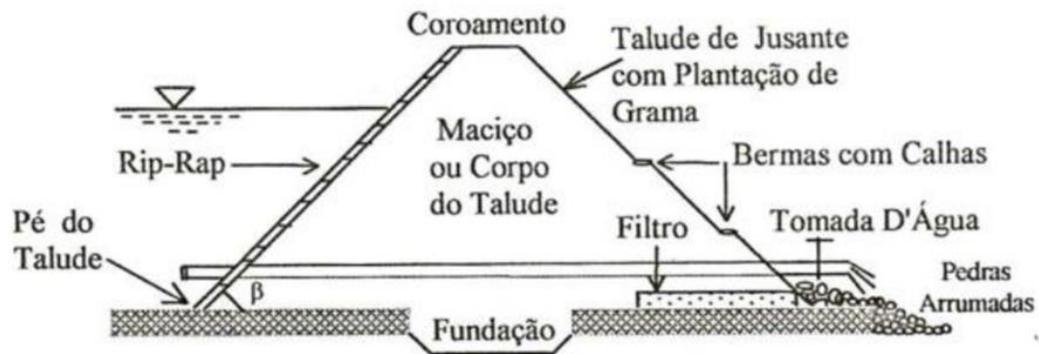
Fonte: Euclides, 2011.

Todo o projeto de engenharia deve pautar-se na segurança da obra, tanto na etapa de execução do projeto, quanto na sua utilização. Massad (2010) cita que o projeto de uma barragem de terra deve pautar-se por dois princípios básicos: segurança e economia. Além disso, levando em consideração os comentários de Nobre (2019), fica evidente que barragens são obras de grande importância para a sociedade, porém necessitam de monitoramento, acompanhamento e manutenção para garantir o seu funcionamento e evitar acidentes.

2.2 Estruturas de rip-rap

Para evitar que ocorra erosão no talude de montante, devido as ondas que se formam no reservatório, utilizam-se estruturas de rip-rap como forma de proteção. Conforme afirmação de Nobre (2019), rip-rap é um elemento de proteção dos taludes principalmente contra a ação das águas advindas das chuvas e das ondas, evitando a erosão desses taludes e, conseqüentemente, prejudicando a estrutura da barragem. A estrutura de rip-rap é feita geralmente de enrocamento, utilizando rochas de qualidade e com diâmetro adequado para que não se desloquem com o impacto das chuvas e das ondas. Esse enrocamento é espalhado no talude de montante na forma de uma camada em que a espessura é determinada em projeto, e sob o mesmo deve ser colocado uma camada de material granular graúdo, que será a camada de transição. Essa proteção deve ser espalhada em todo o talude, conforme cita Cordeiro (2017), desde o seu topo, até cerca de 1 metro abaixo do nível mínimo de operação do reservatório. A Figura 3 mostra o posicionamento do rip-rap no talude de montante.

Figura 3: Posicionamento do rip-rap no talude de montante.



Fonte: Rodrigues, 2014.

Segundo Carvalho (2011), o rip-rap pode ser de dois tipos, rip-rap lançado ou rip-rap com pedras arrumadas. O rip-rap do tipo lançado, é formado por uma camada de rochas que é lançada sobre a montante, atuando como uma área de transição granulométrica, esse material de enrocamento deve ter preferencialmente formato alongado, diminuindo assim as chances de deslizamento. O rip-rap com pedras arrumadas consiste em uma camada de rochas bem organizadas sobre o talude de montante, onde se utilizam rochas com tamanhos menores para preencher os espaços vazios. O dimensionamento da espessura da camada de rip-rap pode ser baseado na altura das ondas formadas no reservatório. Gaioto (2003), sugere qual a espessura mínima da camada de rip-rap em relação à altura máxima das ondas, que será apresentada na tabela 1.

Tabela 1: Espessura do rip-rap em relação à altura máxima da onda.

Altura máxima da onda (m)	Espessura da camada(m)
<0,60	0,30
0,60-1,20	0,46
1,20-1,80	0,61
1,80-2,40	0,76
2,40-3,00	0,91

Fonte: Adaptado de Gaiotto, 2003.

Em alguns casos a utilização de estrutura de rip-rap feita de enrocamento, para proteção do talude de montante, se torna inviável, seja pela falta de matéria prima ou pelo custo econômico. Então, propõem-se outros métodos além do rip-rap construído de

enrocamento, como a aplicação de solo-cimento ou como sugere Barbosa (2016), a utilização de geossintéticos. O uso de solo-cimento como proteção do talude de montante, de acordo com Cruz (1996), apresenta-se como uma alternativa atraente, uma vez que é de custo inferior ao enrocamento, quando há falta de rocha economicamente explorável na região. A utilização de geossintéticos como elementos de proteção do talude de montante, pode ser uma solução quando não é possível a utilização de material de enrocamento. Ressalta Barbosa (2016), que a utilização de material geossintético em substituição a materiais naturais em barragens de terra é uma solução viável diante da falta de disponibilidade ou do alto custo do material granular tradicionalmente utilizado.

2.3 Patologias estruturais e de erodibilidade no talude de montante de barramentos

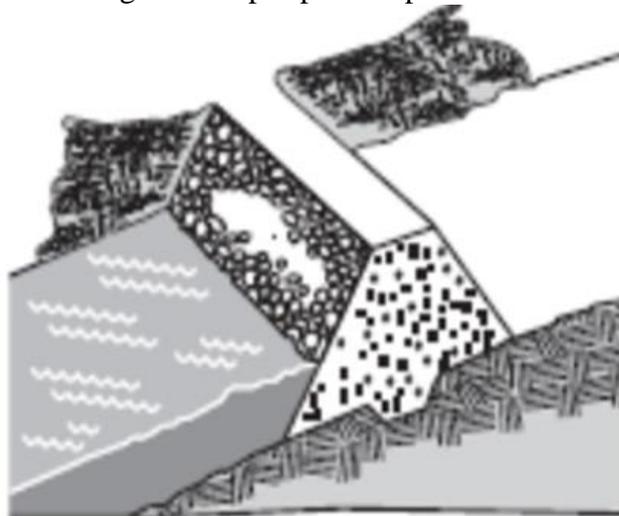
As barragens de terra são utilizadas a muitos anos como forma de armazenar água, com o passar do tempo a sua construção ganhou mais atenção assim como a sua conservação. Conforme Pereira (2019), as barragens são estruturas que foram e ainda continuam sendo fundamentais para o desenvolvimento da civilização humana. Por mais simples que sejam, pequenas barragens são importantes obras de engenharia cuja segurança deve ser gerenciada frequentemente ao longo de sua vida. Caso ocorra alguma anomalia, existem riscos de acidentes que causam prejuízos, tanto ambientais, quanto econômicos. Silva (2019), comenta que independente de qual for a finalidade ou características da barragem, existe um risco para a população e o ambiente que circunda o barramento, o que pode levar a danos em nível social, econômico ou ambiental.

Segundo a Agência Nacional de Águas – ANA (2022), por meio da resolução nº 236/2017, considera-se anomalia qualquer deficiência, irregularidade, anormalidade ou deformação que possa afetar a segurança da barragem. Em barragens de terra, podem surgir patologias que afetam o funcionamento e a segurança da mesma, como recalques, fissuras, trincas, erosões, colmatação de drenos e falhas na proteção dos taludes. As proteções do talude de montante, como estruturas de rip-rap, evitam que aconteçam erosões e instabilidades na barragem, porém o mal dimensionamento dessa estrutura e a escolha incorreta do material a ser utilizado, causa falhas nessa proteção. A Agência Nacional de Águas – ANA (2022), afirma que a deterioração de recobrimentos ocorre normalmente pelo desgaste e/ou envelhecimento, principalmente pela inadequação na escolha e uso de materiais de acabamento superficial. Segundo Carmo (2000), a patologia na construção pode ser entendida, analogamente à Ciência Médica, como o ramo da engenharia que estuda os

sintomas, formas de manifestação, origens e causas das doenças ou defeitos que ocorrem nas obras.

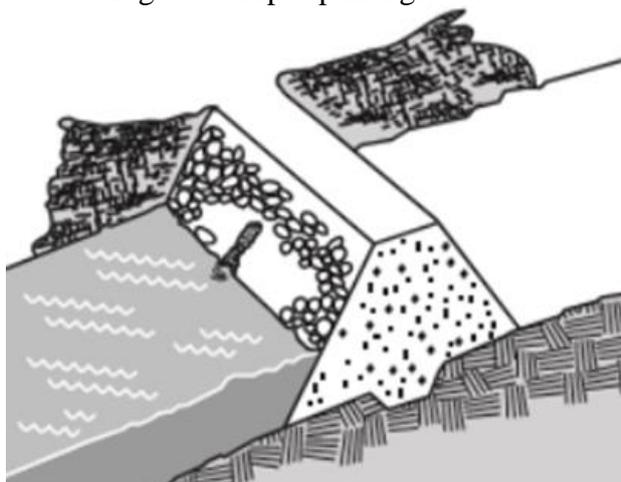
O manual de segurança e inspeções de barragens, desenvolvido pelo Ministério da Integração Nacional (2002), determina parâmetros para orientar a execução de novos barramentos e a manutenção dos existentes. Salinas (2017) destaca que o manual de segurança e inspeções de barragens, estabelece parâmetros e um roteiro básico para orientar os procedimentos de segurança a serem adotados em novos barramentos, quaisquer que sejam seus proprietários, e manter as já construídas em um estado de segurança compatível com seu interesse social e de desenvolvimento. O manual também aborda sobre as principais anomalias que afetam as barragens de terra e de concreto, sendo que nas barragens de terra, pode-se destacar as anomalias no talude de montante. De acordo com o manual de segurança e inspeções de barragens, quando a estrutura de rip-rap está incompleta, destruída, deslocada (Figura 4) ou mal graduada (Figura 5), podem gerar uma anomalia nessa estrutura, que irá causar a diminuição do maciço, afetando a estabilidade da barragem. Essas situações advêm da deterioração do enrocamento de baixa qualidade que forma o rip-rap, e da utilização de rochas com a mesma granulometria, que permite a passagem de água para o interior do barramento.

Figura 4: Rip-rap incompleto.



Fonte: Ministério da Integração, 2002.

Figura 5: Rip-rap mal graduado.



Fonte: Ministério da Integração, 2002.

Para Araújo (2014), as anomalias que surgem na estrutura da barragem são uma das principais causas de rupturas, essas anomalias podem ser identificadas e solucionadas se houver inspeções rotineiras. De acordo com Caputo (1987), algumas das principais causas de rupturas de barragens de terra no Brasil são devido às infiltrações, o galgamento e os deslizamentos que ocorrem nos taludes.

O Ministério da Integração Nacional propõem o preenchimento de uma ficha para a inspeção da barragem de terra, com o objetivo de identificar, registrar, quantificar e qualificar as anomalias que podem afetar a segurança da barragem, esse modelo de ficha classifica as anomalias conforme a sua situação, magnitude e nível de perigo. O preenchimento dessa ficha de inspeção acontece através da utilização de um “x” para assinalar nas colunas que correspondem com a situação e com a magnitude da anomalia que ocorre a respeito do item analisado, registra-se um número de 0 a 3 na coluna NP, o qual refere-se ao nível de perigo que está anomalia simboliza para a segurança da barragem. De acordo com Pereira(2019), são oito situações, quatro classificações de magnitude e quatro níveis de perigo que podem ser consideradas para cada item.

O significado das siglas da legenda será apresentado abaixo, segundo o Manual de preenchimento da ficha de inspeção de barragem.

- **SITUAÇÃO:** a primeira parte da tabela se refere a situação da barragem em relação ao item que estará sendo examinado.
NA – Este item Não é Aplicável: O item examinado não é pertinente à barragem que esteja sendo inspecionada.

NE – Anomalia Não Existente: Quando não existe nenhuma anomalia em relação ao item que esteja sendo examinado, ou seja, sob o aspecto em questão, a barragem não apresenta falha ou defeito e não foge às normas.

PV – Anomalia constatada pela Primeira Vez: Quando da visita à barragem, aquela anomalia for constatada pela primeira vez, não havendo indicação de sua ocorrência nas inspeções anteriores.

DS – Anomalia Desapareceu: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia verificada na inspeção anterior, não mais esteja ocorrendo.

DI – Anomalia Diminuiu: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresenta-se com menor intensidade ou dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, conforme pode ser verificado pela inspeção ou informado pela pessoa responsável pela barragem.

PC – Anomalia Permaneceu Constante: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresenta-se com igual intensidade ou a mesma dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, conforme pode ser verificado pela inspeção ou informado pela pessoa responsável pela barragem.

AU – Anomalia Aumentou: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresenta-se com maior intensidade, ou dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, capaz de ser percebida pela inspeção ou informada pela pessoa responsável pela barragem.

NI – Este item Não foi Inspeccionado: Quando um determinado aspecto da barragem deveria ser examinado e por motivos alheios à pessoa que esteja inspecionando a barragem, a inspeção não foi realizada. Neste caso, na parte reservada para comentários, deverá haver uma justificativa para a não realização da inspeção.

- **MAGNITUDE:** A definição da magnitude da anomalia procura tornar menos subjetiva a avaliação da dimensão do problema ou da falha encontrada:

I – Insignificante: Anomalia que pode simplesmente ser mantida sob observação pela Administração Local.

P – Pequena: Quando a anomalia pode ser resolvida pela própria Administração Local.

M – Média: Anomalia que só pode ser resolvida pela Administração Local com apoio da Administração Regional.

G – Grande: Anomalia que só pode ser resolvida pela Administração Regional com apoio da Administração Central.

- **NIVEL DE PERIGO:** Com esta informação procura-se quantificar o nível de perigo causado pela anomalia e indicara a presteza com que esta anomalia deverá ser corrigida.
 - 0 – Nenhum: Não compromete a segurança da barragem, mas pode ser entendida como descaso e má conservação.
 - 1 – Atenção: Não compromete a segurança da barragem a curto prazo, mas deve ser controlada e monitorada ao longo do tempo.
 - 2 – Alerta: Risco a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências para a eliminação do problema.
 - 3 – Emergência: Risco de ruptura iminente, situação fora de controle.

Conforme o relato de Nobre (2019), o processo de inspeção é padronizado pelo Manual de Segurança e Inspeção de Barragem, indicando as estruturas e as anomalias a serem avaliadas. Com base no preenchimento e análise da ficha do manual, pode-se verificar a situação em que a barragem de terra está em relação a sua segurança. Trabalhos realizados sobre patologias em barramentos, como o trabalho Análise das condições de segurança de barragens da região do Vale do Jaguaribe do estado do Ceará (Nobre, 2019), e o trabalho Análise de riscos em barragens de abastecimento de água da grande João Pessoa-PB (Araújo, 2014), utilizaram a mesma ficha de inspeção de barragens para identificação das anomalias, e ambos os trabalhos citados obtiveram resultados que apontam para anomalias no rip-rap do talude de montante, como deslizamento, presença de vegetação e taludes sem proteção próxima ao canal do vertedouro.

2.4 Uso de geossintéticos em edificações de terra

De acordo com Vertematti (2004), os geossintéticos são produtos poliméricos, sintéticos ou naturais, que podem ser utilizados em variados tipos de solo ou em combinações de solo e rocha como parte de projetos e soluções de engenharia geotécnica. Os polímeros são macromoléculas compostas por unidades menores denominadas monómeros, que são estruturadas num processo denominado de polimerização (Costa, 2015). Na metade do século XX os geossintéticos começaram a serem usados, pois houve o surgimento dos polímeros

sintéticos. Segundo Santos et al. (2019), esse material apresentam-se na forma de manta, tira ou estrutura tridimensional, e são utilizados em contato com o solo ou com outros materiais em aplicações da engenharia civil, geotécnica e ambiental. De acordo com a Sociedade Internacional de Geossintéticos - IGS (2007), algumas das vantagens da utilização do geossintético são:

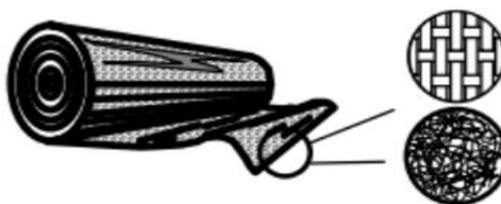
- Sustentabilidade ambiental, já que constituem uma alternativa a materiais granulares e solos;
- Facilidade de instalação em relação aos agregados naturais, que exigem equipamentos de grande porte;
- Conhecimento e controle tecnológico, associado ao acesso a produtos com propriedades hidráulicas, mecânicas e físicas de boa capacidade de suporte;
- Versatilidade de aplicações.

A combinação dos fatores citados acima faz com que os geossintéticos sejam uma excelente alternativa em comparação aos materiais tradicionais de construção. Os geossintéticos podem ser utilizados de diversas formas, como cita Costa (2015), podem ser aplicados em diversas áreas como na agricultura, em rodovias, em reservatórios, canais e barragens. Conforme Santos et al. (2019), a utilização de geossintéticos pode permitir diminuir de forma significativa volumes de aterros em taludes, pode também substituir ou complementar materiais convencionais e suprir as deficiências, como falta de material, prazo de construção e custos.

Os geossintéticos podem ser classificados de acordo com NBR 12553, como:

- Geotêxteis: Segundo Barbosa (2016), são produtos têxteis e permeáveis, com boa capacidade de filtração, que têm propriedades hidráulicas e mecânicas que permitem seu bom desempenho em diversas obras geotécnicas. Podem ser utilizados para proteção, separação, drenagem e controle de erosão, pode ser também utilizando em taludes. Na figura 6, apresentada abaixo é mostrado um geotêxteis.

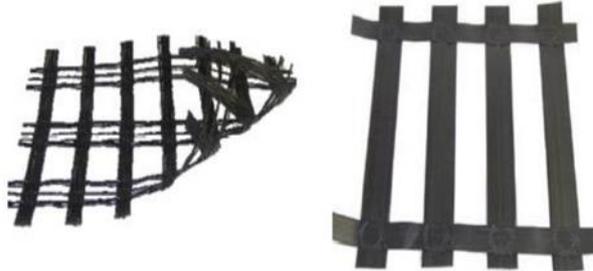
Figura 6: Geotêxteis



Fonte: Costa, 2015.

- Geogrelhas: São materiais geossintéticos com forma de grelha, como mostra a figura 7. A principal aplicação das geogrelhas é em reforço de solos (Costa, 2015).

Figura 7: Geogrelhas



Fonte: Maccaferri, 2008.

- Geomembranas: São mantas contínuas e flexíveis constituídas de um ou mais materiais sintéticos, como apresenta a figura 8, possuem baixíssima permeabilidade (Santos et al. 2019). A impermeabilização é a sua principal função, podendo ser utilizadas em canais de irrigação e barragens.

Figura 8: Geomembranas



Fonte: Costa, 2015.

- Georredes: São materiais com aparência muito semelhantes às geogrelhas, como mostra a figura 9. Segundo Barbosa (2016), é comum que o uso desses materiais seja feito em conjunto com outros geossintéticos, formando assim geocompostos. Possui alta porosidade ao longo do plano, sendo usada para conduzir elevadas vazões de fluidos ou gases (Costa, 2015).

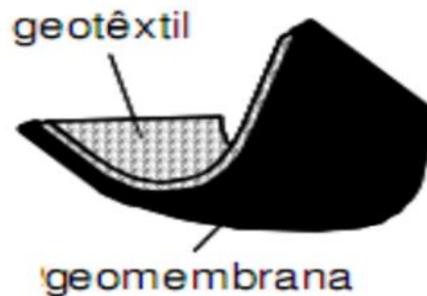
Figura 9: Georredes



Fonte: Costa, 2015.

- Geocompostos: São materiais formados pela associação entre dois geossintéticos ou entre um geossintético e outros produtos, geralmente criados para desempenhar uma função específica (MACCAFERRI, 2008). Como exemplo pode-se citar geotêxtil-georrede e geotêxtil-geogrelha, como apresenta a figura 10.

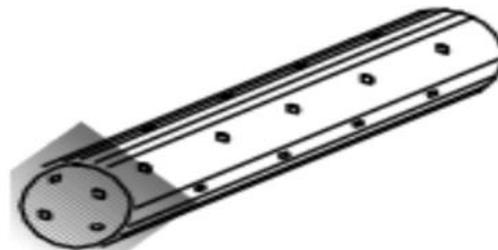
Figura 10: Geocompostos



Fonte: Costa, 2015.

- Geotubos: Os geotubos são produtos poliméricos de forma tubular, perfurados ou não, usados predominantemente para a drenagem de líquidos ou gases (Barbosa, 2016). Pode ser utilizado na coleta de chorume ou gases em aplicações de aterros sanitários. Um exemplo de geotubos é mostrado na figura 11.

Figura 11: Geotubos



Fonte: Costa (2015)

- Geocélula: São arranjos tridimensionais relativamente espessos, constituídos por tiras poliméricas, as tiras são soldadas para formar células interconectadas que são preenchidas com solo e, às vezes, concreto (Costa, 2015). Segundo Barbosa (2016), suas principais funções são de confinamento, proteção reforço, revestimento e contenção. Na figura 12 é mostrado a geocélula.

Figura 12: Geocélula



Fonte: Nortene, 2012.

O emprego de geossintéticos está cada vez mais presente em obras geotécnicas, por ser uma alternativa para substituição de materiais naturais. Em barragens de terra, a sua utilização é uma solução viável quando houver indisponibilidade ou alto custo do material usado tradicionalmente. Os geossintéticos podem ser utilizados em barragens de terra para drenagem e filtração, separação, proteção contra erosões e impermeabilização.

2.5 Uso de geomembranas em sistemas de proteção de taludes de montante (rip-rap)

Existem diversos tipos de geossintéticos que são utilizados em obras geotécnicas, entre eles destaca-se a geomembrana como um dos mais utilizados. De acordo com Monteiro (2012), considerando o conjunto das aplicações de geossintéticos em soluções de engenharia geotécnica e sanitária nas últimas três décadas em nível mundial, o emprego de geomembrana representa parcela considerável desse crescente mercado de soluções inovadoras de engenharia.

Segundo a Sociedade Internacional de Geossintéticos – IGS (2007), a geomembrana é uma camada polimérica, plana e relativamente impermeável, usada em contato com o solo, rocha ou qualquer outro material geotécnico. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na norma NBR 12553 (ABNT, 2000), define a geomembrana como um produto

bidimensional, de baixíssima permeabilidade, utilizado para controle de fluxo e separação, nas condições de solicitação.

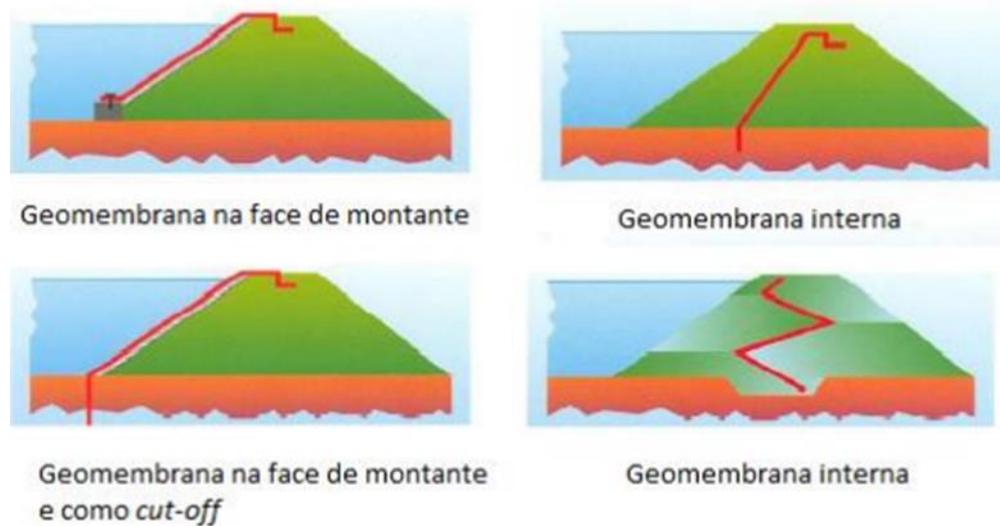
Os dois polímeros termoplásticos mais utilizados na fabricação das geomembranas são os amorfos e os semicristalinos, os quais possuem parte de sua estrutura amorfa e parte cristalina (Feldkircher, 2008). As geomembranas mais utilizadas no Brasil são as de PEAD e PVC (Lodi, 2003). Segundo Feldkircher (2008), as geomembranas são encontradas com superfícies lisas ou rugosas, sob diversas espessuras e fabricadas com diferentes polímeros.

Para realizar a escolha de qual geomembrana será a mais apropriada para a utilização em barragens de terra, deve-se avaliar algumas propriedades como resistência a tração, resistência ao cisalhamento, permeabilidade, flexibilidade e resistência ao rasgo. Para verificar essas e outras propriedades, realizam-se ensaios de caracterização e desempenho em laboratório. Segundo Colmanetti (2006), os ensaios de caracterização permitem assegurar que o produto entregue em campo está em conformidade com as especificações.

Conforme cita Sanfona (2018), de um modo geral, as propriedades das geomembranas podem ser divididas em físicas, mecânicas, hidráulicas, químicas, térmicas e relativas à durabilidade. Segundo Colmanetti (2006), acredita-se que as geomembranas fabricadas para a aplicação em barragens de terra duram em média 50 anos. Conforme Lodi (2003), em ensaios realizados em laboratório, verificou-se que as geomembranas possuem resistência ao rasgo e conforme aumenta-se a espessura da geomembrana, conseqüentemente aumenta a sua resistência.

As principais funções das geomembranas em barragens de terra são drenagem, separação e impermeabilização. Nas barragens de terra, as geomembranas também reagem bem a deformações do maciço e apresentam como vantagens sua simples aplicação, além da redução do tempo de construção (Santos, 2014). Conforme Colmanetti (2006), nas barragens de enrocamento e de terra as opções de aplicação da geomembrana são na face de montante ou na parte central como mostra a Figura 13.

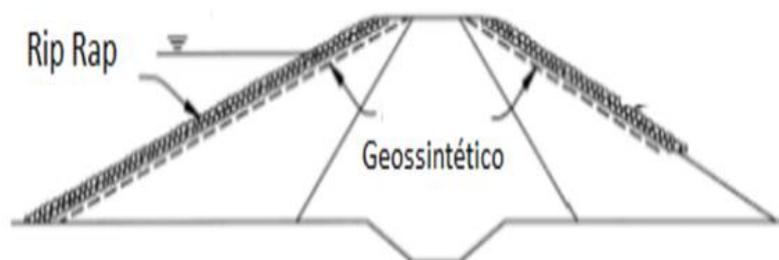
Figura 13: Utilização de geomembranas em barragem de terra



Fonte: Adaptado de Colmanetti, 2006.

Segundo Azambuja (2004), a utilização de geomembranas no talude de montante como forma de proteção, permite que haja uma redistribuição de tensões e deformações de modo que sua estabilidade seja beneficiada e que taludes mais íngremes possam ser construídos. Como vantagens, além de atuar como proteção para taludes, também pode ser citada a redução do tempo de construção da barragem, possibilidade de adotar diversos tipos de acabamentos dos taludes, controle de erosão superficial e maior estabilidade. Além disso, as geomembranas também podem ser utilizadas na reparação do rip-rap do taludes de montante em barragens e açudes de terra já existentes. De acordo com Barbosa (2016), em barragens de terra, esses materiais geossintéticos, como as geomembranas, podem ser utilizados em estruturas como o rip-rap, drenos e em reforços dos taludes Na Figura 14, é mostrada uma barragem com a aplicação de material geossintéticos.

Figura 14: Taludes com geossintético



Fonte: Fema, 2008.

Levando em consideração o trabalho de Colmanetti (2006), a instalação da geomembrana na face do talude de montante na barragem de terra deve ser cuidadosamente planejada, deve-se levar em consideração a geometria da face e as dimensões desse talude. Com essas informações pode-se dimensionar a largura e o comprimento da geomembrana que será utilizada, para que não ocorra emendas, pois as mesmas podem prejudicar o desempenho das geomembranas. Segundo Colmanetti (2006), a aplicação no talude ocorre através do posicionamento dos rolos de geomembranas na crista da barragem, e acontece o seu desenrolamento sempre do topo para a base do talude, que pode ser tanto manual quanto com equipamentos, dobras e rugas devem ser evitadas. Durante a aplicação da geomembranas pode ocorrer problemas de instalação causadas pelo vento, para evitar isso utiliza-se ancorar a mesma na crista e no decorrer do talude, essa ancoragem pode ser feita com sacos de areia.

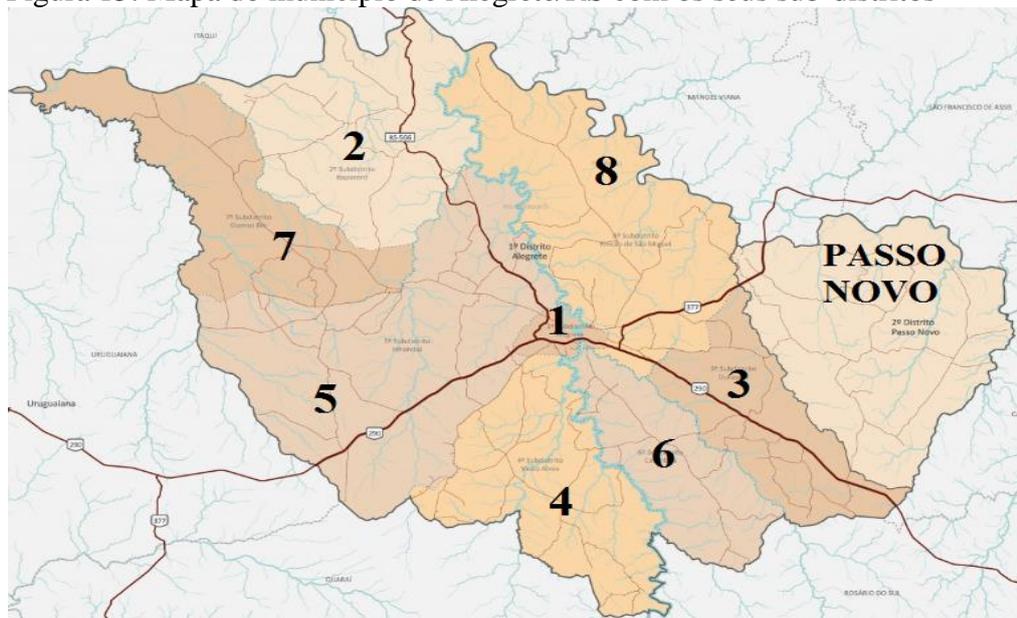
3 METODOLOGIA

3.1 Áreas de estudo

Foi adotado como pré-requisitos, para a escolha dos barramentos a serem analisados, que fossem localizados na região da fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, com preferencia na região do município de Alegrete, e que já houvesse estudos sobre esses barramentos. Levando em consideração os pré-requisitos citados a cima, realizou-se uma pesquisa bibliográfica com o intuito de encontrar trabalhos sobre barramentos na região do município de Alegrete. Após pesquisas, encontrou-se o trabalho intitulado “Estudos dos processos construtivos e das patologias de açudes e barragens geotécnicas de pequeno porte”, desenvolvido por Salinas (2017). O trabalho citado acima além de utilizar barramentos da região de Alegrete/RS, também aplicou a ficha de inspeção de barragem, proposto pelo Ministério da Integração Nacional (2010).

Sendo assim, selecionaram-se os oito barramentos, que foram vistoriados e aplicou-se a ficha de inspeção de barragem (Ministério da Integração Nacional, 2010). Para garantir a privacidade e discrição para os proprietários, foi utilizados códigos para nomear os barramentos analisados, sendo identificados como Barramento 01 (B-01), Barramento 02 (B-02), Barramento 03 (B-03), Barramento 04 (B-04), Barramento 05 (B-05), Barramento 06 (B-06), Barramento 07(B-07) e Barramento 08 (B-08). A Figura 15, mostra o mapa do município de Alegrete/RS com os seus sub-distritos.

Figura 15: Mapa do município de Alegrete/RS com os seus sub-distritos



Fonte: Adaptado de 3C Arquitetura e Urbanismo, 2020.

Na figura 15, é apresentado o mapa do município de Alegrete, em que os subdistritos estão numerados, abaixo será apresentado a legenda, com o distrito correspondente ao número que há no mapa e dimensão territorial desses distritos e subdistritos.

1. 1º Distrito Alegrete

2. 2º Sub-distrito Itapororó
3. 3º Sub-distrito Durasnal
4. 4º Sub-distrito Vasco Alves
5. 5º Sub-distrito Inhanduí
6. 6º Sub-distrito Catimbau
7. 7º Sub-distrito Guassu Boi
8. 8º Sub-distrito São Miguel

2º Distrito Passo Novo

Os barramentos B-02, B-03, B-04 e B-06 ficam localizados no 7º Sub-distrito Guasso Boi, os barramentos B-01 e B-05 ficam no 5º Sub-distrito Inhanduí, o barramento B-07 fica no 4º Sub-distrito Vasco Alves e o barramento B-08 no 8º Sub-distrito São Miguel.

A seguir, nas figuras 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 23 são apresentados registros fotográficos dos oito barramentos analisados nesse trabalho.

Figura 16: Barramento 1 (B-01)



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 17: Barramento 2 (B-02)



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 18: Barramento 3 (B-03)



Fonte Próprio autor, 2022.

Figura 19: Barramento 4 (B-04)



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 20: Barramento 5 (B-05)



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 21: Barramento 6 (B-06)



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 22: Barramento 7 (B-07)



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 23: Barramento 8 (B-08)



Fonte: Próprio autor, 2022.

Dentre os oito barramentos selecionados para o presente trabalho, pode-se destacar que cinco são barragens e três são açudes. Os barramentos denominados B-01, B-04, B-06, B-07 e B-08 são barragens, enquanto os açudes são os designados como B-02, B-03, B-05.

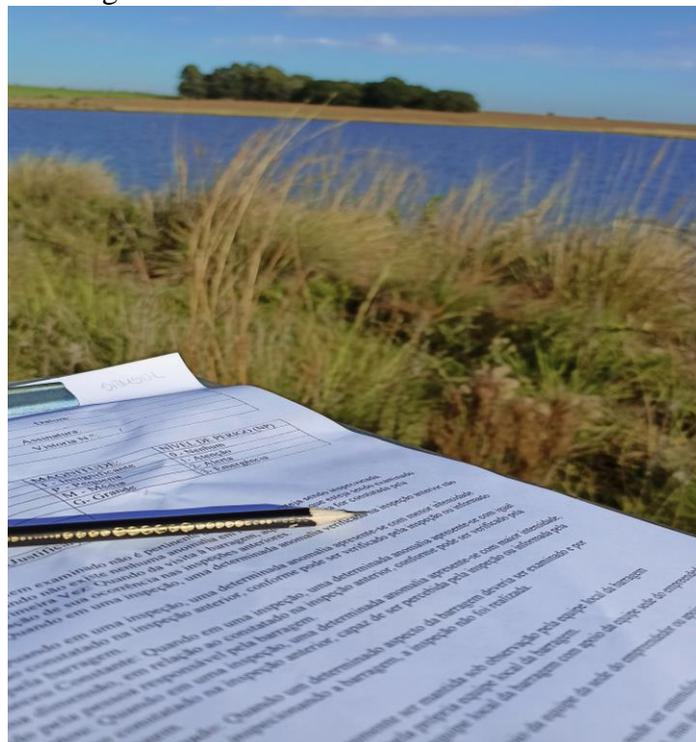
3.2 Vistorias de alguns barramentos na região da cidade de Alegrete/RS.

Para a realização dessas vistorias, primeiramente ocorreu o contato com os proprietários de cada barramento, onde foi solicitada a permissão para fazer a vistoria e a aplicação da ficha de inspeção de barragem (Ministério da Integração Nacional, 2010).

Esse contato ocorreu por meio de ligação telefônica, efetivando-se o agendamento da visita em cada barramento. As vistorias nas propriedades rurais ocorreram em dias agendados, em que algumas foram no mês de abril e outras no mês de maio de 2022, todas sucederam-se no turno da manhã, sempre saindo bem cedo. O deslocamento até as propriedades rurais aconteceram algumas vezes com veículo particular, e em outras, com veículo disponibilizado pela Universidade Federal do Pampa (Unipampa). O trajeto até as propriedades, eram através de estradas de chão na maior parte do caminho, estradas estreitas e com pouca manutenção, típicas do interior.

Ao chegar nas propriedades, dirigiu-se direto ao barramento que seria analisado, portando a ficha de inspeção de barragem (Ministério da Integração Nacional, 2010) impressa, lápis para fazer as anotações, câmera fotográfica para fazer registros das patologias observadas, como mostra a figura 24.

Figura 24: Materiais utilizados nas vistorias



Fonte: Próprio autor, 2022.

Para melhor observação dos barramentos, sempre efetuou-se uma caminhada ao longo da crista do barramento, verificando não só a crista, mas também o talude de montante, o talude de jusante, e a região à jusante. Com base nessas verificações e observações, preencheu-se a ficha de inspeção e também realizou-se anotações e registros fotográficos, como é representado na figura 25.

Figura 25: Observação e preenchimento da ficha de inspeção



Fonte: Próprio autor, 2022.

Conforme as orientações da ficha de inspeção em barragem de terra (Ministério da Integração Nacional, 2010), as anomalias presentes em cada barramento foram caracterizadas e classificadas de acordo com sua situação, magnitude e nível de perigo. Algumas das anomalias verificadas no talude de montante foram a presença de formigueiros, tocas de animais, presença de árvores e arbustos, erosões, escorregamentos, sinais de movimento, rip-rap incompleto, destruído ou deslocado e o deslocamento de blocos de rocha no rip-rap.

Foi verificada se havia presença de anomalias como afundamentos ou buracos, árvores e arbustos, erosão nos encontros das ombreiras, formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais, sinais de movimento, sinais de fuga d'água ou áreas úmidas no talude de jusante. Na

crista, anomalias como erosão, rachaduras, falta de revestimento, afundamentos e buracos, defeitos na drenagem, foram verificadas.

Por fim, na região da jusante, foram verificadas as seguintes anomalias, fuga d'água, construções irregulares próximas ao leito do rio, erosão nas ombreiras, cavernas e buracos nas ombreiras, árvores/arbustos na faixa de 10 metros do pé da barragem.

A ficha de inspeção de barragem, desenvolvida pelo Ministério da Integração Nacional (2010), encontra-se representada no ANEXO A, do presente trabalho.

3.3 Análise da correlação de custos de utilização e implantação de rip-rap sob utilização de enrocamento e geomembrana.

Realizou-se uma análise de correlação dos custos e implantação, para aplicação de estrutura de rip-rap em taludes de montante, em um cenário com o uso de enrocamento e no outro com o uso de geomembrana. A análise ocorreu com base no levantamento dos custos, no seu sistema de implantação, tanto para o enrocamento quanto para a geomembrana.

Para obter conhecimento sobre quais empresas trabalham com geomembrana, ocorreu uma pesquisa com o auxílio da internet, onde obteve-se dados de contatos dessas empresas. Em relação ao enrocamento, pesquisou-se com o auxílio da internet empresas que trabalhassem com esse material, além dessa pesquisa, houve o contato com pessoas que já utilizaram enrocamento e conheciam empresas na região.

Após pesquisar sobre empresas que trabalhassem com esses materiais, selecionou-se cinco empresas, cujo material de comércio fossem geomembranas, e outras cinco empresas que trabalhassem com enrocamento. Com o intuito de preservar as identidades das empresas que foram contatadas, utilizou-se denominações para cada uma delas, sendo as empresas que fornecem geomembranas classificadas como Empresas de Geomembrana (EG), EG-01, EG-02, EG-03, EG-04 e EG-05. Para as Empresas de Enrocamento (EE), denominou-se EE-01, EE-02, EE-03, EE-04 e EE-05.

Notou-se que as maiorias das empresas que trabalham com a venda e aplicação de geomembranas não são da região da fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, sendo que algumas empresas são de outros estados. No caso das empresas que fornecem enrocamento, todas são da região da fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul.

Abaixo é apresentado a tabela 2, que mostra o estado em que fica a localização de cada empresa que sucedeu-se o contato, tanto para geomembrana, quanto para o enrocamento.

Tabela 2: Estados em que estão localizadas as empresas

Empresas de Geomembrana	Estados em que estão localizadas
EG-01	Santa Catarina
EG-02	Paraná
EG-03	São Paulo
EG-04	Rio Grande do Sul
EG-05	Rio Grande do Sul
Empresas de Enrocamento	Estados em que estão localizadas
EE-01	Rio Grande do Sul
EE-02	Rio Grande do Sul
EE-03	Rio Grande do Sul
EE-04	Rio Grande do Sul
EE-05	Rio Grande do Sul

Fonte: Próprio autor, 2022.

Em posse dos contatos das empresas que trabalham com esses materiais (geomembranas e enrocamento), efetuou-se o contato com as mesmas, através de ligação telefônica ou e-mail, onde foi solicitado os valores do m² da geomembrana, e o m³ do enrocamento, assim como os valores da aplicação e transporte.

A maioria das empresas que foram procuradas para obter informações, tanto por ligação telefônica, quanto por e-mail, se mostraram disponíveis para fornecer essas informações solicitadas.

As informações obtidas serão apresentadas ao decorrer do presente trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Patologias presentes nos barramentos

A partir das inspeções in-situ, e da aplicação da ficha de inspeção de barragem de terra, proposta pelo Ministério da Integração Nacional (2010), obteve-se resultados que foram estruturados de acordo com a ficha de inspeção, onde a mesma classifica as anomalias de acordo com sua situação, magnitude e nível de perigo.

Nos casos em que não há presença de anomalias, os dois últimos itens citados à cima não são preenchidos. Neste tópico, os itens situação, magnitude e nível de perigo, presentes na ficha de inspeção, estão representados respectivamente, pelas siglas SI, MG e NP.

O item situação (SI), possui como alternativa de resposta às siglas NA, NE, PV e NI, que seguindo essa ordem, significa: este item não é aplicável, anomalia não existente,

anomalia constatada pela primeira vez e este item não foi inspecionado. Para o item magnitude (MG), as siglas I, P, M e G são apresentadas como opção de resposta, em que as mesmas significam respectivamente, insignificante, pequena, média e grande. Já o item nível de perigo (NP), detém como possibilidades de respostas os números 0, 1, 2 e 3, que significam nenhum, atenção, alerta e emergência, respectivamente.

Com base na estrutura da ficha de inspeção, os resultados são apresentados em forma de quadros, onde o primeiro quadro é referente aos resultados do levantamento patológico do talude de montante dos barramentos em estudos. Posteriormente, também representados por quadros, são expressos os resultados dos levantamentos patológicos da crista, do talude de jusante e da região a jusante.

Abaixo são apresentados os dados referentes aos resultados adquiridos através do levantamento patológico em cada um dos barramentos inspecionados.

4.1.1 Talude de montante

Abaixo são apresentados os quadros 1 e 2, com os dados obtidos com a aplicação da ficha de inspeção.

Quadro 1: Resultados do levantamento patológico dos taludes de montante

Barramento	Erosões			Escorregamentos			Rachaduras/afundamentos (laje de concreto)			Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado			Afundamentos e buracos		
	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP
B-01	PV	P	1	NE			NA			PV	P	1	NE		
B-02	PV	I	0	NE			NA			PV	I	0	NE		
B-03	PV	P	1	NE			NA			PV	M	2	NE		
B-04	PV	P	1	NE			NA			PV	P	1	NE		
B-05	PV	M	1	NE			NA			PV	P	1	NE		
B-06	PV	P	1	NE			NA			NE			NE		
B-07	PV	P	1	NE			NA			NE			NE		
B-08	NE	-	-	NE			NA			NE			NE		

Fonte: Próprio autor, 2022.

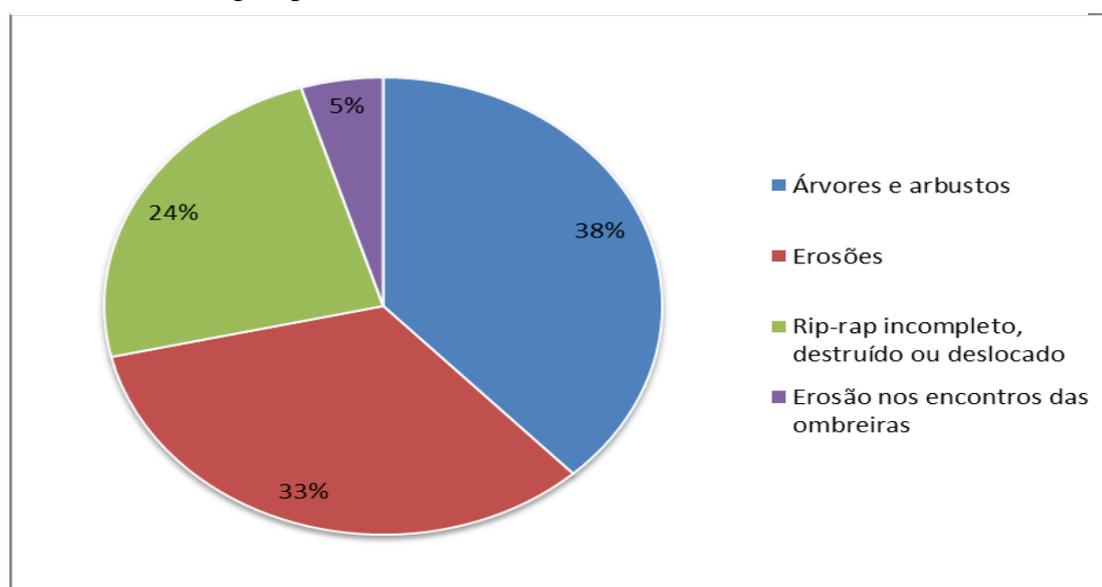
Quadro 2: Resultados do levantamento patológico dos taludes de montante

Barramento	Árvores e arbustos			Erosão nos encontros das ombreiras			Canaletas quebradas ou obstruídas			Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais			Sinais de movimento		
	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP
B-01	PV	I	0	NE			NA			NE			NE		
B-02	PV	I	0	NE			NA			NE			NE		
B-03	PV	M	1	PV	P	1	NA			NE			NE		
B-04	PV	P	1	NE			NA			NE			NE		
B-05	PV	P	1	NE			NA			NE			NE		
B-06	PV	P	1	NE			NA			NE			NE		
B-07	PV	P	1	NE			NA			NE			NE		
B-08	PV	P	1	NE			NA			NE			NE		

Fonte: Próprio autor, 2022.

Levando em consideração os resultados obtidos de uma forma geral com o preenchimento da ficha de inspeção, em relação às patologias do talude de montante, de todos os barramentos analisados no presente trabalho, obteve-se o gráfico 2.

Gráfico 2: Patologias presentes nos taludes de montante:



Fonte: Próprio autor, 2022.

Ao analisar o gráfico 2, percebe-se que as principais patologias identificadas nos taludes de montantes, com base nos resultados obtidos pela aplicação da ficha de inspeção, foram a presença de árvores e arbustos, erosões, rip-rap incompleto, destruído ou deslocado e erosão nos encontros das ombreiras.

- Árvores e arbustos

Percebeu-se nos barramentos a presença de árvores e arbustos ao longo do talude de montante, isso ocorre devido a falta de manutenção e cuidado com o barramento por parte dos proprietários. A presença de árvores e arbustos no talude de montante podem ocasionar percolação de água, devido as suas raízes que facilitam o caminho para que isso ocorra.

Essa percolação, faz com que o fluxo da água possa vir a aumentar a linha freática naquele determinado ponto, e resultar no aparecimento de áreas úmidas, ou até mesmo piping nos taludes do barramento. Para evitar os problemas citados acima, decorrentes da presença de árvores e arbustos, deve-se fazer a sua retirada.

Todos os barramentos apresentaram árvores e arbustos no talude de montante, os barramentos B-01 e B-02 foram classificados com magnitude insignificante e nível de perigo nenhum, o barramento B-03 classificado com magnitude média e nível de perigo 1, os barramentos B-04, B-05, B-06, B-07 e B-08 foram classificados com magnitude pequena e nível de perigo 1.

O barramento B-03 foi o que mais apresentou essa patologia ao longo do talude de montante, por isso sua magnitude foi a única média. Convém ressaltar, que o surgimento dessas árvores e arbustos ocorrem nos espaços entre as rochas do enrocamento, que formam a estrutura de proteção rip-rap, mostrando uma falha nessa proteção, pois as raízes dessas plantas podem gerar problemas no talude, como citado acima.

Abaixo, são apresentadas as figuras 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 e 33, referentes aos taludes de montante, com a presença de árvores e arbustos.

Figura 26: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-01



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 27: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-02



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 28: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-03



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 29: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-04



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 30: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-05



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 31: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-06



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 32: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-07



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 33: Árvores e arbustos no talude a montante no barramento B-08



Fonte: Próprio autor, 2022.

- Erosões

A erosão nos taludes de montante geralmente é ocasionada pela ação das ondas que se formam no reservatório e pelas variações do nível da água que o reservatório sofre, essas situações fazem com que o material fino do maciço venha a ser danificado. A presença dessa patologia provoca perda de uma parte da estrutura do barramento, o que pode afetar as dimensões do coroamento e deslocar o enrocamento, causando uma vulnerabilidade a níveis de erosões maiores.

A fim de evitar essa patologia, é necessário que ocorra uma manutenção do talude de forma adequada, repondo-se o material fino, deve-se também refazer a estrutura de proteção rip-rap quando a mesma for danificada.

Observou-se a presença de erosão em sete dos oito barramentos vistoriados, exceto o B-08, o que há torna umas das principais patologias identificadas. O barramento B-02 apresenta magnitude insignificante e nível de perigo 0, os barramentos B-01, B-03, B-04, B-06 e B-07 apresentam magnitude pequena e nível de perigo 1.

O barramento B-03 apresenta magnitude médio e nível de perigo 1. Abaixo, são apresentadas as figuras 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 e 41, dos taludes de montantes com a patologia.

Figura 34: Erosão no talude a montante do barramento B-01



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 35: Erosão no talude a montante do barramento B-02



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 36: Erosão no talude a montante do barramento B-03



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 37: Erosão no talude a montante do barramento B-04



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 38: Erosão no talude a montante do barramento B-05



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 39: Erosão no talude a montante do barramento B-06



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 40: Erosão no talude a montante do barramento B-07



Fonte: Próprio autor, 2022.

- Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado

O rip-rap incompleto, destruído ou deslocado e as erosões estão interligados no talude de montante, pois quando ocorre a erosão, o material fino ou a camada de transição do rip-rap é removido, descalçando-o e formando uma depressão. Como solução para essa patologia, deve-se resolver os problemas gerados pela erosão, para posteriormente refazer a proteção rip-rap.

Essa patologia da estrutura rip-rap ocorre devido ao mal planejamento dessa estrutura, e ao material utilizado, que não desenvolve uma boa atuação, seja pela qualidade inferior ou pela aplicação de forma errada.

Os barramentos que apresentaram o rip-rap incompleto, destruído ou deslocado foram cinco, dos oito vistoriados, que são: B-01, B-02, B-03, B-04 e B-05. Os barramentos B-01, B-04 e B-05 apresentam magnitude pequena e nível de perigo 1, o barramento B-02 apresenta magnitude insignificante e nível de perigo 0, o barramento B-03 apresenta magnitude média e nível de perigo atenção.

Abaixo, são apresentadas as figuras 41, 42, 43, 44 e 45 dos taludes de montantes com a patologia.

Figura 41: Rip-rap do talude a montante do barramento B-01



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 42: Rip-rap do talude a montante do barramento B-02



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 43: Rip-rap do talude a montante do barramento B-03



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 44: Rip-rap do talude a montante do barramento B-04



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 45: Rip-rap do talude a montante do barramento B-05



Fonte: Próprio autor, 2022.

- Erosão nos encontros das ombreiras

Essa patologia só foi observada em apenas um barramento, o B-03, segundo o Ministério da Integração (2010), isso ocorre principalmente devido ao escoamento da água de chuva, com isso ocasiona-se o aparecimento de erosão nas ombreiras. O nível de magnitude adotado foi pequeno e o nível de perigo foi 1. Abaixo é apresentada a figura 46, que representa a presença dessa patologia.

Figura 46: Erosão nas ombreiras no barramento B-03



Fonte: Próprio autor, 2022.

4.1.2 Cristas

Abaixo são apresentadas os quadros 3 e 4, com os dados obtidos com a aplicação da ficha de inspeção.

Quadro 3: Resultados do levantamento patológico das cristas

Barramento	Erosões			Rachaduras			Falta de revestimento			Falha no revestimento			Afundamentos e buracos			Árvores e arbustos		
	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP
B-01	NE			NE			NE			NE			PV	P	1	NE		
B-02	NE			NE			NE			NE			NE			NE		
B-03	NE			NE			NE			NE			NE			NE		
B-04	NE			NE			NE			NE			NE			NE		
B-05	NE			NE			NE			NE			NE			NE		
B-06	NE			NE			NE			NE			NE			NE		
B-07	NE			NE			NE			NE			NE			NE		
B-08	NE			NE			NE			NE			NE			NE		

Fonte: Próprio autor, 2022.

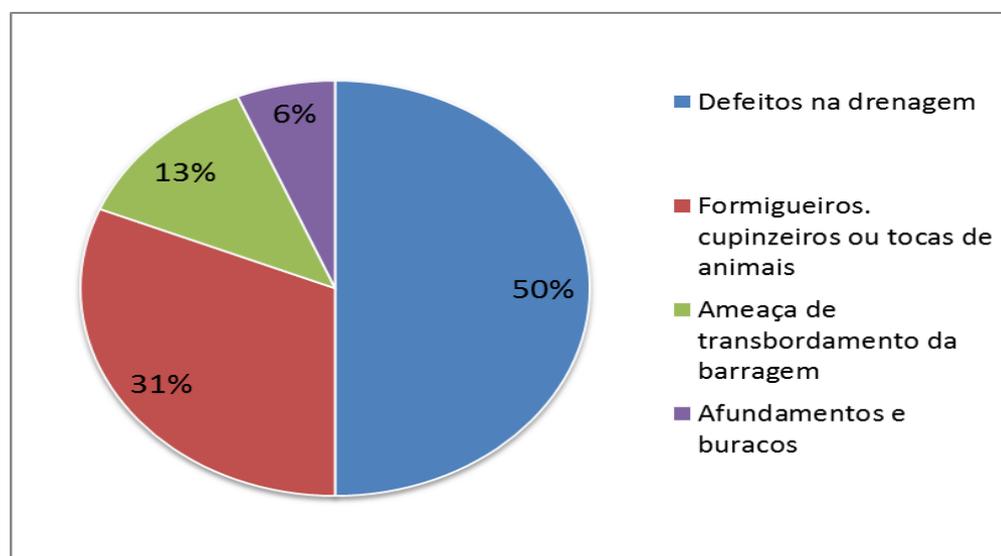
Quadro 4: Resultados do levantamento patológico das cristas

Barramento	Defeitos na drenagem			Defeitos no meio-fio			Formigueiros. cupinzeiros ou tocas de animais			Sinais de movimento			Desalinhamento do meio-fio			Ameaça de transbordamento da barragem		
	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP
B-01	PV	M	1	NA			NE			NE			NA			PV	P	1
B-02	PV	M	1	NA			PV	P	1	NE			NA			NE		
B-03	PV	M	1	NA			PV	I	0	NE			NA			NE		
B-04	PV	M	1	NA			PV	I	0	NE			NA			NE		
B-05	PV	M	1	NA			PV	I	0	NE			NA			PV	M	2
B-06	PV	M	1	NA			NE			NE			NA			NE		
B-07	PV	M	1	NA			PV	I	0	NE			NA			NE		
B-08	PV	M	1	NA			NE			NE			NA			NE		

Fonte: Próprio autor, 2022.

Ao realizar um levantamento geral dos dados preenchidos na ficha de inspeção, aplicada nos barramentos, plotou-se o gráfico 3, para melhor apresentação dos resultados.

Gráfico 3: Patologias presentes na crista



Fonte: Próprio autor, 2022.

Ao analisar o gráfico 3, percebe-se que as principais patologias identificadas na crista dos barramentos, foram: defeitos na drenagem, presença de formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais, ameaça de transbordamento da barragem, e afundamentos e buracos.

- Defeitos na drenagem

Em todos os barramentos analisados ocorreu a presença dessa patologia, defeitos na drenagem, isso aconteceu devido a inexistência do sistema de drenagem. Essa patologia pode gerar outras patologias na crista, como afundamentos e buracos, assim como erosões no talude de montante e de jusante. Conforme o Ministério da Integração Nacional (2002), uma forma de reparar essa anomalia, é a instalação de um sistema de drenagem adequado no barramento.

A figura 47, da crista do barramento B-01, apresenta acúmulo de água devido à falta deste sistema de drenagem. Vale ressaltar que apesar de só esse barramento apresentar na figura 47, acúmulo de água, os outros barramentos por não possuir nenhum sistema de drenagem, estão expostos aos mesmos problemas que o barramento B-01.

Figura 47: Defeitos na drenagem da crista do barramento B-01



Fonte: Próprio autor, 2022.

- Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais

A presença de formigueiros e tocas de animais facilitam a passagem de fluxo de água no interior do maciço, essa patologia pode acarretar na alteração do nível da linha freática naquele ponto, ocasionando áreas úmidas ou piping, assim como a patologia árvores e arbustos. Para evitar a ocorrência desse problema, deve-se realizar manutenções periódicas, para identificar e remover essa patologia.

Foram encontrados a presença de formigueiros e toca de animais em alguns dos barramentos estudados: B-02, B-03, B-04, B-05 e B-07. A magnitude foi considerada pequena e nível de perigo 1 para o barramento B-02. Foi considerado com magnitude insignificante e nível de perigo 0, os barramentos B-03, B-04, B-05 e B-07.

Abaixo, são apresentadas as figuras 48, 49, 50, 51 e 52, dos taludes de montantes com a patologia formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais no barramento.

Figura 48: Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais no barramento B-02



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 49: Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais no barramento B-03



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 50: Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais no barramento B-04



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 51: Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais no barramento B-05



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 52: Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais no barramento B-07



Fonte: Próprio autor, 2022.

- Ameaça de transbordamento

Essa patologia é uma das que requer mais atenção, conforme cita o Ministério da Integração (2010), os danos causados pelo galgamento podem levar até o rompimento total do barramento.

Com base nas vistorias, identificou essa patologia em dois barramentos, B-01 e B-05, em que respectivamente as magnitudes foram de pequena e média, e os níveis de perigo 1 e 2. È bom ressaltar que o nível da água no barramento B-05 estava bem elevado, próximo a crista, como mostra a figura 54.

Abaixo são apresentadas as figuras 53 e 54, dos barramentos B-01 e B-05.

Figura 53: Ameaça de trasbordamento do barramento B-01



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 54: Ameaça de transbordamento do barramento B-05



Fonte: Próprio autor, 2022.

- Afundamentos e buracos

Conforme as inspeções in-situ, apenas um barramento apresentou essa anomalia, o barramento B-01, que provavelmente tenha sido ocasionada pela falta de um sistema de drenagem, que faz com que a água da chuva crie canaletas para escoar, e ocasionada também pelo tráfego de veículos e animais pesados repetitivamente ao longo do tempo.

De acordo com o Ministério da Integração (2010), deve-se evitar a passagem de animais na crista do barramento em dias chuvosos, além de construir um sistema de drenagem, para poder reparar essa patologia.

A patologia identificada no barramento B-01, apresentou magnitude pequena e nível de perigo 1. Abaixo é apresentada a figura 55, referente a patologia encontrada na crista.

Figura 55: Afundamentos e buracos na crista do barramento B-01



Fonte: Próprio autor, 2022.

4.1.3 Talude de jusante

Abaixo são apresentadas as tabelas 5, 6 e 7, com os dados obtidos com a aplicação da ficha de inspeção.

Quadro 5: Resultados do levantamento patológico dos taludes a jusante

Barramento	Erosões			Escorregamentos			Rachaduras/afundamentos (laje de concreto)			Falha na proteção granular			Falha na proteção vegetal		
	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP
B-01	PV	M	2	NE			NA			NA			PV	M	2
B-02	NE			NE			NA			NA			NE		
B-03	PV	M	2	PV	P	1	NA			NA			PV	I	0
B-04	PV	P	1	NE			NA			NA			PV	M	1
B-05	NE			NE			NA			NA			PV	M	1
B-06	NE			NE			NA			NA			NE		
B-07	PV	P	1	NE			NA			NA			PV	P	1
B-08	NE			NE			NA			NA			NE		

Fonte: Próprio autor, 2022.

Quadro 6: Resultados do levantamento patológico dos taludes a jusante

Barramento	Afundamentos ou buracos			Árvores e arbustos			Erosão nos encontros das ombreiras			Cavernas e buracos nas ombreiras			Canaletas quebradas ou obstruídas		
	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP
B-01	NE			NE			NE			NE			NA		
B-02	NE			PV	I	0	NE			NE			NA		
B-03	NE			NE			NE			NE			NA		
B-04	NE			PV	P	1	PV	M	1	NE			NA		
B-05	NE			PV	P	1	NE			NE			NA		
B-06	NE			NE			PV	P	1	NE			NA		
B-07	NE			PV	P	1	NE			NE			NA		
B-08	NE			NE			NE			NE			NA		

Fonte: Próprio autor, 2022.

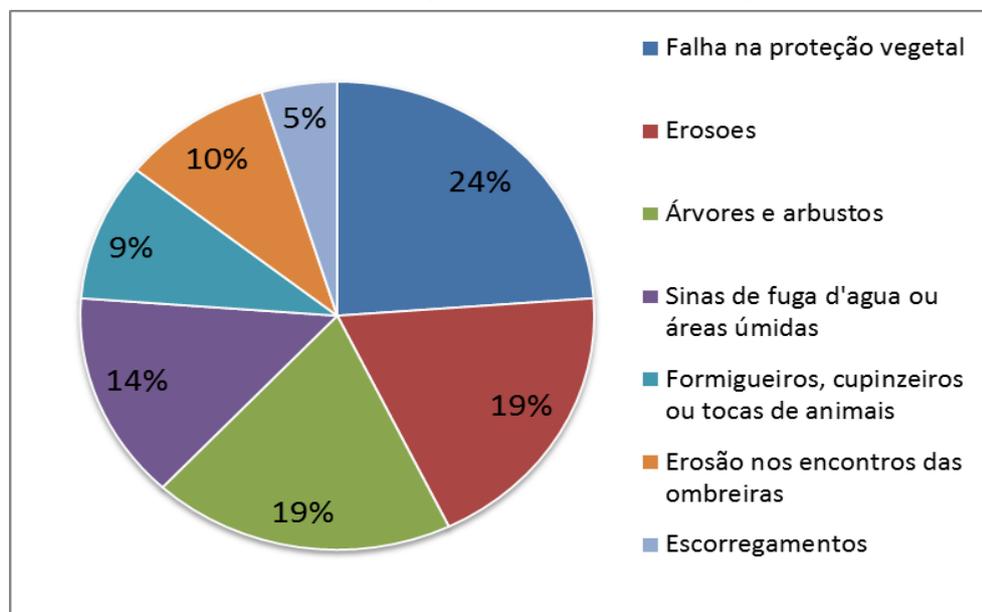
Quadro 7: Resultados do levantamento patológico dos taludes a jusante

Barramento	Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais			Sinais de movimento			Sinas de fuga d'água ou áreas úmidas			Carreamento de material na água dos drenos		
	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP
B-01	NE			NE			NE			NA		
B-02	PV	M	1	NE			NE			NA		
B-03	NE			NE			PV	M	2	NA		
B-04	NE			NE			NE			NA		
B-05	NE			NE			PV	M	2	NA		
B-06	NE			NE			PV	P	1	NA		
B-07	PV	I	0	NE			NE			NA		
B-08	NE			NE			NE			NA		

Fonte: Próprio autor, 2022.

Com base nos resultados apresentados nas tabelas acima, gerou-se o gráfico 4, para melhor visualização dos resultados.

Gráfico 4: Anomalias presentes nos taludes de jusante



Fonte: Próprio autor, 2022.

Ao analisar o gráfico 4, percebe-se que as principais patologias identificadas no talude de jusante dos barramentos, foram: falhas na proteção vegetal, erosões, presença de árvores e arbustos, presença de formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais, sinais de fuga d'água ou áreas úmidas, erosão nos encontros das ombreiras e escorregamentos.

- Falha na proteção vegetal

Constatou-se que cinco dos oito barramentos vistoriados possuíam essa patologia, sendo os cinco barramentos: B-01, B-03, B-04, B-05 e B-07. O barramento B-01 apresentou magnitude média e nível de perigo 2, o barramento B-03 com magnitude insignificante e nível de perigo 0, os barramentos B-04 e B-05, apresentaram magnitude média e nível de perigo 1. Por fim, o barramento B-07 com magnitude pequena e nível de perigo 1.

Abaixo é apresentado as figuras 56, 57, 58, 59 e 60, dos barramentos com essa patologia.

Figura 56: Falha proteção vegetal no talude de jusante do barramento B-01



Fonte; Próprio autor, 2022.

Figura 57: Falha proteção vegetal no talude de jusante do barramento B-03



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 58: Falha proteção vegetal no talude de jusante do barramento B-04



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 59: Falha proteção vegetal no talude de jusante do barramento B-05



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 60: Falha proteção vegetal no talude de jusante do barramento B-07



Fonte: Próprio autor, 2022.

- Erosões

Notou-se a patologia erosão nos taludes de jusante dos seguintes barramentos: B-01, B-03, B-04 e B-07. Essa patologia pode ocorrer devido a vários problemas, conforme ressalta o Ministério da Integração Nacional (2010), alguns dos problemas que desencadeiam essa patologia são galgamento, falha no sistema de drenagem do coroamento e também devido a inexistência ou falha na proteção vegetal do talude a jusante.

Algumas formas para resolver esses problemas são rebaixar o nível de água do reservatório, construir ou dar manutenção nos sistemas de drenagem e proteção vegetal. Abaixo segue as figuras 61, 62, 63 e 64, que representam os barramentos com essa patologia.

Figura 61: Erosão no talude a jusante do barramento B-01



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 62: Erosão no talude a jusante do barramento B-03



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 63: Erosão no talude a jusante do barramento B-04



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 64: Erosão no talude a jusante do barramento B-07



Fonte: Próprio autor, 2022.

5 Árvores e arbustos

Em alguns barramentos, foi notado a presença de algumas árvores e arbustos ao longo do talude de jusante. Segundo o Ministério da Integração Nacional (2010), essa anomalia é ocasionada devido ao descuido dos proprietários ou falta de manutenção do barramento.

Essas árvores e arbustos possuem raízes, que facilitam o caminho para percolação da água, o que pode ocasionar futuramente o surgimento de áreas úmidas ou piping nos taludes de jusante. Por isso deve-se retirar essas árvores e arbustos.

O barramento B-02 possui magnitude insignificante e nível de perigo 0, já os barramentos B-04, B-05 e B-07 possuem magnitude pequena e nível de perigo 1. Abaixo é apresentado as figuras 68, 69, 70 e 71, com a patologia citada.

Figura 65: Árvores e arbustos no talude do jusante do barramento B-02



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 66: Árvores e arbustos no talude do jusante do barramento B-04



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 67: Árvores e arbustos no talude do jusante do barramento B-05



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 68: Árvores e arbustos no talude do jusante do barramento B-07



Fonte: Próprio autor, 2022.

- Formigueiros, cupinzeiros e tocas de animais

Os formigueiros e tocas de animais facilitam o fluxo de água no interior do maciço, o que em níveis avançados podem ocasionar o aparecimento de áreas úmidas ou piping. Nos barramentos B-02 e B-07, notou-se a presença de formigueiros e tocas de animais, com magnitudes, média e insignificante, os níveis de perigo 1 e 0, respectivamente.

Devem-se realizar manutenções periódicas para identificação e remover estas patologias. Abaixo é apresentado as figuras 69 e 70, referentes a patologia citada.

Figura 69: Formigueiros e tocas de animais no talude de jusante do barramento B-02



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 70: Formigueiros e tocas de animais no talude de jusante do barramento B-07



Fonte: Próprio autor, 2022.

- Sinais de fuga d'água ou áreas úmidas

Os barramentos B-03 e B-05 apresentaram essa patologia com magnitude media e nível de perigo 2, o barramento B-06 apresenta a patologia com magnitude pequena e nível de perigo 1.

Abaixo é apresentado as figuras 71, 72 dos barramentos B-03, B-05, onde é visível a presença de água nesses barramentos. Na figura 73, não é possível ver a presença de água, pois a vegetação alta esconde, porém ao caminhar por esse local, era perceptível a presença de umidade e água.

Figura 71: Fuga d'água e áreas úmidas no talude de jusante do barramento B-03



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 72: Fuga d'água e áreas úmidas no talude de jusante do barramento B-05



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 73: Fuga d'água e áreas úmidas no talude de jusante do barramento B-06



Fonte: Próprio autor, 2022.

- Escorregamento:

Conforme o Ministério da Integração Nacional (2010), essa patologia geralmente é ocasionada devido a perda de resistência do barramento atribuída a infiltração de água, compactação inadequada ou falta suporte da fundação. Nas vistorias identificou-se apenas um barramento com essa patologia, o barramento B-03 (Figura 75), com magnitude pequena e nível de perigo 1.

Nesse barramento notou-se muitas rochas espalhadas pelo talude de jusante, representando que houve um escorregamento desse material. Esse problema é de extrema importância, pois se não solucionado oferece perigo de colapso do reservatório devido a perda de material resistente a jusante.

Figura 74: Escorregamento no talude de jusante do barramento B-03



Fonte: Próprio autor, 2022.

4.1.4 Região a jusante:

Abaixo é apresentado o quadro 8, com os dados obtidos com a aplicação da ficha de inspeção.

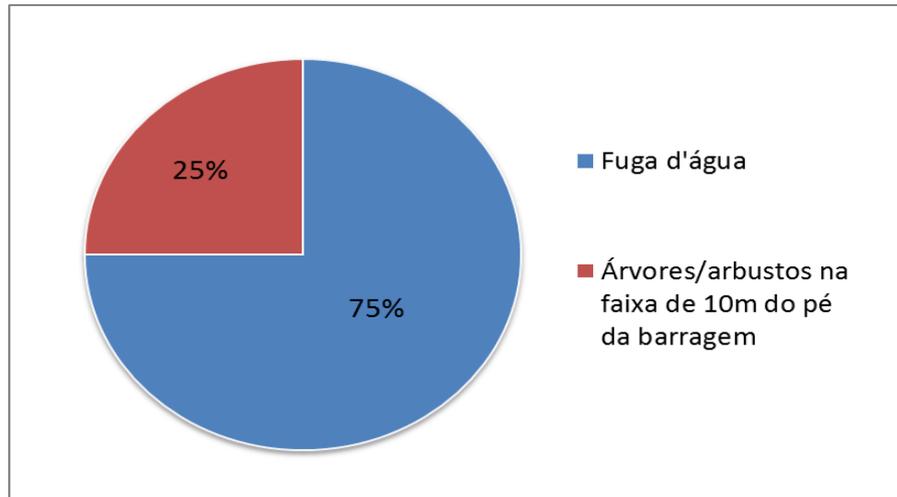
Quadro 8: Resultados do levantamento patológico da região a jusante

Barramento	Construções irregulares próximas ao leito do rio			Fuga d'água			Erosão nas ombreiras			Cavernas e buracos nas ombreiras			Árvores/arbustos na faixa de 10m do pé da barragem		
	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP	SI	MG	NP
B-01	NA			PV	M	1	NE			NE			NE		
B-02	NA			PV	M	1	NE			NE			NE		
B-03	NA			PV	M	1	NE			NE			NE		
B-04	NA			PV	M	1	NE			NE			NE		
B-05	NA			PV	M	1	NE			NE			PV	P	1
B-06	NA			PV	M	1	NE			NE			NE		
B-07	NA			NE			NE			NE			NE		
B-08	NA			NE			NE			NE			PV	P	1

Fonte: Próprio autor, 2022.

Ao analisar os dados obtidos à campo, sobre a região da jusante, construiu-se o gráfico 5, apresentado abaixo.

Gráfico 5: Anomalias presentes na região a jusante.



Fonte: Próprio autor, 2022.

Ao analisar o gráfico 5, percebe-se que as principais patologias identificadas na região a jusante dos barramentos, foram: fuga d'água e árvores/arbustos na faixa de 10 metros do pé da barragem.

- Fuga d'água

De acordo com o Ministério da Integração Nacional (2010), essa patologia é resultado de uma infiltração excessiva na área, que ocorre em razão do fluxo de água do barramento. Entre todos os barramentos que aplicou-se a ficha de inspeção, seis apresentaram essa patologia, os barramentos B-01, B-02, B-03, B-04, B-05 e B-07. Todos os barramentos citados, foram classificados com magnitude média e nível de perigo 1.

Abaixo é apresentado as figuras 76, 77, 78, 79, 80 e 81, dos barramentos com essa patologia.

Figura 75: Fuga d'água na região da jusante no barramento B-01



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 76: Fuga d'água na região da jusante no barramento B-02



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 77: Fuga d'água na região da jusante no barramento B-03



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 78: Fuga d'água na região da jusante no barramento B-04



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 79: Fuga d'água na região da jusante no barramento B-05



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 80: Fuga d'água na região da jusante no barramento B-07



Fonte: Próprio autor, 2022.

- Árvores/arbustos na faixa de 10m do pé da barragem

Dois barramentos apresentaram essa patologia, o barramento B-05 e B-08, ambos com magnitude pequena e nível de perigo 1.

A presença de árvores e arbustos na faixa do pé da barragem dificultou o acesso para poder fazer as vistorias, acredita-se que também deve dificultar o acesso para realizar manutenções nos barramentos, por isso recomenda-se que seja feita a remoção dessas árvores e arbustos.

Abaixo é apresentado as figuras 81 e 82, dos barramentos observados com essa patologia.

Figura 81: Árvores/Arbustos na região a jusante do barramento B-05



Fonte: Próprio autor, 2022.

Figura 82: Árvores/Arbustos na região a jusante do barramento B-08



Fonte: Próprio autor, 2022.

4.2. Análise de correlação de persistência das patologias ao longo do tempo

Como citado anteriormente, os barramentos utilizados para aplicação da ficha de inspeção de barragem (Ministério da Integração, 2010), foram os mesmos utilizados por Salinas(2017) no trabalho intitulado “Estudos dos processos construtivos e das patologias de açudes e barragens geotécnicas de pequena porte”. Salinas (2017), durante o desenvolvimento do seu trabalho, aplicou a ficha de inspeção em barragens nas partes que compõem esses barramentos, dentre elas pode-se destacar o talude de montante, talude de jusante, crista e região da jusante.

Em posse dos dados sobre as patologias observadas nesses barramentos, tanto pelo trabalho de Salinas (2017), quanto pelo presente trabalho, realizou-se uma análise da persistência dessas patologias ao longo do tempo. Foi analisado as patologias presentes no talude de montante, talude de jusante, crista e região a jusante dos oito barramentos, em que construiu-se tabelas utilizando os dados obtidos sobre a magnitude e o nível de perigo de cada patologia encontrada nos barramentos, tanto no trabalho de Salinas(2017), como no atual trabalho.

Dessa forma, é possível visualizar a situação dessas patologias nos dias atuais, em comparação ao ano de 2017, ano em que Salinas avaliou esses barramentos. Foi desenvolvido para cada barramento uma tabela, apresentando a magnitude e o nível de perigo das patologias encontradas por Salinas (2017), e pelo presente trabalho. Os quadros 9, 10, 11,12, 13, 14, 15 e 16 representam os dados dos barramentos B-01, B-02, B-03, B-04, B-05, B-06, B-07 e B-08, respectivamente.

Para melhor ilustração dessas tabelas, os dados retirados do trabalho de Salinas (2017) possuem legenda denominada **Salinas (2017)**, os dados do presente trabalho, a legenda é **Próprio autor (2022)**. As patologias referentes ao talude de montante, possuem um **(M)** ao lado, para melhor identificação, assim como as patologias da crista, que possuem um **(C)**, as patologias de talude de jusante, possuem um **(J)**, e as patologias da região da jusante possuem um **(RJ)** ao lado. A magnitude foi representada pela sigla **(MG)**, e o nível de perigo pela sigla **NP**.

4.2.1 Barramento B-01

Abaixo é apresentado quadro 9, referente ao barramento B-01 e aos resultados encontrados sobre as patologias observadas no talude de montante, crista, talude de jusante e região a jusante.

Quadro 9: Barramento B-01

B-01	Salinas (2017)		Próprio autor(2022)	
	MG	NP	MG	NP
Patologia				
Erosão (M)	M	1	P	1
Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado (M)	I	0	P	1
Árvores e arbustos (M)	-	-	I	0
Afundamentos e buracos (C)	-	-	P	1
Defeitos na drenagem (C)	M	1	M	1
Ameaça de transbordamento (C)	P	2	P	1
Erosão (J)	-	-	M	2
Falha na proteção vegetal (J)	P	1	M	2
Fuga d'água (RJ)	M	1	M	1

Fonte: Próprio autor, 2022.

Ao analisar o quadro 9, referente as patologias presentes no barramento B-01, percebe-se que aumentou a ocorrência de patologias nesse barramento em comparação aos dados obtidos por Salinas(2017).

Patologias como Árvores e arbustos presentes no talude de montante, afundamentos e buracos na crista e erosão no talude de jusante, não foram encontradas por Salinas em 2017, porém foram identificadas no presente trabalho, no ano de 2022, com magnitude insignificante, pequena e média, e nível de perigo 0, 1 e 2, respectivamente. Erosão no talude de montante, rip-rap incompleto, destruído ou deslocado, defeitos na drenagem da crista, ameaça de transbordamento da crista, falha na proteção vegetal do talude de montante e fuga d'água na região da jusante, são patologias que permaneceram presentes no barramento B-01, como é possível observar no quadro 9.

A magnitude em algumas patologias aumentou, como no rip-rap incompleto, destruído ou deslocado no talude de montante e na patologia fuga d'água na região da jusante, em outras patologias como erosão no talude de montante e ameaça de transbordamento da crista, a magnitude diminuiu.

De uma forma geral, ao fazer uma correlação dos dados de ambos os trabalhos, percebe-se que todas as patologias referentes ao barramento B-01 encontradas no trabalho de Salinas, no ano de 2017, persistem e algumas novas patologias foram identificadas no atual trabalho. A partir de observações da presença dessas patologias no barramento B-01, pode-se concluir que, ocorreu uma falta de manutenção mais continua no barramento ao longo do tempo, a fim de identificar e solucionar as patologias.

4.2.2 Barramento B-02

Abaixo é apresentado o quadro 10, referente ao barramento B-02 e aos resultados encontrados sobre as patologias observadas no talude de montante, crista, talude de jusante e região a jusante.

Quadro 10: Barramento B-02

B-02	Salinas (2017)		Próprio autor(2022)	
	MG	NP	MG	NP
Patologia				
Erosões (M)	G	2	I	0
Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado(M)	M	2	I	0
Árvores e arbustos (M)	-	-	I	0
Afundamentos e buracos (C)	P	1	-	-
Defeitos na drenagem(C)	M	1	M	1
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais(C)	I	0	P	1
Ameaça de transbordamento(C)	P	2	-	-
Arvores e arbustos (J)	P	1	I	0
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais (J)	-	-	M	1
Fuga d'água (RJ)	M	1	M	1

Fonte: Próprio autor, 2022.

No quadro 10, referente ao barramento B-02, com base nos dados de Salinas (2017) e do Próprio autor(2022), nota-se que quase todas as patologias encontradas por Salinas, permaneceram presentes nesse barramento B-02, exceto as patologias afundamentos e buracos na crista e ameaça de transbordamento da crista. Essas patologias que permaneceram presentes, a maioria delas diminuiu a sua magnitude.

Patologias como presença de árvores e arbustos no talude de montante e presença de formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais no talude de jusante, foram encontradas pela primeira vez no presente trabalho, com magnitude insignificante e média, nível de perigo 0 e 1, respectivamente.

Ao analisar essa tabela ao todo, identifica-se que quase todas as patologias encontradas nos barramentos por Salinas (2017), foram encontradas novamente no barramento B-02, isso indica uma persistência da presença dessas patologias.

4.2.3 Barramento B-03

Abaixo é apresentado o quadro 11, referente ao barramento B-03 e aos resultados encontrados sobre as patologias observadas no talude de montante, crista, talude de jusante e região a jusante.

Quadro 11: Barramento B-03

B-03	Salinas (2017)		Próprio autor(2022)	
	MG	NP	MG	NP
Patologia				
Erosão (M)	M	1	P	1
Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado (M)	-	-	M	2
Árvores e arbustos(M)	-	-	M	1
Erosão nos encontros das ombreiras(M)	-	-	P	1
Defeitos na drenagem(C)	M	1	M	1
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais(C)	I	0	I	0
Ameaça de transbordamento(C)	P	2	-	-
Erosão (J)	I	0	M	2
Escorregamento (J)	-	-	P	1
Falha na proteção vegetal(J)	I	0	I	0
Afundamentos e buracos (J)	I	1	-	-
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais (J)	I	0	-	-
Sinas de fuga d'água ou áreas úmidas(J)	-	-	M	2
Fuga d'água (RJ)	P	0	M	1

Fonte: Próprio autor, 2022.

Com base no quadro 11, do barramento B-03, nota-se que a presença de patologias aumentou desde o trabalho realizado por Salinas (2017). Patologias como rip-rap incompleto, destruído ou deslocado, presença de árvores e arbustos no talude de jusante, erosão nos encontros das ombreiras no talude de montante e sinais de fuga d'água ou áreas úmidas no talude de jusante, foram identificadas pela primeira vez, com magnitude, respectivamente, média, média, pequena, e média, já o nível de perigo, respectivamente 2, 1, 1, e 2.

Três patologias (Defeitos na drenagem da crista, formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais, falha na proteção vegetal do talude de jusante) que ainda estão presentes nesse barramento B-03, permaneceram com a mesma magnitude e nível de perigo que no trabalho de Salinas (2017).

A patologia fuga d'água na região a jusante aumentou a magnitude e o nível de perigo, que era magnitude pequena e nível de perigo 1, agora possui magnitude média e nível de perigo 1. A patologia erosão no talude de montante diminuiu a sua magnitude, antes era média, agora é pequena, o seu nível de perigo se manteve 1.

4.2.4 Barramento B-04

Abaixo é apresentado o quadro 12, referente ao barramento B-04 e aos resultados encontrados sobre as patologias observadas no talude de montante, crista, talude de jusante e região a jusante.

Quadro 12: Barramento B-04

B-04	Salinas (2017)		Próprio autor(2022)	
Patologia	MG	NP	MG	NP
Erosão (M)	M	1	P	1
Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado (M)	P	1	P	1
Árvores e arbustos(M)	P	1	P	1
Defeitos na drenagem(C)	M	1	M	1
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais(C)	P	1	I	0
Erosão (J)	P	0	P	1
Falha na proteção vegetal(J)	M	1	M	1
Erosão nos encontros das ombreiras(J)	-	-	P	1
Arvores e arbustos (J)	P	1	M	1
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais (J)	M	1	-	-
Fuga d'água (RJ)	M	1	M	1

Fonte: Próprio autor, 2022.

Ao analisar o quadro 12, referente as patologias presentes no barramento B-04, percebe-se que quase todas as patologias encontradas por Salinas (2017), ainda são vistas nos dias atuais. Cinco dessas patologias (rip-rap incompleto, destruído ou deslocado, árvores e arbustos no talude de montante, defeitos na drenagem na crista, falha na cobertura vegetal do talude de jusante e fuga d'água na região da jusante) permaneceram com a mesma magnitude e nível de perigo.

Algumas patologias diminuíram a sua magnitude ou o seu nível de perigo, como erosões no talude de montante, que no trabalho de Salinas (2017) possuía magnitude média, agora possui magnitude pequena, e a patologia formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais na crista possuía magnitude pequena, agora é insignificante.

Ocorreu o desaparecimento da patologia formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais no talude de jusante, em relação a vistoria de Salinas (2017), mas surgiu uma nova patologia, erosão nas ombreiras do talude de jusante, que não havia sido identificada anteriormente. Erosão no talude de jusante permaneceu com a mesma magnitude, pequena, mas o nível de perigo diminuiu, passou de 1 para 0. A patologia árvores e arbustos no talude de jusante aumentou a sua magnitude de pequena para média, o nível de perigo, continuou sendo 1.

4.2.5 Barramento B-05

Abaixo é apresentado o quadro 13, referente ao barramento B-05 e aos resultados encontrados sobre as patologias observadas no talude de montante, crista, talude de jusante e região a jusante.

Quadro 13: Barramento B-05

B-05	Salinas (2017)		Próprio autor(2022)	
	MG	NP	MG	NP
Patologia				
Erosão (M)	M	1	M	1
Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado (M)	P	1	P	1
Árvores e arbustos(M)	P	1	P	1
Defeitos na drenagem(C)	M	1	M	1
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais(C)	I	0	I	0
Ameaça de transbordamento(C)	-	-	M	2
Erosão (J)	M	1	-	-
Escorregamento (J)	M	2	-	-
Falha na proteção vegetal(J)	M	1	M	1
Arvores e arbustos (J)	G	2	P	1
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais (J)	M	1	-	-
Sinais de movimento(J)	G	2	-	-
Sinas de fuga d'água ou áreas úmidas(J)	M	1	M	2
Fuga d'água (RJ)	M	1	M	1
Árvores/arbustos na faixa de 10m do pé da barragem(RJ)	M	1	P	1

Fonte: Próprio autor, 2022.

Com base no quadro 13, percebe-se que sete patologias que eram presentes no barramento B-05 no trabalho de Salinas (2017), ainda se fazem presentes no atual trabalho, com a mesma magnitude e nível de perigo que possuíam no ano de 2017.

Essas patologias são: erosão no talude de montante com magnitude média e nível de perigo 1, rip-rap incompleto, destruído ou deslocado magnitude pequena e nível de perigo 1, árvores e arbustos no talude de montante com magnitude pequena e nível de perigo 1, defeitos na drenagem da crista com magnitude média e nível de perigo 1, formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais na crista com magnitude insignificante e nível de perigo 0, falha na proteção vegetal do talude de jusante, com magnitude média e nível de perigo 1 e fuga d'água na região a jusante, com magnitude média e nível de perigo 1.

Árvores e arbustos no talude de jusante e árvores/arbustos na faixa de 10m do pé da barragem na região a jusante, são patologias que também se mantiveram persistentes, porém a sua magnitude diminuiu em comparação com Salinas (2017).

As patologias erosão, escorregamento, formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais e sinais de movimento, foram encontradas por Salinas (2017) no talude de jusante, porém no presente trabalho essas patologias não foram identificadas. A patologia ameaça de transbordamento da crista foi identificada pela primeira vez no presente trabalho, com magnitude média e nível de perigo 2.

4.2.6 Barramento B-06

Abaixo é apresentado o quadro 14, referente ao barramento B-06 e aos resultados encontrados sobre as patologias observadas no talude de montante, crista, talude de jusante e região a jusante.

Quadro 14: Barramento B-06

B-06	Salinas (2017)		Próprio autor(2022)	
	MG	NP	MG	NP
Patologia				
Erosão (M)	G	2	P	1
Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado (M)	M	2	-	-
Árvores e arbustos(M)	P	1	P	1
Afundamentos e buracos (C)	P	1	-	-
Defeitos na drenagem(C)	M	1	M	1
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais(C)	I	0	-	-
Ameaça de transbordamento(C)	P	2	-	-
Erosão nos encontros das ombreiras(J)	P	1	P	1
Sinas de fuga d'água ou áreas úmidas(J)	-	-	P	1
Fuga d'água (RJ)	M	1	M	1

Fonte: Próprio autor, 2022.

Com base no quadro 14, é possível verificar que algumas patologias permaneceram sendo encontradas nesse barramento (B-06) com a mesma magnitude e nível de perigo encontrados por Salinas (2017), como árvores e arbustos no talude de montante, defeitos de drenagem na crista, erosão nos encontros das ombreiras no talude de jusante e fuga d'água na região a jusante.

A patologia erosão no talude de montante diminuiu de magnitude e nível de perigo, em relação a Salinas (2017), a magnitude atual é pequena e o nível de perigo 1. As patologias rip-rap incompleto, destruído ou deslocado, afundamentos e buracos na crista, formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais na crista e ameaça de transbordamento na crista, são patologias que foram encontradas por Salinas (2017), mas no presente trabalho, essas patologias citadas, não foram observadas nesse barramento.

A patologia fuga d'água na região a jusante, foi identificado pela primeira vez no atual trabalho realizado no ano de 2022.

4.2.7 Barramento B-07

Abaixo é apresentado o quadro 15, referente ao barramento B-07 e aos resultados encontrados sobre as patologias observadas no talude de montante, crista, talude de jusante e região a jusante.

Quadro 15: Barramento B-07

B-07	Salinas (2017)		Próprio autor(2022)	
	MG	NP	MG	NP
Patologia				
Erosão (M)	-	-	P	1
Árvores e arbustos(M)	-	-	P	1
Defeitos na drenagem(C)	M	1	M	1
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais(C)	-	-	I	0
Ameaça de transbordamento(C)	I	1	-	-
Erosão (J)	M	1	P	1
Escorregamento (J)	M	1	-	
Falha na proteção vegetal(J)	M	1	P	1
Arvores e arbustos (J)	-	-	P	1
Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais (J)	-	-	I	0
Sinais de movimento(J)	M	1	-	-
Sinas de fuga d'agua ou áreas úmidas(J)	M	2	-	-
Fuga d'água (RJ)	M	1	-	-
Erosão nas ombreiras(RJ)	M	1	-	-

Fonte: Próprio autor, 2022.

Levando em consideração os dados apresentados no quadro 15, sobre o barramento B-07, nota-se que as patologias erosão no talude de montante, árvores e arbustos no talude de montante, formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais na crista, árvores e arbustos no talude de jusante, formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais no talude de jusante, só foram identificadas na vistoria do presente trabalho.

As patologias erosão no talude de montante, árvores e arbustos no talude de montante, árvores e arbustos no talude de jusante possuem magnitude pequena e nível de perigo 1, já a patologia formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais no talude de jusante e formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais na crista possuem magnitude insignificante e nível de perigo 0.

Defeitos na drenagem na crista permaneceu presente, com magnitude média e nível de perigo 1.em ambos os trabalhos. No trabalho de Salinas (2017), foram encontradas as patologias: ameaça de transbordamento na crista com magnitude insignificante e nível de perigo 1, escorregamento no talude de jusante, sinais de movimento no talude de jusante, fuga

d'água e erosão nas ombreiras na região a jusante, todas com magnitude média e nível de perigo 1, sinais de fuga d'água ou áreas úmidas no talude de jusante, com magnitude média e nível de perigo 2, todas essas patologias não foram encontradas no presente trabalho.

4.2.8 Barramento B-08

Abaixo é apresentado o quadro 16, referente ao barramento B-08 e aos resultados encontrados sobre as patologias observadas no talude de montante, crista, talude de jusante e região a jusante.

Quadro 16: Barramento B-08

B-08	Salinas (2017)		Próprio autor(2022)	
	MG	NP	MG	NP
Patologia				
Árvores e arbustos(M)	-	-	P	1
Afundamentos e buracos (C)	P	1	-	-
Defeitos na drenagem(C)	M	1	M	1
Erosão (J)	G	2	-	
Escorregamento (J)	G	2	-	
Falha na proteção vegetal(J)	G	2	-	
Afundamentos e buracos (J)	G	2	-	
Sinais de movimento(J)	G	2	-	
Sinas de fuga d'agua ou áreas úmidas(J)	M	1	-	-
Fuga d'água (RJ)	M	1	-	-
Árvores/arbustos na faixa de 10m do pé da barragem(RJ)	-	-	P	1

Fonte: Próprio autor, 2022.

Ao analisar o quadro 16, percebe-se que a única patologia das que foram identificadas por Salinas (2017), que ainda permanece presente no barramento B-06 é a patologia defeitos na drenagem na crista, com magnitude média e nível de perigo insignificante.

Salinas (2017) também encontrou, além da patologia citada acima, as patologias: afundamentos e buracos na crista com magnitude pequena e nível de perigo insignificante, erosão no talude de jusante com magnitude grande e nível de perigo 2, escorregamento no talude de jusante com magnitude grande e nível de perigo 2, falha na proteção vegetal com magnitude grande e nível de perigo 2, afundamentos e buracos no talude de jusante com magnitude grande e nível de perigo 2, sinais de movimento no talude de jusante com magnitude grande e nível de perigo 2, sinais de fuga d'água ou áreas úmidas no talude de

jusante com magnitude média e nível de perigo 1 e a patologia fuga d'água com magnitude média e nível de perigo 1.

Algo que deve ser observado, é que todas essas patologias que Salinas (2017) encontrou no barramento B-08, não foram encontradas no presente trabalho, no mesmo, apenas encontrou-se as patologias: árvores e arbustos no talude de montante com magnitude pequena e nível de perigo1, e árvores/arbustos na faixa de 10m do pé da barragem na região a jusante com magnitude pequena e nível de perigo1, essas mesmas patologias não foram encontradas no trabalho de Salinas (2017).

Analisando de uma forma geral todas as patologias encontradas tanto pelo trabalho de Salinas (2017), quanto pelo presente trabalho, em todos os barramentos, nota-se que muitas patologias permaneceram ainda presentes nos barramentos ao longo dos anos, vale ressaltar que algumas diminuíram a sua magnitude e nível de perigo, porém ainda são encontradas nos barramentos.

Essa análise indica que na maioria dos barramentos vistoriados, não ocorreu uma manutenção adequada por parte dos proprietários, pois ocorreu uma permanências dessas patologias.

4.3 Levantamento de custos para aquisição e implantação de rip-rap utilizando enrocamento e geomembrana

Realizou-se um levantamento sobre os valores de enrocamento e geomembrana, assim como da implantação de cada um dos materiais, os resultados obtidos são apresentados nos quadros 17 e 18.

Quadro 17: Custos do enrocamento

Enrocamento	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5
Material $\varnothing \geq 1\text{m}$ (m ³)	R\$ 33,00	R\$ 38,00	R\$ 40,00	R\$ 38,00	R\$ 35,00
Material $0,5\text{m} \leq \varnothing \leq 1$ (m ³)	R\$ 33,00	R\$ 38,00	R\$ 40,00	R\$ 38,00	R\$ 35,00
Aplicação do material (m ³)	R\$ 21,00	R\$ 23,00	R\$ 25,00	R\$ 20,00	R\$ 23,00
Custo Frete(km rodado do caminhão)	R\$ 10,00	R\$ 13,00	R\$ 10,00	R\$ 15,00	R\$ 10,00
Custo total(m ³) p/ cada empresa (s/frete)	R\$ 54,00	R\$ 61,00	R\$ 65,00	R\$ 58,00	R\$ 58,00
Valor global dos custos(exceto frete)	R\$ 59,20				

Fonte: Próprio autor, 2022.

Quadro 18: Custos da geomembrana

Geomembrana (1,5mm)	Empresa 1	Empresa 2	Empresa 3	Empresa 4	Empresa 5
Custo Material (m ²)	R\$ 28,40	R\$ 30,00	R\$ 26,98	R\$ 40,00	R\$ 45,00
Custo Material complementar m ² (geotêxtil)	R\$ 8,50	R\$ 7,00	R\$ 8,00	R\$ 9,00	R\$ 9,00
Custo Aplicação(m ²)	R\$ 6,00	R\$ 5,00	R\$ 6,50	Incluso	Incluso
Custo Frete	Incluso	Incluso	Incluso	Incluso	Incluso
Custo total (m ²) de cada empresa	R\$ 42,90	R\$ 42,00	R\$ 41,48	R\$ 49,00	R\$ 54,00
Valor global dos custos	R\$ 45,88				

Fonte: Próprio autor, 2022.

Ao avaliar o quadro 17, referente aos custos do enrocamento, nota-se que o valor tanto do material, quanto transporte e aplicação são variáveis entre empresas. Porém por ser empresas localizadas na região o valor não tem uma grande diferença entre elas. O valor do metro cubico do enrocamento, independente do diâmetro, fica em torno de R\$ 33,00 e R\$40,00.

A aplicação requer máquinas de grande porte, cobrando em torno de R\$20,00 e R\$ 25,00 o metro quadrado para fazer a aplicação do enrocamento. O frete é em torno de R\$ 10 e R\$15,00 o quilometro (km) rodado do veículo que faz o seu transporte, geralmente caminhões. Em muitas propriedades da região, o enrocamento pode ser retirado da mesma, diminuindo o custo, para utilizar como estrutura de proteção rip-rap em taludes de montante.

A sua aplicação requer equipamentos de grande porte, como retro escavadeiras, para fazer o manejo do enrocamento no talude de montante. No quadro 17, também é apresentado o custo total (para cada empresa) e o valor global (média dos valores das empresas), do enrocamento e aplicação, porém o valor do frete total não estava incluso nesses cálculos, porque ele depende da distancia da propriedade em relação a cidade, já que o seu valor é calculado com base no quilometro rodado do caminhão que transporta o enrocamento. O custo total (material + aplicação) de cada empresa, sem o frete, varia entre R\$ 54,00 e R\$ 65,00 o metro cubico.

O valor global (média do custo total entre todas as empresas consultadas) sem o frete ficou em torno R\$ 59,20.

O quadro 18 apresenta os valores referentes a geomembrana, como o valor do metro quadrado e o valor de aplicação. Todas as empresas oferecem o valor do frete incluso já no valor da geomembrana, o valor da aplicação varia entre as empresas, três entre as cinco empresas contatadas cobram entre R\$ 5,00 e R\$6,00 o metro quadrado por aplicação da

geomembrana, duas empresas oferecem o serviço incluso no valor do metro quadrado da geomembrana.

Quando a barragem possui grandes dimensões, utiliza-se outro geossintético, formando um geocomposto, geralmente utiliza-se um geotêxtil para fazer uma proteção mecânica para a geomembrana, esse geotêxtil varia o valor entre R\$ 7,00 e R\$ 9,00. O custo total (material + aplicação + frete) de cada empresa varia entre R\$ 41,48 e R\$ 54,00 o metro quadrado.

O valor global (média do custo total entre todas as empresas consultadas) ficou em torno 45,88.

Ao analisar o valor global, que é a média dos custos de todas as empresas, presente nos quadros 17 e 18, tanto para o enrocamento quanto para a geomembrana, é possível perceber que o valor do enrocamento, é mais alto que o valor da geomembrana. Ressaltando que no caso do enrocamento, o valor total do frete ainda não está sendo somado junto aos outros valores, porque esse valor é calculado conforme a distancia até a propriedade, o que resulta em mais um valor agregado ao custo total de utilizar o enrocamento.

Para melhor entendimento, pode-se simular que uma propriedade rural, fica a uma distancia de 50 km da cidade de Alegrete/RS, de onde comprou-se enrocamento, para realizar a entrega desse material na propriedade, cobra-se o frete, com base nos valores fornecidos pelas empresas, em torno de R\$10,00 o quilometro rodado do veiculo que fará o transporte do enrocamento, tornando o valor total desse frete de R\$500,00, que será mais um valor a ser pago para utilizar enrocamento.

Portanto, com base em todos esses dados, é notável que a geomembrana possui um custo menor que o enrocamento.

4.4 Estudo comparativo das vantagens e desvantagens do uso do enrocamento e geomembrana

Ao entrar em contato com empresas que trabalham com geomembrana, foi informado que esse material é muito resistente, que dura no mínimo 25 anos, de fácil aplicação, pois as empresas que trabalham com esse material já fazem a sua instalação, e que por ser um material com alta durabilidade não requer manutenções contínuas.

A geomembrana é um material impermeável, em que é indicado para a utilização em reservatório de água, pois além de ser impermeável, possui alta durabilidade e protege contra infiltrações. A maioria das empresas que trabalham com geomembranas são localizadas em

outros estados, porém as mesmas fazem a entrega e instalação desse material independente do local onde é solicitado, pois as empresas que à fornecem, enviam para qualquer lugar do país. Outra vantagem da geomembrana, é que o valor do frete em todas as empresas consultadas já estava incluso no valor do metro quadrado do material.

Já o valor dá instalação (mão-de -obra e equipamentos) no talude de montante é variável de acordo com cada empresa, e algumas empresas não cobram a instalação porque a mesma está inclusa no valor da geomembrana. Algumas das desvantagens desse material, é que na região da fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul, não tem nenhuma empresa que trabalhe com esse material, a maioria das empresas são de outros estados, as poucas empresas que tem no Rio Grande do Sul, são localizadas próximo a região da capital do estado, o que faz que ocorra uma demora a mais na entrega e instalação do material.

Outra desvantagem é que apesar de ser um material com uma boa resistência, se torna sensível a objetos pontiagudos, podendo vir a rasga-la, diminuindo a sua eficiência, por isso indica-se utilizar outro geossintético aliado a geomembrana, formando um geocomposto.

O enrocamento possui como desvantagem o valor mais alto financeiramente, pois além do valor do material rochoso, o valor do frete se torna caro, porque geralmente essas propriedades rurais são afastadas da cidade, tornando o valor do frete com maior custo. O valor do frete é cobrado pelo quilometro rodado, e conforme a suba do combustível utilizado nos caminhões, que fazem o transporte desse material, o preço do quilometro rodado se torna mais alto.

Além disso, a aplicação desse material necessita de máquinas de grande porte, que cobram por metro quadrado de trabalho, e muitas vezes se faz necessário utilizar mão de obra humana, para sentar o enrocamento com diâmetro menor nos espaços vazios, para melhor proteção do talude. Pode-se citar outra desvantagem do enrocamento além do valor econômico para a sua compra e instalação, que é a sua durabilidade, por ser um material de origem natural, possui a tendência de se degradar com mais facilidade, principalmente por causa das ações das ondas formadas no interior do reservatório de água e pela variação do nível de água nesse barramento, que acaba por danificar o enrocamento que está formando a proteção rip-rap.

A utilização de enrocamento requer manutenções mais seguidas, para verificar se há a necessidade de refazer alguns trechos, que o enrocamento já apresenta problemas, o que envolverá mais um gasto financeiro em relação a manutenção desse material. Como vantagem, pode-se citar que em alguns lugares, o enrocamento é retirado da própria propriedade, o que diminui o valor gasto para fazer a estrutura rip-rap de enrocamento.

É bom ressaltar que o material rochoso utilizado para estrutura rip-rap deve ser de boa qualidade, para evitar que com o passar do tempo acabe sofrendo alteração na sua resistência, o que o torna mais suscetível a patologias, como erosões, rip-rap deslocado ou destruído, e mesmo sendo material de boa qualidade devem ocorrer manutenções periódicas.

5 CONCLUSÃO

O estudo do levantamento patológico realizado nos barramentos que estão localizados na área rural do município de Alegrete/RS, mostrou a ocorrência de vários tipos de patologias em todas as partes vistoriadas dos barramentos, isso deva-se provavelmente à falta de manutenções frequentes. Dentro das principais patologias encontradas, destaca-se as erosões, presença de árvores e arbustos nos taludes, falta de sistema de drenagem apropriada na crista, além da presença de tocas de animais nos taludes e crista.

Nos taludes de montante dos barramentos, verificou-se que as principais patologias encontradas correspondem às condições das camadas de proteção de rip-rap, constituídas de enrocamento. Na maioria dos casos, o rip-rap não foi projetado adequadamente, envolvendo a falta de utilização de material apropriado na sua composição, que por sua vez, terminam sendo removidos dos seus locais pelo impacto das ondas da água do reservatório.

Quanto à persistência das patologias ao longo do tempo, no intervalo de 5 anos, constatou-se que grande parte dos tipos de patologias registradas na primeira avaliação feita por Salinas (2017), ainda são ocorrentes nos mesmos barramentos, além do surgimento de outros tipos de patologias com o passar do tempo. Entre todos os barramentos, apenas o B-08 foi o que apresentou redução do tipo e magnitudes das patologias, isso devido a uma possível manutenção realizada no mesmo. De forma geral, para o intervalo de 5 anos, conclui-se que não houve manutenções frequentes na maioria dos barramentos estudados e, nem a procura por alternativas que visem minimizar o surgimento de novas patologias.

A partir da análise de correlação dos custos para aplicação de estrutura de rip-rap em talude de montante, utilizando geomembrana ou enrocamento, verificou-se que o custo do metro quadrado da geomembrana é menor em comparação ao custo do metro cúbico do enrocamento. Além disso, segundo relato das empresas pesquisadas, o frete de deslocamento e aplicação da geomembrana já estaria incluso no custo da venda. Já para a situação do enrocamento, o custo global total poderia aumentar em função da distância entre a jazida e o local da obra.

O estudo comparativo das vantagens e desvantagens do uso de geomembrana ou enrocamento em camadas de rip-rap, mostrou que a geomembrana possui uma alta durabilidade, alta impermeabilidade e requer pouca manutenção, além de envolver menores custos de implantação em comparação ao enrocamento. Como desvantagem, as geomembranas não oferecem boas resistências a elementos punção cortantes.

De forma geral, o presente trabalho possibilitou verificar para os barramentos inseridos no município de Alegrete/RS, quais as principais patologias que afetam as estruturas de rip-rap, constituídas de enrocamento. Finalmente, destacar a possibilidade da utilização de geomembrana como estrutura de proteção em rip-rap, transformando-se em uma alternativa propícia, em substituição ao uso do enrocamento.

6 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

- Estudar o histórico e comportamento dos ventos na região da campanha do rio grande do sul, envolvendo o seu efeito na geração de ondas em reservatórios de açudes e barragens;

- Fazer um estudo de correlação entre a orientação espacial do eixo da barragem, tamanho e forma da área de alagado do reservatório, em função da direção e sentidos dos ventos;

- Fazer simulações em modelo reduzido físico, comparando os aspectos funcionais e estruturais do uso de enrocamento e geomembranas em estruturas de rip-rap sob os efeitos do impacto das ondas da água.

7 REFERÊNCIAS

ABNT – **Associação brasileira de normas técnicas, NBR. 12553: Geossintéticos – Terminologia.** Jul. 2003

ADAM. **ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS. Roteiro básico para o dimensionamento de pequenas barragens de terra no estado de MG.** Disponível em: http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos_aplicativos/roteiro_dimensionamento_barragens.html. Acesso em Jan. de 2022.

ANA. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.** Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em Jan. de 2022.

ANA. **Resolução nº 236**, de 30 de janeiro de 2017. Brasília, DF. Disponível em <https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2017/236-2017.pdf>. Acesso em Jan. de 2022.

ARAUJO, C. C. **Análise de riscos em barragens de abastecimento de água da grande João Pessoa-PB.** 2014. 81f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Paraíba - João Pessoa, 2014.

AZAMBUJA, E. SAYÃO, A. EHRLICH, M. GOMES, R. C. **Muros e Taludes Reforçados.** Manual Brasileiro de Geossintéticos. P. 84-123. São Paulo: Blutches, 2004

BARBOSA, C. C. **A utilização de materiais geossintéticos em barragens de terra e enrocamento.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Universidade Federal da Paraíba – João Pessoa, 2016.

BIRCK, M. **Barragens de terra homogênea: uma análise crítica entre os projetos empírico e científico.** 2016.

CAPUTO, Homero Pinto. 1987. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1987. v. 3.

CARMO, P. I. O. **Gerenciamento de edificações: proposta de metodologia para o estabelecimento de um sistema de manutenção de estruturas de concreto armado.** Dissertação Mestrado. UFSM. Santa Maria/RS, 2000.

CARVALHO, D. **BARRAGENS: UMA INTRODUÇÃO PARA GRADUANDOS.** Campinas, 2011.

CBDB - Comitê Brasileiro de Barragens. **Apresentação das barragens.** Rio de Janeiro, 2021.

CHIOSSI, Nivaldo. **Geologia de Engenharia.** 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 424p.

COLMANETTI, J.P. **Estudos sobre a aplicação de geomembranas na impermeabilização da face de montante de barragens de enrocamento.** 2006.

CORDEIRO, G. E. M. **Estudo de fluxo de barragens de terra**. 103 f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal do Paraná. Paraná.

COSTA, Amauri Harvey et al. **VERSATILIDADE DOS GEOSINTÉTICOS APLICADA À ENGENHARIA**.

COSTA, W. D. **Geologia de Barragens**. São Paulo: Oficina dos textos. 352f. 1ª Edição. 2012.

CRUZ, P.T. **100 Barragens brasileiras**. 1ed. São Paulo: Oficina de Textos, 1996.

EUCLYDES, H. P. **Atlas digital das águas de Minas: uma ferramenta para o planejamento e gestão dos recursos hídricos**. 3 ed. Viçosa, MG: UFV, 2011

FEMA, Federal Emergency Management Agency. **Geotextiles in embankment dams**, 2008, 254 p

FELDKIRCHER, Wendel. **Impermeabilização de aterro sanitário com geomembrana**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil)–Universidade de São Francisco. Itatiba , 2008.

FILHO, J. A. P. **Utilização de solo residual de diabásio como elemento de fundação e material de construção de aterros compactados para barragens de pequena porte. 2002**. Tese de Doutorado. Dissertação Mestrado em Construções, Campinas, Universidade de Campinas.

FRUTUOSO, A. **Comportamento de Barragens de Enrocamento com Face de concreto sujeitas a diferentes condições de fundação**.(AP Assis, Ed.). 2003. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado.

GAIOTO, N. 2003. **Introdução ao projeto de barragens de terra e de enrocamento**. 126 p. São Carlos: EESC-USP.

ICOLD - Comissão Internacional de Grandes Barragens. **Síntese Geral**. 2022.

LODI, P. C. **Aspectos de degradação de geomembranas poliméricas de polietileno de alta densidade (PEAD) e de poli (cloreto de vinila)(PVC)**. 2003. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MACCAFERRI. **Manual Técnico: Critérios gerais para projeto, especificação e aplicação de geossintéticos**. São Paulo, Brasil. 2008.

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

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Manual de Preenchimento da Ficha de Inspeção de Barragem**. Brasília, 2010.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília, 2002.

MONTEIRO, C. B. **Estudo de interface solo: geomembrana com variações de níveis de saturação do solo.** 2012.

NETTO, A. S. **Análise de estabilidade de uma barragem de terra: abordagens determinística e probabilística.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

NOBRE, M. G. G. **Análise das condições de segurança de barragens da Região do Vale do Jaguaribe do Estado do Ceará.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Ceará. CE, 92 p.

NORTÈNE. **Manual de geossintéticos.** Departamento Técnico Nortene Plásticos Ltda.

PEREIRA, L. M.M. **Avaliação das condições de manutenção e segurança de barragens no interior do estado do Rio Grande do Norte .** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

PIEROZAN, Rodrigo César. **Aplicação de geomembranas em tapetes impermeáveis a montante de barragens de terra.** 2014.

Revisão do Plano Diretor de Alegrete. **3C ARQUITETURA E URBANISMO**, 2020. Disponível em: <http://www.3c.arq.br/portfolio/081_ale/>. Acesso em: 06 de maio de 2022.

RODRIGUES, A; MARINHO, H; DANTAS, J. 2014. **Barragens para geração de energia, controle de cheias e irrigação, usos múltiplos e conflitos.** Trabalho acadêmico. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.

SALINAS, J. V. **Estudo dos processos construtivos e das patologias de açudes e barragens geotécnicas de pequena porte.** 2017.

SANFONA, P. M. G. S. S. **Aplicação de Geomembranas de PVC em Barragens: Influência da Temperatura no Controle das Soldaduras.** 2018. Tese de Doutorado.

SANTOS, L. S. **Estudo da durabilidade de geomembranas utilizadas na impermeabilização de reservatórios das barragens de Rejeito de Ouro.** 2014. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, MG, 180 p.

SANTOS, L. R. R. et al. **Aplicações de geossintéticos na geotecnia ambiental: análise de publicações brasileiras nos últimos 20 ANOS (1999 a 2018).** 2019 São Paulo. 2012. 81 p.

SILVA, P. H. D. **Avaliação de barragem de terra: Levantamento de patologias e verificação do barramento no parque cascavel em Goiânia-GO.** 2019.

SOCIEDADE INTERNACIONAL DE GEOSSINTÉTICOS (**International Geosynthetic Society – IGS**) disponível em: <<http://igsbrasil.org.br>>. Acesso em Jan. de 2022.

SOUZA, M. M. d. **Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC.** 139f. Trabalho de Conclusão de Curso, 2013.

VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. ABINT. São Paulo, Brasil, 2004.

ANEXOS A: FICHA PARA INSPEÇÃO REGULAR DE BARRAGEM DE TERRA

DADOS GERAIS - CONDIÇÃO ATUAL		
1 – Nome da Barragem:		
2 - Coordenadas: _____° _____' _____" S _____° _____' _____" O Datum:		
3 – Município/Estado:		
4 - Vistoriado Por:		
5 - Data da Vistoria: / /		
6 - Cota atual do nível d'água:		

Legenda:

SITUAÇÃO:	MAGNITUDE:	NÍVEL DE PERIGO DA ANOMALIA (NPA)
NA – Este item Não é Aplicável	I - Insignificante	0 - Nenhum
NE – Anomalia Não Existente	P - Pequena	1- Atenção
PV – Anomalia constatada pela Primeira Vez	M - Média	2- Alerta
DS – Anomalia Desapareceu	G- Grande	3- Emergência
PC – Anomalia Permaneceu Constante		
AU – Anomalia Aumentou		
NI – Este item Não foi Inspeccionado (Justificar)		

SITUAÇÃO:

NA – Este item Não é Aplicável: O item examinado não é pertinente à barragem que esteja sendo inspecionada.

NE – Anomalia Não Existente: Quando não existe nenhuma anomalia em relação ao item que esteja sendo examinado.

PV – Anomalia constatada pela Primeira Vez: Quando da visita à barragem, aquela anomalia for constatada pela primeira vez, não havendo indicação de sua ocorrência nas inspeções anteriores.

DS – Anomalia Desapareceu: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia verificada na inspeção anterior não mais esteja ocorrendo.

DI – Anomalia Diminuiu: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresente-se com menor intensidade ou dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, conforme pode ser verificado pela inspeção ou informado pela pessoa responsável pela barragem.

PC – Anomalia Permaneceu Constante: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresente-se com igual intensidade ou a mesma dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, conforme pode ser verificado pela inspeção ou informado pela pessoa responsável pela barragem.

AU – Anomalia Aumentou: Quando em uma inspeção, uma determinada anomalia apresente-se com maior intensidade, ou dimensão, em relação ao constatado na inspeção anterior, capaz de ser percebida pela inspeção ou informada pela pessoa responsável pela barragem.

NI – Este item Não foi Inspeccionado: Quando um determinado aspecto da barragem deveria ser examinado e por motivos alheios à pessoa que esteja inspecionando a barragem, a inspeção não foi realizada.

MAGNITUDE:

I - Insignificante: Anomalia de pequenas dimensões, sem aparente evolução;

P - Pequena: Anomalia de pequena dimensão, com evolução ao longo do tempo.

M - Média: Anomalia de média dimensão, sem aparente evolução.

G - Grande: Anomalia de média dimensão, com evidente evolução, ou anomalia de grande dimensão.

NÍVEL DE PERIGO DA ANOMALIA - NPA:

0 - Normal: quando determinada anomalia não compromete a segurança da barragem;

1 - Atenção: quando determinada anomalia não compromete de imediato a segurança da barragem, mas, caso venha a progredir, pode comprometê-la, devendo ser controlada, monitorada ou reparada;

2 - Alerta: quando determinada anomalia compromete a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências imediatas para a sua eliminação;

3 - Emergência: quando determinada anomalia representa alta probabilidade de ruptura da barragem.

NÍVEL DE PERIGO GLOBAL DA BARRAGEM - NPGB:

0- Normal: quando o efeito conjugado das anomalias não compromete a segurança da barragem.

1- Atenção: quando o efeito conjugado das anomalias não compromete de imediato a segurança da barragem, mas caso venha a progredir, pode comprometê-la, devendo ser controlada, monitorada ou reparada.

2- Alerta: quando o efeito conjugado das anomalias compromete a segurança da barragem, devendo ser tomadas providências imediatas para eliminá-las.

3- Emergência: quando o efeito conjugado das anomalias representa alta probabilidade de ruptura da barragem.

O NPGB será no mínimo igual ao NPA de maior gravidade, devendo, no que couber, estar compatibilizado com o Nível de Resposta previsto no artigo 27 da Res ANA 236/2017.

B. BARRAGEM														
B.1	TALUDE DE MONTANTE	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Escorregamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Rachaduras/afundamento (laje de concreto)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Rip-rap incompleto, destruído ou deslocado	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Erosão nos encontros das ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Canaletas quebradas ou obstruídas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Sinais de movimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários:														
B.2	COROAMENTO	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Rachaduras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Falta de revestimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Falha no revestimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Defeitos na drenagem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Defeitos no meio-fio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Sinais de movimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
11	Desalinhamento do meio-fio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
12	Ameaça de transbordamento da barragem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários:														

B.3	TALUDE DE JUSANTE	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Erosões	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Escorregamentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Rachaduras/afundamento (laje de concreto)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Falha na proteção granular	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Falha na proteção vegetal	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Afundamentos e buracos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
8	Erosão nos encontros das ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
9	Cavernas e buracos nas ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
10	Canaletas quebradas ou obstruídas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
11	Formigueiros, cupinzeiros ou tocas de animais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

12	Sinais de movimento	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
13	Sinais de fuga d'água ou áreas úmidas	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
14	Carreamento de material na água dos drenos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
Comentários:														

B.4	REGIÃO A JUSANTE DA BARRAGEM	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Construções irregulares próximas ao leito do rio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Fuga d'água	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Erosão nas ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Cavernas e buracos nas ombreiras	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Árvores/arbustos na faixa de 10m do pé da barragem	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

Comentários:

B.5	INSTRUMENTAÇÃO	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Acesso precário aos instrumentos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Piezômetros entupidos ou defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Marcos de recalque defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Medidores de vazão de percolação defeituosos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Falta de instrumentação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Falta de registro de leituras da instrumentação	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Deficiência no poço de alívio	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

Comentários:

C.	SANGRADOURO/VERTEDOIRO	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
C.1	CANAIS DE APROXIMAÇÃO E RESTITUIÇÃO	SITUAÇÃO								MAGNITUDE				NP
1	Árvores e arbustos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
2	Obstrução ou entulhos	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
3	Desalinhamento dos taludes e muros laterais	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
4	Erosões ou escorregamentos nos taludes	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
5	Erosão na base dos canais escavados	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
6	Erosão na área à jusante (erosão regressiva)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	
7	Construções irregulares (aterro, casa, cerca)	NA	NE	PV	DS	DI	PC	AU	NI	I	P	M	G	

Comentários:

1. OUTROS PROBLEMAS EXISTENTES
2. SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Observações importantes:

- 1) A Magnitude e o Nível de Perigo somente deverão ser preenchidos quando a situação do item for PV, DI, PC e AU.
- 2) Tratando-se da primeira inspeção de uma barragem, as situações escolhidas devem ser NA, NE, PV e NI. Quando o técnico basear-se em conhecimento próprio ou de terceiros para informar as situações DI, DS, PC ou AU, deve haver esclarecimento por meio do preenchimento do espaço reservado para comentários e como este conhecimento foi obtido.