

# ESTUDO DE LINHAS DE FLUXO EM COMPÓSITOS SOLO-FIBRA DE AÇAÍ

**Kauã da Silva Gomes\***

Universidade de Brasília/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental /Brasília/Brasil

**Augusto Barbosa Silva**

Universidade de Brasília/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental /Brasília/Brasil

**André Luís Brasil Cavalcante**

Universidade de Brasília/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental /Brasília/Brasil

## RESUMO

Dante da crescente preocupação com a correta destinação de resíduos e sua reutilização, surge a oportunidade de pesquisas que atendam essas demandas de forma eficiente. Na geotecnica, o uso de fibras naturais como reforço de solos destaca-se como uma alternativa viável tanto para a destinação de resíduos orgânicos quanto para o aprimoramento das propriedades mecânicas dos solos, com estudos frequentes sobre o impacto dessas fibras na resistência dos materiais. No entanto, as alterações nas propriedades hidráulicas decorrentes da adição de fibras ainda são pouco exploradas. Este estudo investigou o comportamento hidráulico de um compósito solo-fibra, composto por solo arenoso reforçado com fibras de açaí (*Euterpe oleracea*). Foi realizada uma abordagem experimental que incluiu ensaios de permeabilidade e observação direta das linhas de fluxo utilizando um modelo físico em laboratório. As fibras foram incorporadas ao solo em uma concentração de 1%, e a dinâmica do fluxo de água foi analisada por meio da saturação do compósito e captura de imagens. Paralelamente, uma simulação teórica foi realizada utilizando o software SEEP/W, permitindo a comparação com o comportamento do solo sem fibras. Os resultados mostraram que a adição de fibras de açaí ao solo não alterou significativamente as trajetórias das linhas de fluxo, mantendo a condutividade hidráulica dentro da mesma ordem de grandeza observada no solo puro. A ausência de variações no comportamento hidráulico indica que o uso de fibras de açaí pode ser uma solução viável em projetos que busquem melhorar a resistência mecânica do solo sem comprometer suas propriedades hidráulicas. Este estudo reforça a aplicação de materiais naturais e sustentáveis em soluções geotécnicas, especialmente em regiões onde esses recursos são abundantes e de baixo custo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Linhas de Fluxo, Solos Reforçados, Modelo Reduzido.

## ABSTRACT

*In light of the growing concern over the proper disposal of waste and its reuse, there is an emerging opportunity for research that addresses these demands efficiently. In geotechnics, the use of natural fibers as soil reinforcement stands out as a viable alternative for both the disposal of organic waste and the enhancement of soil's mechanical properties, with frequent studies focusing on the impact of these fibers on material strength. However, changes in hydraulic properties resulting from fiber addition remain underexplored. This study investigated the hydraulic behavior of a soil-fiber composite, consisting of sandy soil reinforced with açaí fibers (*Euterpe oleracea*). An experimental approach was undertaken, including permeability tests and direct observation of flow lines using a physical model in the laboratory. The fibers were incorporated into the soil at a concentration of 1%, and the water flow dynamics were analyzed through composite saturation and image capture. In parallel, a theoretical simulation was conducted using SEEP/W software, allowing comparison with the behavior of soil without fibers. The results showed that the addition of açaí fibers to the soil did not significantly alter the flow line trajectories, maintaining hydraulic conductivity within the same order of magnitude as observed in pure soil. The absence of variations in*

\*Autor correspondente: [kauagomes555@gmail.com](mailto:kauagomes555@gmail.com)



*hydraulic behavior indicates that the use of açaí fibers may be a viable solution in projects seeking to improve the soil's mechanical strength without compromising its hydraulic properties. This study reinforces the application of natural and sustainable materials in geotechnical solutions, especially in regions where these resources are abundant and low-cost.*

**KEYWORDS:** Flow Lines, Reinforced Soils, Small-Scale Model.

## 1. INTRODUÇÃO

A engenharia tem enfrentado desafios cada vez maiores, especialmente em projetos de grande porte, devido às crescentes demandas da sociedade. No campo da geotecnia, esses desafios são ainda mais pronunciados pelas limitações nas propriedades de resistência dos solos. Uma solução eficaz e cada vez mais utilizada para superar essas dificuldades é a adição de fibras naturais como reforço, o que contribui significativamente para o aumento da resistência dos solos.

Embora estudos demonstrem que a adição de fibras altera as propriedades mecânicas do solo, ainda são escassos os trabalhos que se dedicam a investigar a influência desse reforço na variação dos caminhos preferenciais da água durante a percolação no compósito. Este parâmetro é fundamental para ser controlado, pois pode ocasionar processos de erosão interna e piping.

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo verificar, por meio de um experimento físico utilizando linhas de fluxo, se a adição de fibras em um solo arenoso pode modificar as trajetórias preferenciais de percolação da água.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Solos Reforçados

Na engenharia, quando um material apresenta propriedades mecânicas insatisfatórias, é comum buscar soluções para incrementá-las sempre que possível. O mesmo princípio se aplica à geotecnia. Quando um solo apresenta resistência insuficiente para atender às exigências do projeto, recorre-se à utilização de reforços. Segundo Castro (2020), o reforço de solos é o processo de introdução de elementos ao maciço terroso que possam resistir à tração.

Um material amplamente utilizado para o reforço de solos são as fibras vegetais, que, quando adicionadas ao solo, proporcionam maior rigidez e resistência. Além disso, em alguns casos, as fibras podem controlar a abertura e o espaçamento de fissuras, reduzindo a possibilidade de fluxos de água

indesejados através dessas aberturas (Gomes, 2018; Faustino, 2022).

As propriedades mecânicas do compósito solo-fibra dependem das características das fibras adicionadas, como sua porcentagem, comprimento e peso, além das propriedades físicas e mecânicas do solo a ser reforçado. Esses fatores influenciam diretamente no comportamento do compósito resultante (Curcio, 2008; Silveira, 2018). Além disso, o comportamento hidráulico do solo também pode ser afetado pela adição de fibras. Em muitos casos, observa-se um aumento na condutividade hidráulica com o incremento do teor de fibras, uma vez que as fibras podem criar caminhos preferenciais para o fluxo de água no compósito (Curcio, 2008; Faustino, 2022; Isaias, 2022).

### 2.2 Linhas de Fluxo

No solo, a água pode estar presente nos espaços vazios, ocupando parcial ou totalmente esses poros. Quando submetida a uma diferença de potencial hidráulico, essa água começa a se deslocar no interior do solo (Pinto, 2011). Compreender a dinâmica desse movimento é fundamental para várias aplicações na geotecnia, como a análise de estabilidade de encostas e fundações.

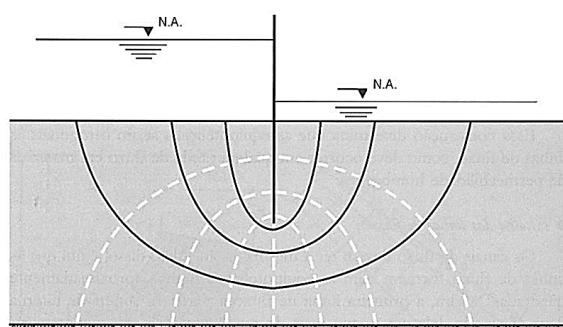


Figura 1. Rede de fluxo (modificado de Pinto, 2011).

Uma forma de entender esse fenômeno é por meio das linhas de fluxo. Segundo Massad (2003), essas linhas representam o caminho que a água percorre através de um meio saturado. Admite-se o regime de escoamento laminar, onde as linhas de fluxo não podem se cruzar. Quando as linhas de fluxo se intersectam ortogonalmente com as linhas

equipotenciais – que são linhas de igual carga hidráulica –, forma-se uma rede de fluxo (Figura 1).

O estudo das linhas de fluxo permite avaliar a influência do movimento da água na estabilidade do maciço e identificar a possibilidade de ocorrência de fenômenos como o carreamento de partículas, erosão e piping.

Existem vários métodos para entender as redes de fluxo, como métodos analíticos, analógicos, gráficos, numéricos e modelos físicos (Leão, 2018). Os modelos físicos são conduzidos em laboratórios, onde se busca reproduzir as condições, os parâmetros e as geometrias de problemas reais. Esses experimentos geralmente são realizados em caixas com faces de vidro, utilizando corantes para visualizar as linhas de fluxo (Oliveira et al., 2018; Moreira, Cavalcante e Costa, 2022; Mathede e Reginatto, 2023).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia deste trabalho baseou-se em uma abordagem experimental para investigar o efeito da adição de fibras de açaí nas linhas de fluxo do compósito solo-fibra. Para isso, foram realizados ensaios de caracterização física e hidráulica tanto do solo natural quanto do solo reforçado com fibras.

#### 3.1 Materiais

##### 3.1.1 Solo

O solo utilizado foi uma areia lavada (Figura 2), obtida comercialmente em Brasília, amplamente empregada em ensaios geotécnicos devido à sua disponibilidade e propriedades adequadas para o estudo proposto.



Figura 2. Amostra de areia lavada.

#### 3.1.2 Fibras

Neste estudo, foram utilizadas fibras naturais (Figura 3) provenientes do caroço do açaí (*Euterpe oleracea*) para reforçar o solo. Essas fibras resultam da produção comercial da fruta do açaí, sendo extraídas após a remoção da polpa, e foram adquiridas de uma empresa que comercializa biomassa de fibras de açaí.

As características físicas das fibras utilizadas estão dispostas e quantificadas na Tabela 1. Esses dados são oriundos de ensaios anteriores conduzidos pelo grupo de pesquisa GeoFluxo (Silva et al, 2024) e fazem parte de uma pesquisa de doutorado em andamento.



Figura 3. Amostra de fibras de açaí.

Tabela 1. Características físicas das fibras de açaí

Densidade (g/cm³)	Área da seção transversal (mm²)	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)
0,89	0,15	10,11	0,14

#### 3.2 Métodos

O programa experimental foi realizado com o objetivo de obter os parâmetros de compacidade relativa da areia e a condutividade hidráulica do compósito areia-fibra. Os ensaios foram conduzidos em conformidade com as normas vigentes.

##### 3.2.1 Caracterização física do solo

Para a caracterização física do solo, foram realizados ensaios de granulometria, conforme a NBR 7181 (ABNT, 2016), utilizando peneiras de diferentes aberturas para determinar a distribuição granulométrica, seguido de ensaio de sedimentação para as frações mais finas. A determinação da massa específica dos grãos foi realizada seguindo a NBR 6458 (ABNT, 2016), utilizando picnômetros.

### 3.2.2 Determinação dos índices de vazios

Os índices de vazios mínimo e máximo foram determinados de acordo com os procedimentos das normas NBR 16843 (ABNT, 2020) e NBR 16840 (ABNT, 2020), respectivamente. Utilizou-se um molde para determinar tanto o estado mais fofão alcançável pelo solo quanto o seu estado mais compacto.

### 3.2.3 Preparação das amostras

Os índices de vazios mínimo e máximo são parâmetros essenciais nos cálculos da massa do corpo de prova, considerando a compacidade relativa adotada. Neste trabalho, foi utilizada uma compacidade relativa de 70% para o solo puro e para os compósitos, para garantir uma maior estabilidade das amostras. Além disso, foi adotada uma umidade inicial de 10% para garantir melhor aderência das fibras à areia, conforme realizado por Carvalho, Monteiro e Casagrande (2023).

Além das amostras de areia pura, foi adicionada uma concentração de 1% de fibras de açaí, aleatoriamente dispersas na produção dos compósitos. Essa concentração foi escolhida com base na pesquisa de doutorado citada anteriormente (Silva et al, 2024), que indicou, por meio de ensaios mecânicos, que essa era a porcentagem ótima para o reforço com esse tipo de material.

### 3.2.4 Ensaio de permeabilidade

Devido à baixa permeabilidade apresentada pelas amostras ensaiadas e à dificuldade de determinação desse parâmetro por meio do permeâmetro de carga constante, foi utilizado o permeâmetro de carga variável, conforme a NBR 14545 (ABNT, 2021), em duas condições distintas: com e sem adição de fibras. Esse ensaio avalia a facilidade com que a água permeia o solo, um parâmetro fundamental para entender o movimento da água no solo. Esse conhecimento é essencial em aplicações como a construção de barragens, onde uma alta permeabilidade pode levar à erosão interna e, consequentemente, ao piping.

### 3.2.5 Preparação, montagem e execução do modelo reduzido

Para simular as linhas de fluxo, foi escolhido um modelo que representasse a percolação de água na fundação de uma barragem de concreto. O experimento utilizou um aquário de vidro com

dimensões internas de 58 cm x 24 cm x 25 cm e um protótipo de barragem em acrílico (Figura 4). O interior da barragem foi preenchido com pedregulho para aumentar o peso da estrutura, simulando uma barragem de gravidade.

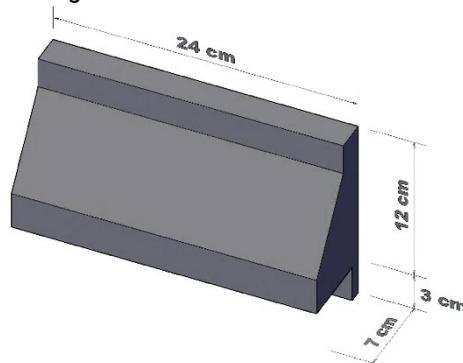


Figura 4. Geometria e dimensões da barragem escolhida para simulação

A montagem do modelo para o compósito solo-fibra foi realizada em seis camadas de 2,5 cm de altura cada, garantindo a homogeneidade e a compacidade relativa adotada. Nas duas últimas camadas, a montagem exigiu maior cautela, dado o posicionamento do protótipo da barragem. Foi fundamental assegurar que a fundação mantivesse sua homogeneidade, como mostrado na Figura 5.

Após a montagem, iniciou-se o processo de saturação, realizado com o auxílio de um equipo – dispositivo utilizado na área da saúde que permite a infusão controlada de líquidos - conectado a um reservatório de água. A saturação foi conduzida de maneira lenta e gradual, com o objetivo de evitar o aprisionamento de bolhas de ar no compósito solo-fibra. O processo teve duração de aproximadamente 24 horas.



Figura 5. Vista lateral do modelo físico montado.

Com o solo saturado, o nível da água a montante foi elevado em 9 cm, deixando uma borda livre de 1 cm na barragem. A jusante, o nível foi mantido a 1 cm, criando um gradiente hidráulico que simula uma barragem convencional. Após a estabilização dos níveis de água, iniciou-se a inserção de tinta a montante, no contato fundação-vidro, para permitir a visualização das linhas de fluxo. A tinta foi aplicada

em três pontos igualmente espaçados, conforme ilustrado na Figura 6.

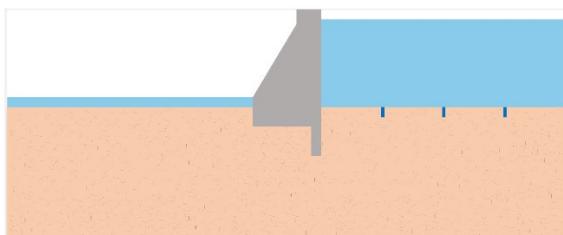


Figura 6. Detalhe da vista lateral do modelo físico com os pontos de aplicação do corante.

Todo o processo foi documentado por uma câmera fotográfica de alta resolução, com registros realizados ao longo de uma semana, entre 8h e 18h, para acompanhar a formação das linhas de fluxo no compósito solo-fibra.

Os resultados dessa etapa serviram como base para uma análise comparativa com a simulação das linhas de fluxo em solo puro, utilizando o software SEEP/W. Para o modelo computacional, foram inseridos dados de permeabilidade do solo puro e as cotas hidráulicas a montante e jusante da barragem, permitindo a geração das linhas de fluxo pelo software.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização do solo

A distribuição granulométrica do solo utilizado é apresentada no Gráfico 1. O solo é composto por 2% de argila ( $<0,002\text{ mm}$ ), 20% de silte (entre  $0,002$  e  $0,06\text{ mm}$ ) e 78% de areia, sendo este percentual dividido em 55% de areia fina, 19% de areia média e 4% de areia grossa (Figura 7). De acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), o solo foi classificado como uma areia siltosa (SM).

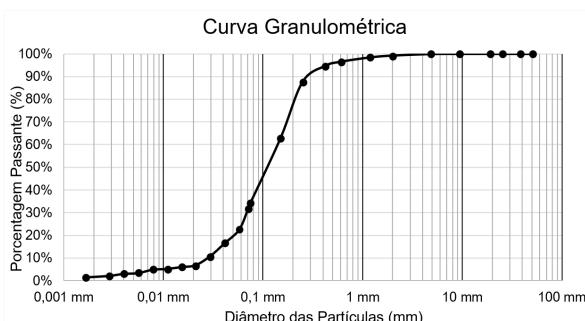


Figura 7. Curva de distribuição granulométrica do solo.

Além disso, o solo apresentou uma massa específica real dos grãos e coeficientes de uniformidade ( $C_u$ ) e curvatura ( $C_c$ ), conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Índices físicos do solo.

Massa específica dos grãos ( $\text{g/cm}^3$ )	2,63
Coef. de Uniformidade ( $C_u$ )	5,4
Coef. de Curvatura ( $C_c$ )	1,3

### 4.2 Índices de vazios mínimo e máximo

Os índices de vazios obtidos foram de 0,64 para o índice mínimo e 1,10 para o índice máximo, valores essenciais para a compreensão da estrutura granular do solo em estudo. Esses índices, junto com a compacidade relativa adotada, foram utilizados para calcular a massa dos corpos de prova nos ensaios de permeabilidade, com um valor aproximado de 1487 g. O solo utilizado na execução do modelo reduzido foi quantificado em aproximadamente 31 kg.

### 4.3 Ensaios de permeabilidade

Na Tabela 3, apresentam-se os resultados de permeabilidade do solo natural e do solo reforçado com fibras de açaí. Observa-se uma pequena diferença numérica entre os materiais, com ambos mantendo a mesma ordem de grandeza da condutividade hidráulica ( $10^{-6}\text{ m/s}$ ).

Tabela 3. Permeabilidades do solo sem e com a presença das fibras.

Permeabilidade sem fibras ( $\text{m/s}$ )	$3,14 \times 10^{-6}$
Permeabilidade com fibras ( $\text{m/s}$ )	$3,92 \times 10^{-6}$

A adição de fibras ao solo tende a criar caminhos preferenciais, o que pode contribuir para um leve aumento na permeabilidade. Faustino (2022) documentou um aumento de até 31% na condutividade hidráulica de compósitos solo-fibra, apesar de a ordem de grandeza permanecer constante.

Neste estudo, embora tenha havido um aumento numérico na permeabilidade após a adição de fibras, a ordem de grandeza permaneceu inalterada. Assim, pode-se inferir que o comportamento hidráulico dos materiais não foi significativamente alterado para as características das fibras adotadas neste estudo. Alterações na morfologia e no teor de fibras, assim como em diferentes cenários geotécnicos, podem provocar variações mais expressivas nos valores de permeabilidade.

No entanto, é importante ressaltar que a permeabilidade isoladamente não define a criação de caminhos preferenciais, o que justificou a realização da análise das linhas de fluxo.

#### 4.4 Análise de linhas de fluxo

Após a adição da tinta, as linhas de fluxo começaram a se formar, e as imagens do fenômeno foram capturadas, conforme mostrado na Figura 8.

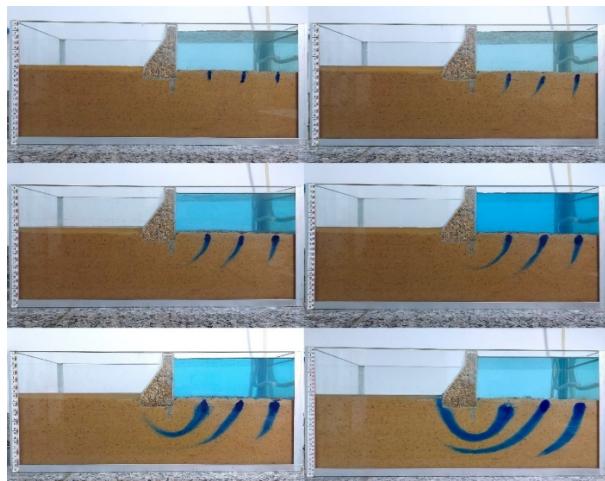


Figura 8. Avanço das linhas de fluxo ao longo do ensaio.

As imagens permitiram visualizar o processo de formação das linhas de fluxo ao longo do tempo. Observou-se que a linha de fluxo mais próxima à barragem foi a única a completar toda a trajetória, indo de montante a jusante, devido aos valores mais altos de gradiente hidráulico. Resultados semelhantes foram encontrados no estudo de Moreira, Cavalcante e Costa (2022). Para que todas as linhas de fluxo completassem suas trajetórias, seria necessário prolongar a duração do ensaio, uma vez que o meio apresenta permeabilidade e gradiente hidráulico baixos.

No software SEEP/W (GeoStudio), foi realizada uma simulação completa das linhas de fluxo para o solo sem adição de fibras, conforme ilustrado na Figura 9.

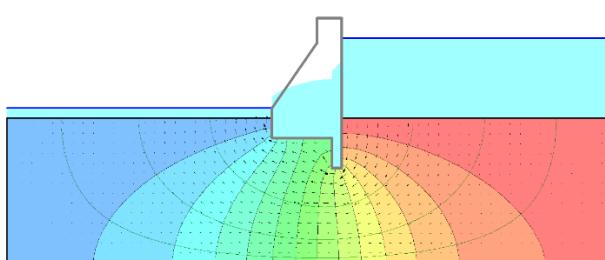


Figura 9. Simulação das linhas de fluxo no SEEP/W

A simulação teórica mostra os padrões de movimento da água no interior do solo de fundação da barragem. As setas indicam a percolação da água, enquanto as linhas verdes representam as linhas de fluxo, e as linhas pretas que cruzam as linhas de fluxo são as equipotenciais.

As imagens do experimento mostraram padrões de fluxo bem definidos, com curvas e trajetórias relativamente uniformes. Da mesma forma, a simulação no SEEP/W revelou um padrão regular, com linhas de fluxo e equipotenciais que seguem o comportamento esperado de um solo homogêneo, sem grandes desvios ou trajetórias preferenciais.

Em ambos os casos, os resultados indicaram que a condutividade isotrópica garantiu um fluxo previsível e uniforme, sem grandes variações ou desvios ao longo das trajetórias. Portanto, a adição das fibras de açaí não foi suficiente para modificar o padrão regular do fluxo de água no interior do maciço.

A ausência de alterações significativas nos padrões de fluxo de água, juntamente com a manutenção da condutividade hidráulica do solo arenoso reforçado, evidenciada pelos ensaios de permeabilidade, representa um aspecto positivo para projetos em que o controle da permeabilidade é crucial, como sistemas de drenagem, barreiras hidráulicas e aterros. Isso indica que o solo manteve suas características iniciais de condução de água, mesmo com a adição de fibras.

O fato de as fibras de açaí não interferirem no fluxo da água também sugere que o solo reforçado mantém um comportamento previsível em termos de estabilidade hidráulica. Essa estabilidade é crucial em situações onde mudanças abruptas nos padrões de fluxo poderiam causar erosão interna ou carreamento de partículas, especialmente em barragens. Além disso, a constatação de que as fibras não alteram significativamente o fluxo de água é vantajosa para projetos em que o solo precisa suportar maiores cargas mecânicas, sem comprometer suas propriedades hidráulicas.

Outro fator que deve ser levado em consideração é a variabilidade das propriedades físicas das fibras utilizadas, por se tratar de um material de origem natural pode haver variações nas características a depender da origem e do processamento realizado. E, para aplicações reais na qual são utilizados grandes volumes de material, garantir a homogeneidade do compósito solo-fibra pode ser um desafio que deve ser levado em consideração, uma vez que essas alterações podem influenciar as propriedades hidromecânicas do compósito.

## 5 CONCLUSÃO

A construção do modelo físico com a adição de fibras permitiu a observação das linhas de fluxo e da percolação da água no interior do compósito solo-fibra, conforme proposto neste estudo. Observou-se que a adição de fibras de açaí ao solo arenoso não influenciou significativamente a trajetória e a dinâmica das linhas de fluxo, mantendo o comportamento hidráulico amplamente conhecido para solos arenosos.

Esse comportamento pode ser explicado pela natureza das fibras de açaí e sua interação com o solo arenoso. Embora seja constatado na literatura que as fibras de açaí contribuem para o aumento da resistência ao cisalhamento do compósito, elas não possuem características que alterem significativamente as propriedades hidráulicas do solo, como absorção de água. Além disso, a porcentagem de fibras adicionada ao solo foi insuficiente para modificar as características de percolação.

As fibras de açaí, ao serem incorporadas à areia, tendem a se distribuir entre os grãos sem formar barreiras significativas que alterem o fluxo de água. O espaçamento entre as partículas de areia continua a dominar o comportamento hidráulico, mantendo as trajetórias das linhas de fluxo inalteradas.

Embora a adição de fibras naturais ao solo tenda a melhorar suas propriedades mecânicas, o impacto sobre o comportamento hidráulico ainda é pouco estudado. Este estudo demonstrou que, para o uso de fibras de açaí como reforço em uma matriz arenosa, nas proporções e condições de compacidade adotadas, não há alterações no comportamento hidráulico em relação ao solo puro.

A principal conclusão deste estudo é que o reforço com fibras de açaí pode ser uma solução viável em situações em que se busca aumentar a resistência ao cisalhamento e melhorar o comportamento mecânico do solo, sem comprometer suas propriedades hidráulicas. Isso abre a possibilidade de utilização de materiais naturais, como as fibras de açaí, em soluções sustentáveis de engenharia, especialmente em regiões onde esses recursos são abundantes e de baixo custo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de expressar seus agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

pela bolsa de pesquisa que foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho, e ao Grupo de Pesquisa Inovações e Tecnologias Aplicadas em Geotecnia Ambiental (GeoFluxo), por todo apoio e infraestrutura fornecidos ao longo de toda a pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 48 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2016.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16843: Solo – Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos. Rio de Janeiro, 2020.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16840: Solo – Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos. Rio de Janeiro, 2020.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (2021). NBR 14545: Solo – Determinação do coeficiente de permeabilidade de solos argilosos à carga variável. Rio de Janeiro, 2021.
- CARVALHO, L. M. C. D., MONTEIRO, F. F., CASAGRANDE, M. D. T. (2023). Large-scale direct shear testing in coir fibers reinforced sand. Soils and Rocks, 46, e2023002822.
- CASTRO, C. L. de. (2020). Comportamento hidromecânico de solos reforçados com fibras considerando a condição não saturada. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.
- CURCIO, D. S. (2008). Comportamento Hidromecânico de Compósito Solo-fibra. Dissertação (Mestrado) – COPPE/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- FAUSTINO, O. W. C. (2022). Análise do comportamento hidromecânico e o processo de formação de fissuras de solo expansivo reforçado com fibras do coco verde. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.
- GEO-SLOPE INTERNATIONAL. (2012). Seepage Modeling with SEEP/W. Version 8.15.
- GOMES, N. C. (2018). Comportamento Hidromecânico de Solos Reforçados com Fibras PET para Aplicação em Barreiras de Contenção de Resíduos. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE.
- ISAIAS, A. F. (2022). Permeabilidade de misturas de solo argiloso e fibras de polipropileno. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.
- LEÃO, M. F. (2018). Fundamentos da mecânica dos solos. Londrina/PR: Ed. E Dist. Educacional S.A.

- MASSAD, F. (2003). Obras de terra, curso básico de geotecnia. 216 p. 2<sup>a</sup> Edição. São Paulo: Oficina de textos.
- MATHEDE, L. S. S., REGINATTO, M. C. (2023). Análise comparativa entre valores de poropressões obtidas com base em redes de fluxo e por meio de ensaio em tanque para estudo de permeabilidade. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2023.
- MOREIRA, G.R., CAVALCANTE, A.L.B., COSTA, K.R.C.B. (2022). Estudos laboratoriais para a análise do fenômeno de erosão interna. Revista Científica de Pesquisa Aplicada à Engenharia, Brasília, 2022.
- OLIVEIRA, T. C. F. et al. (2018). Avaliação de modelos físicos reduzidos construídos em laboratório para o estudo da percolação de Água em duas barragens homogêneas de terra. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2018.
- PINTO, C.S. (2011). Curso básico de mecânica dos solos. 3 ed. Oficina de Textos, São Paulo, SP, Brasil.
- SILVA, A.B. et al. (2024). Ecoengenharia em geotecnia: utilização de fibras de açaí da Amazônia (*euterpe oleracea*) no melhoramento de solos arenosos. XXI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, 2024.
- SILVEIRA, M. V. (2018). Análise do Comportamento Mecânico e da Durabilidade em Compósitos de Areia Reforçada com Fibras Naturais de Curauá e Sisal. Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.