Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

# GEOSSINTÉTICOS INTELIGENTES EM BARRAGENS: UM PANORAMA DAS INOVAÇÕES NO MONITORAMENTO E PREVENÇÃO DE RISCOS

**Dyeimison Dias Lima**
Graduando, Universidade de Gurupi (UNIRG), Brasil
E-mail: dyeimisson.dias@live.com

**José Carlos Frazão Merabet Júnior**
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1215-8310
Professor de Engenharia Civil da Universidade de Gurupi – UnirG, Gurupi-TO
E-mail: jose_merabet@hotmail.com

Recebido: 01/05/2025 – Aceito: 26/05/2025

## Resumo

Os geossintéticos têm sido amplamente utilizados na engenharia, desempenhando funções essenciais como reforço, filtração, drenagem e impermeabilização. Desde sua origem na década de 1950, esses materiais evoluíram significativamente, incorporando tecnologias inovadoras, como sensores de fibra óptica, que permitem monitoramento em tempo real de estruturas críticas, como barragens. Este trabalho de revisão aborda a classificação, aplicações e avanços tecnológicos dos geossintéticos, com ênfase em sua utilização em barragens e os benefícios das soluções inteligentes em comparação aos métodos tradicionais de monitoramento. Os geossintéticos são classificados em geotêxteis (tecido, não tecido e tricotado), geogrelhas, geomembranas, geotubos e geocompostos, cada um com propriedades específicas para diferentes aplicações. Além disso, possibilitam a construção de taludes mais íngremes e a estabilização de solos com baixa capacidade de carga, otimizando custos e eficiência. A integração de sensores de fibra óptica (FO) em geossintéticos representa um avanço significativo, permitindo a detecção precoce de deformações, variações de pressão e outros riscos estruturais. Esses "geotêxteis inteligentes" oferecem maior precisão e confiabilidade do que os sistemas tradicionais. Conclui-se que os geossintéticos inteligentes são uma solução promissora para a engenharia moderna, combinando eficiência, sustentabilidade e monitoramento contínuo. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento são essenciais para expandir sua aplicação, contribuindo para infra-estruturas mais seguras e resilientes. Este trabalho de revisão discute as aplicações de geossintéticos em barragens, com ênfase nas tecnologias emergentes de monitoramento em tempo real. Além disso, são abordados os desafios existentes, como a necessidade de normas específicas para controle de qualidade e pesquisas mais aprofundadas sobre a durabilidade dos geossintéticos em condições extremas.

**Palavras-chave**: Geossintéticos, barragens, monitoramento inteligente, fibra óptica.

## Abstract

Geosynthetics have been widely used in engineering, performing essential functions such as reinforcement, filtration, drainage and waterproofing. Since their origin in the 1950s, these materials have evolved significantly, incorporating innovative technologies such as fiber optic sensors that allow real-time monitoring of critical structures such as dams. This review addresses the classification,

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

applications and technological advances of geosynthetics, with an emphasis on their use in dams and the benefits of intelligent solutions compared to traditional monitoring methods. Geosynthetics are classified as geotextiles (woven, non-woven and knitted), geogrids, geomembranes, geotubes and geocomposites, each with specific properties for different applications. They also make it possible to build steeper slopes and stabilize soils with low load-bearing capacity, optimizing costs and efficiency. The integration of fiber optic (FO) sensors into geosynthetics represents a significant advance, allowing early detection of deformations, pressure variations and other structural risks. These “smart geotextiles” offer greater precision and reliability than traditional systems. It is concluded that smart geosynthetics are a promising solution for modern engineering, combining efficiency, sustainability and continuous monitoring. Investments in research and development are essential to expand their application, contributing to safer and more resilient infrastructures. This review paper discusses the applications of geosynthetics in dams, with an emphasis on emerging real-time monitoring technologies. In addition, existing challenges are addressed, such as the need for specific standards for quality control and further research into the durability of geosynthetics in extreme conditions.

**Keywords**: Geosynthetics, dams, intelligent monitoring, fiber optics.

## 1 Introdução

A utilização do geossintético vem sendo amplamente utilizada em inúmeras aplicações na engenharia, tendo ela várias funções (barreira, proteção, filtro, dreno, controle de erosão, estabilização e reforço). O Geossintético é um termo composto por “geo + sintético”, que significa “terra+ um produto manufaturado pelo homem”. Em que são designados como um produto fabricado a partir de materiais poliméricos sendo eles sintéticos ou naturais usados em contato com solos ou rochas, ou outro material geotécnico em obras de Engenharia (Costa *et al*., 2015).

O geossintético tem várias funcionalidades, como reforçar o solo, acarretando prevenção de riscos em regiões consideradas de baixo desempenho, atuando com uma melhoria e combatendo a deformação, dentre outros fatores. Geotêxteis e geogrelhas são comumente empregados para aumentar a resistência à tração do solo, auxiliando a construção de estruturas onde necessita estar reforçado (Vertematti, 2015).

No controle de fluxo de água em maciços terrosos, é uma boa alternativa para substituir os drenos convencionais, onde são utilizados materiais com granulometria variadas como a areia. Entre os tipos de geossintéticos utilizados para tais substituições, destacam-se os geotêxteis, geogrelhas, georredes, geomembranas e geotubos. Os primeiros materiais geossintéticos foram empregados em obras de filtragem e contenção de erosão realizadas na Holanda, na década de 1950 (Vertematti, 2015).

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

De acordo com Anibele *et al*. (2019), a aplicação de geossintéticos em obras hidráulicas e geotécnicas vem aumentando constantemente e, com a inovação de novas variantes, o uso dessa tecnologia tende a se tornar ainda mais comum. A aplicação de geossintéticos como meio de impermeabilização foi a primeira tecnologia em barragens a ser amplamente divulgada e aceita no Brasil.

Além das diferentes funções e aplicações, é fundamental compreender os materiais que compõem os geossintéticos, pois a escolha dos polímeros influencia diretamente seu desempenho, durabilidade e potencial para a incorporação de novas tecnologias. Os materiais poliméricos mais utilizados na indústria de geossintéticos incluem o Polietileno (PE), Poliestireno Expandido (EPS), Polipropileno (PP), Policloreto de Vinila (PVC), Poliéster (PET), Poliestireno (PS), Poliamida (PA), Etileno-Propileno Monômero Dieno (EPDM), Polivinil Álcool (PVA), Polietileno Clorado (CPE) e Poliaramida (PPTA). No entanto, algumas dessas resinas básicas necessitam da adição de aditivos para garantir características adequadas de desempenho, como resistência mecânica, estabilidade química e durabilidade (Mendes 2024).

Diante desse panorama, observa-se que as inovações no setor de geossintéticos não se limitam apenas ao aprimoramento dos materiais poliméricos, mas também à integração de tecnologias inteligentes, como sensores embutidos para monitoramento em tempo real e sistemas de automação. Assim, este estudo se dedica a analisar o panorama atual das inovações e as novas tendências associadas aos geossintéticos inteligentes, destacando sua evolução, aplicações emergentes e o potencial para transformar as práticas da engenharia geotécnica e ambiental.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Revisão Bibliográfica

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de revisão bibliográfica, voltada para a análise da aplicação de geossintéticos inteligentes em barragens, com ênfase em sua contribuição para o monitoramento e a prevenção de riscos. A revisão consistiu na análise de artigos científicos que abordam o uso de geossintéticos inteligentes e tecnologias emergentes aplicadas ao monitoramento de barragens.

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

As informações foram obtidas a partir de buscas em bases de dados científicas reconhecidas, como Science Direct, Mendeley, Portal de Periódicos da CAPES, Scopus e Google Acadêmico.

### 2.2 Levantamento bibliográfico sobre geossintéticos inteligentes

Inicialmente, foi realizada uma busca sistematizada, resultando na identificação de aproximadamente 62 artigos relacionados ao tema. Para afunilar os critérios de seleção foi levado em consideração, idioma (priorizando publicações em inglês e português), o ano de publicação (com ênfase em trabalhos publicados nos últimos 10 anos) e o foco ao tema central, que envolve o uso de geossintéticos e tecnologias de monitoramento em obras geotécnicas, especialmente em barragens. Após essa triagem, 36 artigos foram considerados adequados e selecionados para análise detalhada.

A partir dessa revisão, foi possível reunir um conjunto de informações que contribuíram para a compreensão dos principais tópicos abordados nos artigos selecionados, destacam-se: a classificação dos diferentes tipos de geossintéticos, as diversas aplicações desses materiais em estruturas de contenção e impermeabilização de barragens, inovações tecnológicas recentes, como sensores embutidos em geossintéticos e sistemas de sensoriamento remoto. Além disso, foram identificadas as principais limitações, barreiras técnicas e desafios práticos associados à implementação de tecnologias em conjunto com geossintéticos.

Essa análise demonstra a importância de novas tecnologias combinada com geossintéticos, apresentando avançados promissores para aprimorar a segurança e a eficiência operacional de barragens, ao mesmo tempo em que aponta espaço para novos estudos e aprimoramentos.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos artigos selecionados revelou uma ampla variedade de aplicações dos geossintéticos em barragens, destacando-se seu papel fundamental nas funções

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

de separação, drenagem, reforço e impermeabilização. Observou-se que os geotêxteis, classificados conforme suas características e processos de fabricação, são os geossintéticos mais utilizados, embora apresentem desafios específicos quando empregados em condições severas, como em barragens de rejeitos de mineração.

Nesta seção, são apresentados e discutidos os principais resultados obtidos a partir da análise dos artigos selecionados na revisão bibliográfica. Serão abordadas as diversas aplicações dos geossintéticos em barragens, destacando suas funções e classificações, além das tecnologias emergentes de monitoramento integradas a esses materiais. Também serão discutidas as vantagens e limitações dos geossintéticos inteligentes, comparando os métodos tradicionais e inovadores de monitoramento, e consideradas as questões normativas que influenciam a adoção dessas soluções no contexto brasileiro.

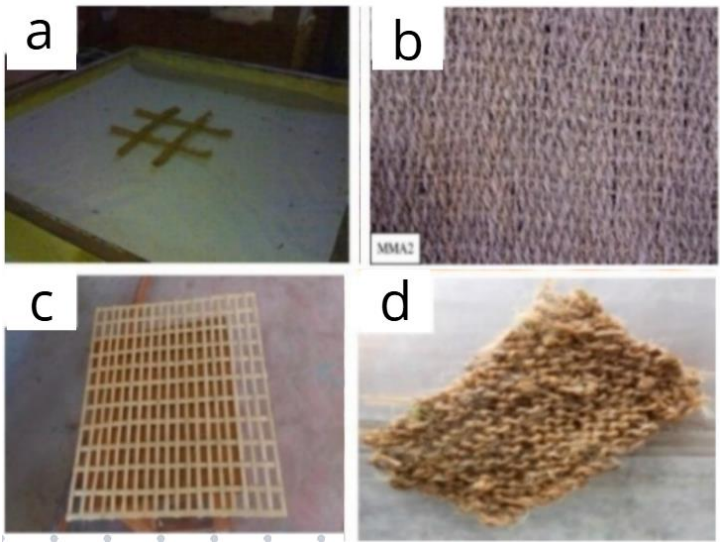
### 3.1 Principais tipos de Geossintéticos e sua aplicação em Barragens

Geossintéticos são materiais constituídos principalmente por polímeros em pequena escala, tendo aditivos em sua composição que introduzem melhorias na sua fabricação, sendo possível adicionar aspectos de comportamento de acordo com a necessidade. De maneira geral, geossintéticos são fabricados de polímeros sintéticos com base em petróleo, embora seja possível utilizar algumas fibras naturais como o coco e o sisal em sua produção, conhecidos como biotêxteis (Figura 1) (Vertematti, 2015).

Os filtros geotêxteis em barragens de rejeitos são bastante utilizados, mas são complexos devido aos regimes de fluxo que ocorrem a heterogeneidade dos rejeitos, a sua construção, possíveis condições ambientais agressivas e altos níveis de tensões, sendo esses um dos exemplos de sua complexidade. Uma das características do uso severo de filtros geotêxteis são em mineração, pelas possibilidades de ataque químico e colmatação química do filtro, porém, mais pesquisas são necessárias para melhorar o entendimento sobre a aplicação de filtros geotêxteis na mineração (Palmeira *et. al.*, 2021).

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

Figura 1- Vários tipos de geotêxtil natural. (a) Reforço de corda de coco, (b) Geotêxtil de coco tecido, (c) Grelha de bambu,(d) Geotêxtil de fibra de kenaf.




Fonte: Shirazi et al. (2020).

De acordo com a Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS–International Geosynthetics Society, 2021) classifica os geossintéticos em categorias, dependendo do seu processo de fabricação. As suas denominações e descrições são classificadas como:

(A) Geocompostos argilosos (GCL's): São compostos formados por uma camada de bentonita confinada entre geotêxteis (superior e inferior) ou entre um geotêxtil e uma geomembrana. (Figura 2).

(B) Geotêxtil não tecido (GNT): Sua composição é feita por fibras ou filamentos, sua densidade pode variar de acordo com filamentos em sua fabricação (Figura 3).

(C) Geotêxtil tecido (GTW): Produzido pelo entrelaçamento de fios, em filamentos simples ou múltiplos seguindo direções específicas durante sua fabricação (Figura 4).

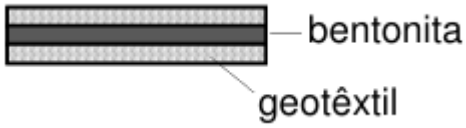
(D) Geotêxtil tricotado (GTK): São caracterizados pelo entrelaçamento dos fios por meio do processo de tricotagem (Figura 5).

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

(E) Geotubos: São tubos poliméricos que podem ser perfurados ou não onde são usados para drenagens, em algumas situações o tubo pode ser revestido com um filtro geotêxtil (Figura 6).

(F) Geocompostos: São formados pela junção de dois ou mais tipos de geossintéticos como, por exemplo: geotêxtil-geomembrana, podendo ter mais combinações de acordo com a necessidade (Figura 7).

Figura 2 - Geocompostos argilosos (GCL's)




Fonte: IGS Brasil, 2020.

Figura 3- Geotêxtil não tecido (GNT).



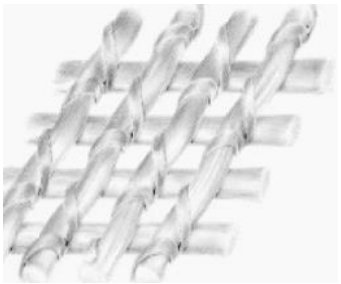
Fonte: Oliveira et al. 2016

Figura 4- Geotêxtil tecido (GTW).



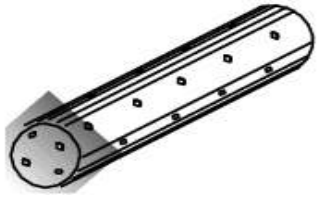
Fonte: Oliveira et al. 2016

Figura 5- Geotêxtil tecido (GTK).



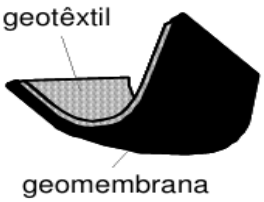
Fonte: Vertematti, 2001.

Figura 6- Geotubo polimérico perfurado.



Fonte: IGS Brasil, 2020.

Figura 7- Geotêxtil-geomembrana

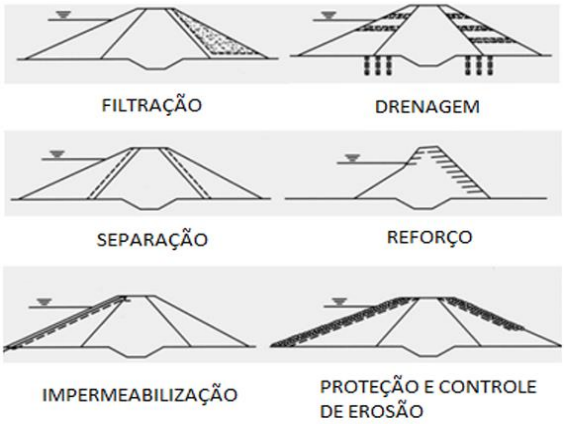



Fonte: IGS Brasil, 2020.

Geossintéticos são comumente utilizados como separadores em elementos drenantes, como rip rap, reforços de solo e estabilizador de talude, como mostra a Figura 8 (GOBLA, 2009).

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

Figura 8- Exemplo de Geossintéticos comumente utilizados como separadores em elementos drenantes.




Fonte: Adaptado de GOBLA (2009).

Estudos recentes indicam soluções que têm sido feitas para o melhoramento do desempenho das barragens, como mudanças no seu sistema de impermeabilização sendo uma solução abordada com emprego de geossintéticos, tanto em contenções quanto em barragens de grandes dimensões (Figueira *et al.*, 2016).

Para Palmeira e Fonseca (2021), geossintéticos cuja função é a separação devem ser capazes de reter partículas finas e resistir aos esforços a que estarão sujeitos durante a vida útil da obra, como tração localizada, ruptura por estouro e perfuração (Tabela 1).

Tabela 1- Barragens construídas com geossintéticos com função de filtração.

| **Lugar/ano de construção** | **Barragem** |
|---|---|
| França / 1970 | Barragem de Valcros |
| França / 1973 | Barragem de Brugnens |
| Alemanha / 1975 | Barragem de Formitz |
| Nigéria / 2001 | Barragem de Samira |
| Estados Unidos / 2012 | Barragem Red Willow |

Fonte: Adaptado de GOBLA (2009).

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

Segundo Maione *et al.* (2000), o uso de geossintéticos oferece a possibilidade de taludes mais íngremes resultando em menores custos, eliminando solos de alta qualidade e viabilizando obras onde os solos têm capacidade baixa.

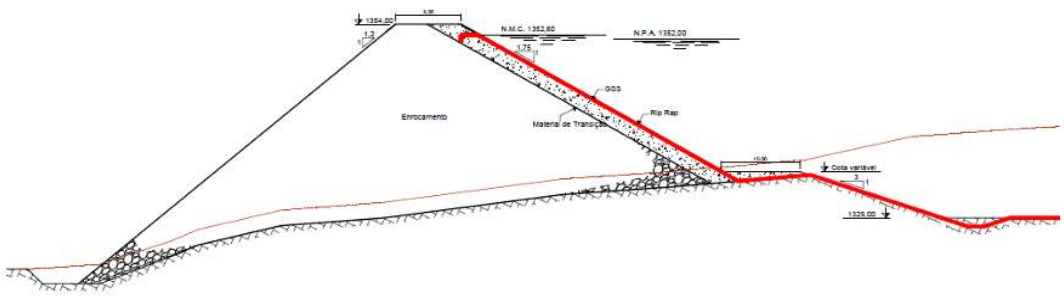
A ABNT NBR 16757-1:2020 estabelece que ensaios e procedimentos devem ser adotados para cada tipo de geossintético, o fabricante deve estabelecer um programa rigoroso de controle de qualidade industrial (IGS – International Geosynthetics Society, 2020).

### 3.2 Aplicações de Geotêxteis e Geomembranas em Barragens

A barragem do Pico da Urze é uma estrutura com uma altura máxima de 31 metros, sendo construída por um corpo côncavo de enrocamento de granulometria extensa, devido a sua capacidade atual foi necessário aumentar o volume de armazenamento e seu tempo de vida útil (Figueira *et al*., 2016).

Utilizando geossintéticos, foi adotada a cobertura do sistema indicada em vermelho na Figura 9, aproveitando-se das características dos geotêxteis, como a capacidade de aceitar ângulos de atrito elevados em contato com solos granulares, a impermeabilidade e a resistência mecânica (Figueira *et al*., 2016).

Figura 9- Sistema de geossintético aplicado em seu montante para estanqueidade.



Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

Fonte: Figueira *et al*. (2016).

A escolha do sistema leva em consideração as tensões e tração que o geocompósito sofrera no talude montante da barragem, considerando uma geomembrana de PVC, com 1,0 mm de espessura, associada a dois geotêxteis de aproximadamente, 2,0 mm de espessura, compreendendo o geossintético para garantir a sua estanqueidade, proteção do movimento de detritos, raios UV ou pela ação do vento (Figueira *et al.,* 2016).

Na ilha da Madeira, diversos reservatórios foram passados por impermeabilização utilizando um geocompósito composto por uma geomembrana de PVC de 2,5mm, onde é acoplada a um geotêxtil de polipropileno não tecido, que atua como barreira e proteção contra o punçioamento de partículas provenientes de camadas inferiores (Barroso *et al*., 2024) (Figura 10).

Figura 10 - Reservatório na ilha da Madeira impermeabilizado por um geocompósito composto por geomembrana de PVC.



Fonte: (Barroso 2024).

### 3.3 Instrumentação de barragens

O monitoramento da estabilidade e segurança das barragens é fundamental para prevenir falhas estruturais e garantir a integridade das obras. Tradicionalmente, esse monitoramento é realizado por meio de diversos instrumentos que medem parâmetros essenciais, como pressão da água, movimentos estruturais e esforços

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

internos. Estes dispositivos fornecem dados importantes para a avaliação do comportamento da barragem ao longo do tempo. Nesta seção, serão apresentados os principais equipamentos tradicionais de instrumentação utilizados, destacando suas funções, aplicações e limitações, especialmente no contexto de integração com os geossintéticos.

### 3.3.1 Piezômetros

Com o surgimento de novas tecnologias a automatização de *piezômetros standpipe* representa um avanço tecnológico comparado ao modelo tradicional, permitindo o monitoramento contínuo e preciso da pressão da água em estruturas por meio do sistema automáticos de aquisição de dados (Bastos, 2023). Segundo Andrade *et al*. (2018), a integração de sensores, *dataloggers* e sistemas de telemetria nesses dispositivos possibilita a coleta remota e em tempo real das leituras piezométricas, aumentando a confiabilidade dos dados e contribuindo para a detecção precoce de anomalias e o gerenciamento de riscos em obras geotécnicas, como barragens, taludes e aterros.

Figura 11- Esquema de Piezômetros *standpipe* instalado




Fonte: Silveira (2006).

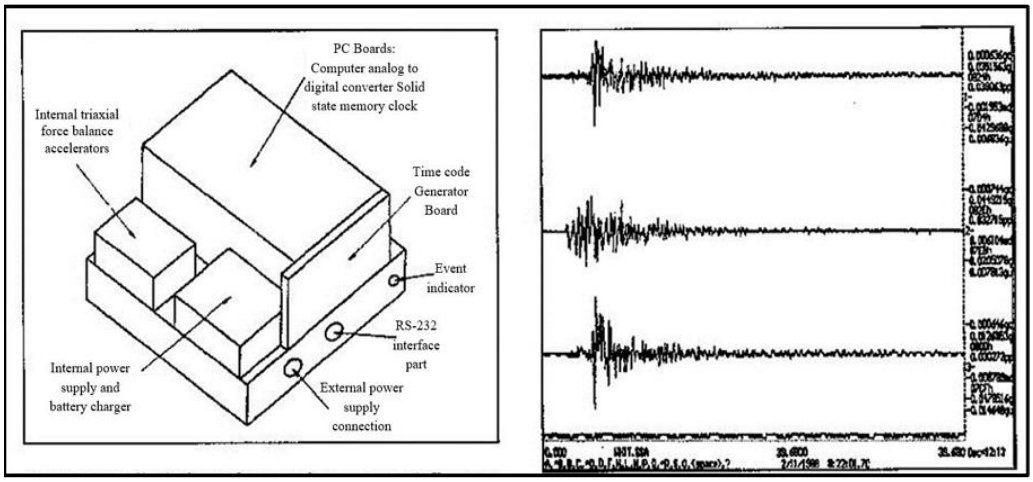
### 3.3.2 Acelerômetro

A maioria dos instrumentos sísmicos utiliza acelerômetros, os quais têm a capacidade de medir movimentações em estruturas em um único plano, seja ele

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

horizontal, vertical ou transversal. Para que o registro dessas movimentações ocorra de forma adequada, é necessário o uso de condicionadores de sinal ou amplificadores, que possibilitam a leitura do movimento em um nível registrável (Adamo *et al.*, 2021).

Figura 12- Modelo de acelerômetro com gráfico típico do acelerógrafo.



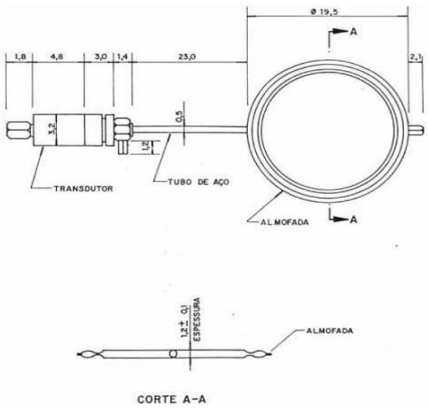

Fonte: Adamo *et al.* (2021).

### 3.3.3 Células de tensão total

Células de tensão total são utilizadas para regiões em que a barragem é suscetível ao arqueamento, como no interior de cut-offs, núcleos das barragens de enrocamento, nas paredes verticais dos muros de ligação em concreto (Silveira, 2006) (Figura 13). A integração dessas células com tecnologias de sensoriamento remoto, como a interferometria SAR (InSAR) e sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System), permite o monitoramento contínuo e em tempo real das tensões e deslocamentos estruturais, aumentando a precisão na detecção de anomalias e contribuindo para uma gestão mais eficiente da segurança de barragens (Maltese *et al.*, 2021).

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

Figura 13 - Modelo de célula de tensão total

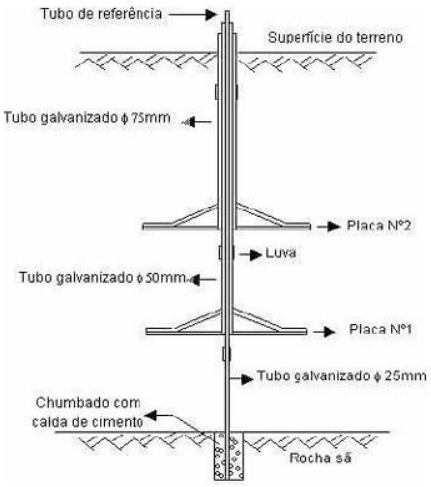



Fonte: Fonseca (2023)

### 3.3.4 Medidores de recalque

Medidores tipo tubo telescópicos são constituídos com uma série de placas acopladas a hastes ou tubos rígidos que ao se deslocarem oferecem medidas de recalques (Fonseca 2003) (Figura 14). Técnicas como a Interferometria por Radar de Abertura Sintética (InSAR) permitem a detecção de deslocamentos milimétricos na superfície terrestre, complementando as medições locais dos medidores telescópicos (Maltese *et al*., 2021).

Figura 14 - Esquema de um medidor tipo tubo telescópicos




Fonte: Fonseca (2003)

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

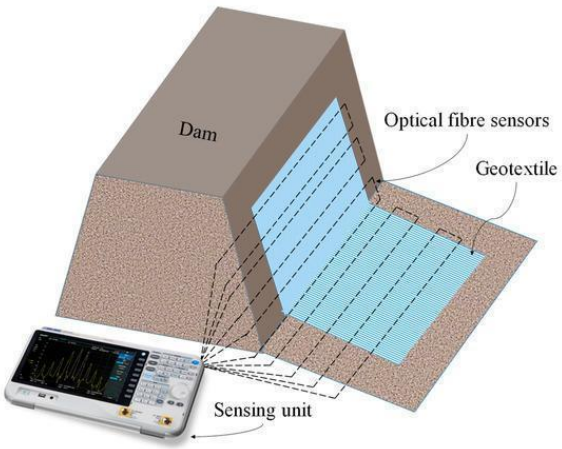
### 3.4 Tecnologias emergentes na área de sensoriamento aplicado a geossintéticos.

O uso da tecnologia de sensores em tecidos geossintéticos amplia a possibilidade do aumento de monitoramento de estruturas. Sendo um geocomposto formado por uma geogrelha onde suporta cabos de fibra óptica e uma camada de geotêxtil que são testados em laboratório, esse sistema mostrou-se promissor e uma solução confiável para a medição de monitoramento em grandes estruturas (Nöther, 2012).

Já os cabos em geossintéticos permitem monitoramento da estabilidade, detectando deformações que possam indicar algo que esteja reduzindo a segurança. Assim, a fibra óptica (FO), utilizada para monitoramento em tempo real, surge como uma alternativa eficaz para a avaliação da segurança estrutural, podendo acompanhar a integridade da estrutura ao longo de toda a sua vida útil (Acharya et al., 2024).

Os Geossintéticos com sensores de fibra óptica (FO) são precisos na detecção de movimentações que possam ocorrer ao longo da estrutura, assim podem ser integrados a geomateriais que podem prever instabilidades em barragens ou diques. Para se realizar o monitoramento da estrutura, a fibra óptica é distribuída na estrutura que foram integrados ao geotêxtil por fixações juntamente com os sensores (Abedi *et al*., 2024) (Figura 15).

Figura 15- Instalação de geossintético baseado em sensor FO para detecção de possíveis deslizamentos




Fonte: Abedi (2024).

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

A instalação de cabos de fibra óptica (FO) em geossintéticos auxilia no monitoramento na estabilidade de taludes, que observa variações e deformações que possam indicar alguma irregularidade, comprometendo o fator de segurança. Os sensores de FO são integrados diretamente aos geotêxteis, conhecidos como "geotêxteis inteligentes" que possibilitam a detecção ao longo de toda a estrutura, sendo mais preciso que sensores convencionais (Abedi *et al*., 2024).

Essa tecnologia, como demonstrado por Cheng *et al*. (2025), reforça a superioridade dos geotêxteis inteligentes em relação à instrumentação tradicional. Enquanto métodos convencionais detectam variações pontuais, os sensores ópticos integrados permitem o monitoramento contínuo e distribuído das deformações, antecipando instabilidades com maior precisão e eficiência ao longo de toda a estrutura.

Além dos sensores de fibra óptica (FO), outro dispositivo utilizado no monitoramento com geossintéticos é o extensômetro de haste (*telltale*). Esse equipamento é composto por um fio de aço inoxidável acoplado ao geossintético, onde o fio passa por um tubo lubrificado internamente e permanece tensionado por uma mola ou peso, garantindo uma medição constante (Becker, 2008) (Figura 16).

Figura 16- Extensômetros de hastes juntamente com o geossintético (*telltale*).

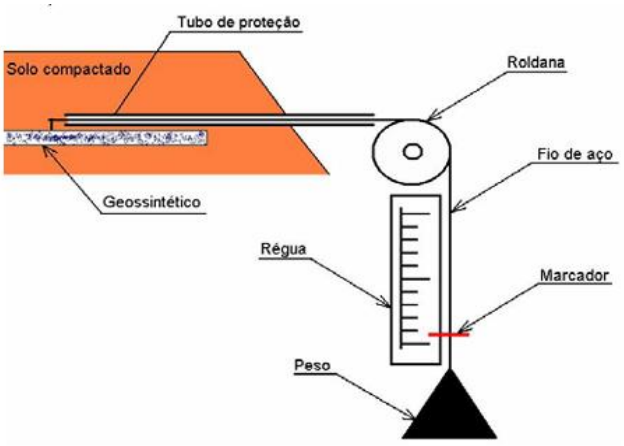


Fonte: Becker (2008).

O deslocamento do geossintético é indicado pelo movimento do fio em seu ponto de fixação, permitindo que leituras sejam feitas, apontando o deslocamento em relação a uma régua de referência (Becker, 2008) (Figura 17).

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

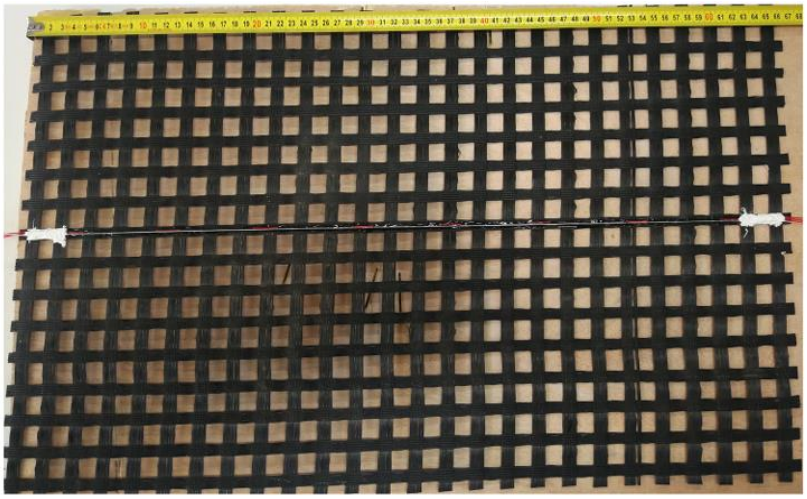
Figura 17- Esquema de funcionamento de um *telltale*.




Fonte: Becker, (2008).

O C-OFDR (reflectometria coerente no domínio da frequência óptica) é uma tecnologia que permite medições precisas utilizando fibra óptica que atua como um sensor de deformação em conjunto com a geogrelha, monitorando o talude juntamente com extensômetros FBG (Bragg de fibra), que podem ser fixados às camadas da geogrelha para as comparações (Sun *et al.*, 2020) (Figura 18).

Figura 18- Amostra da geogrelha com sistema C-OFDR.



Fonte: Sun *et al.* (2020).

As principais características do sistema C-OFDR podem ser destacadas da seguinte forma: sensores baseados em C-OFDR podem ser utilizados para o monitoramento da deformação de geogrelhas, pois a tecnologia preserva as informações gerais da deformação sem perdas significativas. Além disso, demonstra superioridade em comparação ao modelo

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

FBG. As deformações monitoradas em tempo real podem ser usadas para avaliar a estabilidade de encostas reforçadas por geogrelhas (Sun *et al*., 2020).

### 3.5 Limitações dos Geossintéticos Inteligentes

Os Geossintéticos Inteligentes referem-se à junção de sensores de monitoramento utilizados na engenharia civil, mesmo demonstrando vantagens como a coleta de dados em tempo real e remoto, suas limitações ocasionam algumas barreiras, como a dependência de integração de componentes eletrônicos que podem levar a falhas devido a possibilidade de avaria por meio de umidade, radiação UV, variações de temperatura e tensões mecânicas (Abedi *et al*., 2023).

A exposição à radiação UV irá acarretar fissuras, fragilização e modificações nas propriedades do geossintético e consequentemente a diminuição da resistência à tração e ao impacto dos materiais. A deterioração pode ser aumentada com mudanças drásticas de temperatura ou a umidade levando degradação devido a remoção de aditivos mais solúveis dos materiais poliméricos (Carneiro, 2009).

### 3.6 Comparação entre barragens que utilizam monitoramento tradicional e aquelas que implementaram soluções inovadoras.

Barragens podem ter sua segurança afetada por diversos fenômenos naturais, como deslizamentos, terremotos, enchentes, deterioração do corpo da barragem e da fundação. Com o passar do tempo, a estrutura pode sofrer desgaste natural devido à sua idade, podendo ocorrer em certos casos o aumento das pressões internas e surgimento de vazamentos (Zuffo, 2005).

A instrumentação e as inspeções visuais são os principais recursos para avaliar a integridade física e a continuidade operacional de barragens tradicionais, devendo entre si ser considerada como práticas complementares (Leite *et al*., 2024). Um dos métodos tradicionais de monitoramento é o uso de estações totais, que exige a presença do operador junto ao equipamento para realizar manualmente a visada nos pontos de interesse (Nadal *et al*., 2017).

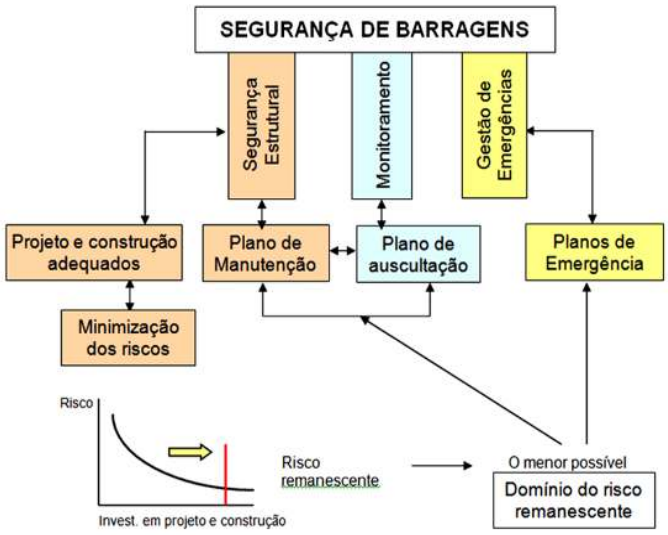
As inspeções baseiam-se na análise de dados obtidos pela instrumentação tradicional de auscultação, quando corretamente instalada se torna uma ferramenta

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

eficaz para avaliar o comportamento da barragem, mesmo sendo monitoramento tradicional quando bem aplicado aumenta significativamente a chance de detecção precoce de riscos potenciais (Oliveira, 2008) (Figura 19).

O setor de segurança de barragens vem se modernizando na área de instrumentação e monitoramento, especialmente em estruturas construídas entre as décadas de 1960 e 1970. Nesse período, marcado pela construção de grandes barragens, houve destaque para a implementação de novas tecnologias de monitoramento, que vêm sendo continuamente aprimoradas ao longo dos anos (Bastos, 2023).

Figura 19- Modelo de inspeção de barragens.




Fonte: Leite (2020).

De acordo com Nadal *et al.* (2017) diferentemente de modelos tradicionais, sensores estão sendo implementados em monitoramento das barragens, podendo instalar equipamentos na área que será realizado o monitoramento, e o operador pode estar em local seguro podendo realizar o controle do instrumento remotamente.

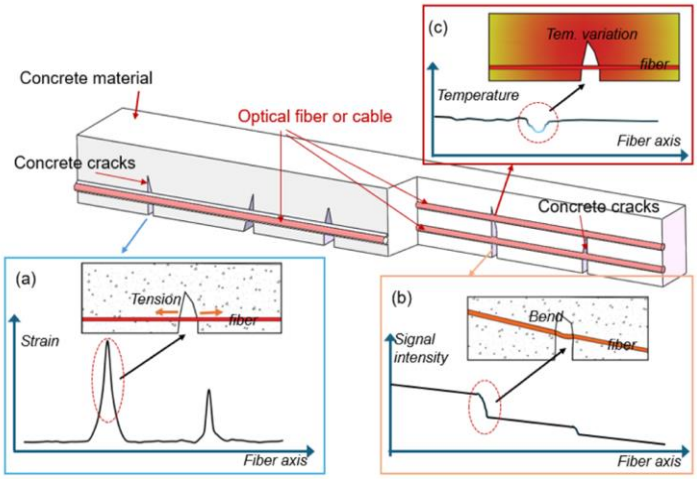
Para Moser *et al*. (2024), o grande destaque é o uso de fibras ópticas, conforme abordado anteriormente, que tem como vantagem a sua capacidade de ter baixa interferência podendo fazer uma grande quantidade de leitura ao longo da estrutura instalada. O uso de fibra óptica pode ser ampliado para o monitoramento de possíveis fissuras, que podem ser localizadas e determinar a sua largura e uma possível

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.10, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

evolução da patologia, sendo o resultado da deformação da fibra que atravessa a face do concreto, resultando em um pico de deformação (Figura 20) (Zhang *et al*., 2025).

Segundo Kusumi *et al.* (2025), o auxílio de sensores baseados em fibra óptica demonstraram a capacidade de monitoramento de pressão hidrostática, além das deformações do solo que podem ser complementadas com inclinômetros extensômetros, estações totais robóticas e geofones, tal sistema pode ser aplicado em barragens e demonstrando a capacidade de detecção precoce.

(Figura 20) - Sistema de monitoramento de fissuras através de fibra óptica.




Fonte: (Zhang *et al*., 2025).

## CONCLUSÃO

A revisão bibliográfica realizada demonstrou a importância dos geossintéticos na engenharia, especialmente em barragens, onde desempenham funções como reforço, filtração, drenagem e impermeabilização. A evolução desses materiais, como os geossintéticos inteligentes como sensores de fibra óptica, reforça sua importância na melhoria da segurança e da durabilidade de estruturas.

A integração de tecnologias emergentes, como sensores acoplados a sistemas de monitoramento em tempo real, representa um avanço em relação aos métodos tradicionais de monitoramento, permitindo detecção precoce de variações e outros

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

riscos potenciais. Essas soluções inovadoras aumentam a confiabilidade das estruturas, reduzem custos de manutenção e minimizam impactos ambientais.

No entanto, apesar dos benefícios, ainda há desafios a serem superados, como a necessidade de normas específicas para controle de qualidade no Brasil e pesquisas mais aprofundadas sobre a durabilidade dos geossintéticos em condições extremas, como em barragens de rejeitos de mineração. A regulamentação, como a Política Nacional de Segurança de Barragens (Lei nº 12.334/2010), reforça a importância da adoção de tecnologias que garantam a estabilidade e segurança dessas estruturas.

Portanto, os geossintéticos inteligentes surgem como uma solução para o futuro da engenharia, combinando eficiência, sustentabilidade e o monitoramento. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento, aliados à aplicação prática desses materiais, podem ampliar sua utilização, contribuindo para a construção de infraestruturas mais seguras.

## REFERÊNCIAS

ACHARYA, ASHIS; KOGURE, TETSUYA. Advances in fibre-optic-based slope reinforcement monitoring: A review. **Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering**, 2024.

ABEDI, M. M.; FANGUEIRO, R.; CORREIA, A. G. Smart geosynthetics and prospects for civil infrastructure monitoring: a comprehensive and critical review. **Sustainability**, v. 15, n. 12, p. 9258, 2023.

ABEDI, M., AL-JABRI, K., HAN, B., FANGUEIRO, R., LOURENÇO, P. B., & CORREIA, A. G. Advancing infrastructure resilience: A polymeric composite reinforcement grid with self-sensing and self-heating capabilities. **Construction and Building Materials**, v. 435,p. 136730, 2024.

ADAMO, A.; AL-ANSARI, N.; SISSAKIAN, V.; LAUE, J.; KNUTSSON, S. Use of Seismic Monitoring Instrumentation in Dams. **Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering**, v. 11, n. 1, p. 203-247, 2021.

ANDRADE, J. S.; BALBI, D. A.; MELO, A. V.; BASTOS, W. S**.** Design of an automatic and remote monitoring system of dams instrumentation: **CEMIG GT's experience** at Irapé dam. 2018.

ANIBELE, R.; HALITSKI, E. R.; TONUS, B. P. A.; LAUTENSCHLÄGER, C. E. R. Análise em modelo de laboratório da substituição de filtro de areia por geocomposto em barragens de terra. XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens VI Conferência Sul-Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens 15 a 18 de setembro de 2020 – Campinas - SP. **Anais** 2019.

BARROSO, M., CALDEIRA, L., FERREIRA, P. F., FRANÇA, P., & MALIGNO, C. Albufeiras na ilha da Madeira: (imprescindível) impermeabilização com geossintéticos. **Geotecnia**, n. Extra, p. 21-40, 2024.

BASTOS DA SILVA. **Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados universal para monitoramento de barragens, com teste de equalização de piezômetros, utilizando internet das coisas.** 2023. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas, 2023.

BECKER, L. B. Monitoramento de forças, tensões, deslocamentos e deformações em estruturas de solo reforçado com geossintéticos. 2008.

CARNEIRO, JOSÉ RICARDO DA CUNHA. **Durabilidade de materiais geossintéticos em estruturas de carácter ambiental- A importância da incorporação de aditivos químicos**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade do Porto (Portugal). 2009.

Cheng, L.; Sun, Y.; Wang, Z.; Gao, W.; Li, Z.; Xu, Z.; Hu, J. Distributed Fiber Optic Strain Sensing Technology for Monitoring Soil Deformation Induced by Leakage in Buried Water Pipelines: A Model Test Study. *Sensors* **2025**, *25*, 320. https://doi.org/10.3390/s25020320

COSTA, A. H.; DE ALMEIDA LOPES, G.; DE SOUSA, L. B.; DA SILVA PIMENTEL, L. A.; DE ALMEIDA ARÊDES, P. H. Versatilidade dos geossintéticos aplicada à engenharia. In: Simpósio de excelência em gestão e tecnologia, 28 a 30 de outubro de 2015. **Anais**, 2015.

FIGUEIRA, J.; CALDEIRA, L.; MARANHA DAS NEVES, E. Barragens de aterro com geomembrana. análise de percolação da barragem do pico da urze, Portugal embankment dams with geomembrane sealing system. flow analysis of pico da urze dam, Portugal, 2016.

FONSECA, ALESSANDRA DA ROCHA. **Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica - estudo de caso das barragens da UHE São Simão.** 2003. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2003.

GOBLA, M. J. Geotextiles in Embankment Dams. U. S. **Department of The Interior, Bureau of Reclamatio**, 2009. Disponível em: http://www.damsafety.org/. Acesso em:Abril de 2025.

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

IGS BRASIL. Características requeridas para o emprego de geossintéticos – Parte 1. **Organização de International Geosynthetics Society** (**IGS**). 2020. Disponível:https://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Caracteristicas-Requeridas-para-o-Emprego-de-Geossinteticos-%E2%80%93-Parte-1-Geotexteis-e-Produtos-Correlatos.pdf

IGS BRASIL. Classificação dos Geossintéticos. **Organização de International Geosynthetics Society** (**IGS**). [S. l.], 2021. p 2. Disponível em: https://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/2020/04/1.pdf. Acesso em: 20 abr. 2025.

KUSUMI, A.; HERATH, M.; EPAARACHCHI, J.; PRIYANKARA, N. H. Development of an optical fibre sensor system for ground displacement and pore water pressure monitoring. **Measurement**, p. 117770, 2025.

LEITE, H. E. S. C., DA COSTA, L. M., GUIMARÃES, L. J. N., DE MELO FERREIRA, S. R., & DOS SANTOS JÚNIOR, O. F. Aspectos sobre Instrumentação e Monitoramento de Barragens. XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica; X Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas; X Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens 24 a 27 de setembro de 2024 - Balneário Camboriú/SC. **Anais 2024**.

LEITE, SÉRGIO RIBEIRO. **Modelo para Avaliação de Riscos em Segurança de Barragens com associação de métodos de análise de decisão multicritério e Conjuntos Fuzzy**. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Computação Aplicada) Universidade de Brasília,2020.

MAIONE, U.; MAJONE-LEHTO, B.; MONTI. New trends in water and environmental engineering for safety and life. **Rotterdam CRC Press**, 2000.

MALTESE, A.; PIPITONE, C.; DARDANELLI, G.; CAPODICI, F.; MULLER, J.-P. Toward a comprehensive dam monitoring: on-site and remote-retrieved forcing factors and resulting displacements (GNSS and PS–InSAR). **Remote Sensing**, v. 13, n. 8, p. 1543, 2021.

MENDES, ANTÓNIO WANDERLANDIO PEREIRA. GEOSSINTÉTICO EPS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.**Revista FT**. 2024.

MOSER, D., MARTIN-CANDILEJO, A., CUETO-FELGUEROSO, L., & SANTILLÁN, D. Use of fiber-optic sensors to monitor concrete dams: recent breakthroughs and new opportunities. In: Structures. **Elsevier**, 2024. p. 106968.

NADAL, M. A. D., VEIGA, L. A. K., FAGGION, P. L., NADAL, C. A., & SOARES, M. A. Emprego de estações totais robotizadas na automação, controle e aquisição de dados, voltado ao monitoramento de barragens. **Revista Brasileira de Geomática**, v. 5, n. 1, p. 18-30, 2017.

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v10i1.4060

NÖTHER, N., GLÖTZL, R., VOLLMERT, L., EHRENBERG, H., WEISEMANN, U., GROSSMANN, S., & OEHMICHEN, R. Displacement Monitoring in geotechnical applications using optical fiber sensors in geosynthetics. In: Proceedings of the 6th European Workshop on Structural Health Monitoring, Dresden, Germany. **Anais**, 2012. p. 3-6.

OLIVEIRA, J.R.C. **Contribuição para a verificação e controle da segurança de pequenas barragens de terra.** 2008. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, MG, 2008.

OLIVEIRA, L. A., VIANA, P. M., SANTOS, D. C., & REIS, E. F. Uso de geossintéticos como reforço em estradas não pavimentadas. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 3, p. 546-557, 2016.

PALMEIRA, E. M. FONSECA, E. C. **Aplicações em Separação de Materiais. Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 241-257. São Paulo: Blucher, 2004.

PALMEIRA, E., DAS GRAÇAS GARDONI, M., & ARAÚJO, G. L. Geossintéticos em Engenharia Geotécnica e Geoambiental: avanços e perspectivas. **Geotecnia,** n. 152, p. 337-368, 2021.

SILVEIRA, JOÃO FRANCISCO ALVES. I**nstrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento**. Oficina de Textos, 2006.

VERTEMATTI, J. C. **Manual brasileiro de geossintéticos**, 2nd Edition. Editora Blucher, 2015. VitalBook file.

SHIRAZI, MOHAMMAD GHAREHZADE, AHMAD SAFUAN BIN A. RASHID, RAMLI BIN NAZIR, AZRIN HANI BINTI ABDUL RASHID, HOSSEIN MOAYEDI, SUKSUN HORPIBULSUK, WISANUKHORN SAMINGTHONG. Sustainable soil bearing capacity improvement using natural limited life geotextile reinforcement—A review. **Minerals**, v. 10, n. 5, p. 479, 2020.

SUN, Y.; CAO, S.; XU, H.; ZHOU, X. Application of Distributed Fiber Optic Sensing Technique to Monitor Stability of a Geogrid- Reinforced Model Slope. **Revista Internacional de Geossintéticos e Engenharia de Solo**, v. 6, p. 1-11, 2020.

ZHANG, X.; LONG, L.; BROERE, W.; BAO, X. Smart sensing of concrete crack using distributed fiber optics sensors: Current advances and perspectives. **Case Studies in Construction Materials**, 2025.

ZUFFO, MONICA SOARES RESIO. **Metodologia para avaliação da segurança de barragens**. 2005. Dissertação mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2005.