

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU
DIRETORIA DE ENSINO
COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MARIA HELOISA SANTOS DE SOUZA

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO SOLO-CIMENTO COM
INCLUSÃO DE MALHA SINTÉTICA**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2024

MARIA HELOISA SANTOS DE SOUZA

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO SOLO-CIMENTO COM
INCLUSÃO DE MALHA SINTÉTICA**

Monografia apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Bacharel, da
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do
Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientador: Prof. MSc. Emiliana de Souza
Rezende Guedes.

ARACAJU

2024

S719a Souza, Maria Heloisa Santos de.
Análise da resistência à compressão solo-cimento com inclusão de malha sintética/Maria Heloisa Santos de Souza. – Aracaju, 2024.
46f.: il.

Monografia – Curso Engenharia Civil– Instituto Federal de Educação
Ciência e Tecnologia de Sergipe – IFS.

Orientador: Prof. Msc. Emiliana de Souza Rezende Guedes.

1. Solo-cimento. 2. Geossintético. 3. Engenharia Civil. I.
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Sergipe -
IFS. II. Guedes, Emiliana de Souza Rezende. III. Título.

CDU: 624

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

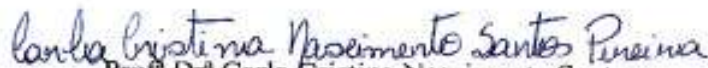
Título da Monografia N° 293

**ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO SOLO-CIMENTO COM
INCLUSÃO DE MALHA SINTÉTICA**

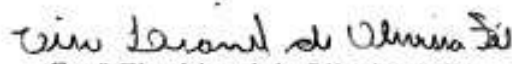
MARIA HELOISA SANTOS DE SOUZA

Esta monografia foi apresentada às 11 h 00 do dia 24 de Setembro de 2024 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados.

Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.


Prof.^a Dr.^a Carla Cristina Nascimento Santos
Pereira

(IFS – Campus Aracaju)


Eng.º Ciro Lionel de Oliveira Félix

(IFS – Campus Aracaju)


Prof. M.Sc. Emiliana de Souza Rezende
Guedes

(IFS – Campus Aracaju)
Orientadora


Prof. Dr. Pablo Gleydson de Sousa
(IFS – Campus Aracaju)
Coordenador da COEC

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo amor e apoio incondicional que me permitiram alcançar meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de dedicar um agradecimento especial a todos que estiveram ao meu lado durante a realização deste trabalho. Como diz o Pequeno Príncipe: "Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas." Essa frase me faz lembrar a importância das conexões que fazemos e como aqueles que me apoiaram se tornaram especiais na minha vida. Primeiramente, sou imensamente grata à minha mãe e minha irmã. Vocês foram minha força e apoio constante, sempre oferecendo amor incondicional. Sem vocês, este TCC não teria sido possível.

Agradeço também à minha orientadora, uma das pessoas mais humanas do IFS, Emiliana, pela orientação e paciência fundamentais para este trabalho. Aos técnicos Ciro e Rafael, sou grata pelo apoio técnico essencial. Além disso, quero reconhecer todos os amigos, colegas e professores que contribuíram com conselhos e encorajamento. Cada um de vocês teve um papel importante nesta jornada. Muito obrigada a todos por tornarem este trabalho uma realidade.

A liberdade que desejo não é apenas a ausência de amarras, mas a capacidade de explorar meu interior e encontrar significado nas minhas próprias escolhas.

(LISPECTOR, Clarice, 1998)

RESUMO

Souza, Maria Heloisa Santos de. **Análise da resistência à compressão do solo-cimento com inclusão de malha sintética.** 46 folhas. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2024.

A relevância da indústria da construção para a economia e o crescimento urbano é grande, mesmo diante dos problemas ambientais relacionados à exploração excessiva de recursos naturais e à geração de resíduos. Adotar métodos e recursos ambientalmente mais sustentáveis é essencial para reduzir essas consequências. Os geossintéticos, como as redes de fibra de vidro, trazem uma inovação ao oferecer opções mais baratas e ecologicamente corretas em relação aos métodos convencionais. Eles desempenham várias tarefas, como drenar e separar o solo, ou melhorar a resistência do solo e diminuir o consumo de recursos. Este estudo examinou como a adição de telas sintéticas em uma mistura solo-cimento afeta a resistência mecânica. Os resultados coletados indicaram que adicionar até duas telas resultou em acréscimos de 14,49% na resistência mecânica e para corpos de prova com três telas acréscimos de 16,13%. No entanto, a inclusão de quatro telas de fibra de vidro resulta em uma diminuição de 3,19% na resistência, deste modo é concluído que um grande número de telas pode causar o enfraquecimento do material. Além disso, foram ressaltadas deficiências específicas nos testes com quatro telas, apresentando o tipo de ruptura com superfície plana nos pontos onde foram inseridas as telas. Neste estudo, realizou-se apenas ensaios de especificações simples e fica evidenciado a importância da realização de testes adicionais, pois na prática o material deve ser testado em especificações confinadas (em aterros reforçados) ou flexão (em blocos) para compreender melhor seu comportamento em situações reais.

Palavras-chave: Solo-cimento, geossintético, geogrelha.

ABSTRACT

Souza, Maria Heloisa Santos de. **Analysis of the compressive strength of soil-cement with the inclusion of synthetic mesh.** 46 sheets. Monograph (Bachelor's Degree in Civil Engineering) – Federal Institute of Education, Science and Technology of Sergipe – Aracaju Campus. 2024.

The relevance of the construction industry to the economy and urban growth is great, even in the face of environmental problems related to the overexploitation of natural resources and the generation of waste. Adopting more environmentally sustainable methods and resources is essential to reducing these consequences. Geosynthetics, such as fiberglass nets, bring innovation by offering cheaper and more environmentally friendly options compared to conventional methods. They perform various tasks, such as draining and separating soil, or improving soil resistance and reducing resource consumption. This study examined how adding synthetic mesh to a soil-cement mix affects mechanical strength. The results collected indicated that adding up to two screens resulted in increases of 14.49% in mechanical strength and for specimens with three screens increases of 16.13%. However, the inclusion of four fiberglass plies resulted in a 3.19% decrease in strength, so it can be concluded that a large number of plies can cause the material to weaken. In addition, specific shortcomings were highlighted in the tests with four plies, showing the type of rupture with a flat surface at the points where the plies were inserted. In this study, only simple specification tests were carried out and the importance of carrying out additional tests is highlighted, as in practice the material should be tested in confined specifications (in reinforced embankments) or flexure (in blocks) in order to better understand its behavior in real situations.

Translated with DeepL.com (free version)

Translated with DeepL.com (free version)

Keywords: Soil-cement, geosynthetic, geogrid.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zigue de Ur.....	17
Figura 2: Fibras de geotêxteis: a) tecido multifilamento e b) monofilamento.....	22
Figura 3: Fibras de geotêxteis não tecidos: a) agulhados, b) termoligados e c) resinados.....	22
Figura 4: Curva granulométrica do solo argiloso.....	26
Figura 5: Curva granulométrica do solo arenoso.....	27
Figura 6: Curva da compactação do composto.....	28
Figura 7: Traço da mistura (areia, cimento e argila).....	29
Figura 8: Posicionamento das telas de fibra de vidro no corpo-de-prova.....	29
Figura 9: Mistura solo-cimento seca homogênea.....	31
Figura 10: Mistura solo-cimento hidratado e homogeneizado.....	32
Figura 11: Cilindro de moldagem.....	32
Figura 12: Tarugos de compactação.....	33
Figura 13: Prensa manual.....	33
Figura 14: Extração corpo de prova.....	34
Figura 15: Cura dos corpos de prova.....	35
Figura 16: Processo de ruptura dos corpos de prova. Início e final do ensaio.....	36
Figura 17: Resistência à compressão dos quatro materiais testados, sem desprezar nenhum corpo de prova.....	37
Figura 18: Comparação da resistência à compressão média dos quatro materiais testados, sem desprezar nenhum corpo de prova.....	38
Figura 19: Resistência à compressão dos quatro materiais testados, desprezando os valores discrepantes.....	39

Figura 20: Comparação da resistência à compressão média, desprezando os valores discrepantes.....	39
Figura 21: Tipos de ruptura dos corpos de prova. (a) SC. (b) SC-2T. (c) SC-3T	40
Figura 22: (a) Corpo de prova com tela rompida. (b) Detalhe da tela mobilizada.....	41
Figura 23: Tipos de ruptura dos corpos de prova com quatro telas.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Especificações dos Corpos de Prova.....	30
Quadro 2: Resultados da resistência à compressão dos corpos de prova.....	37
Quadro 3: Resultados da resistência à compressão dos corpos de prova após eliminação dos resultados discrepantes.....	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivos Específicos.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1 Histórico e solos reforçados.....	16
3.2 Solo-Cimento.....	19
3.2.1 Dosagem.....	19
3.2.2 Homogeneização.....	20
3.2.3 Umidade.....	20
3.2.4 Compactação.....	20
3.2.5 Resistência.....	20
3.3 Reforços Utilizados para Aumentar a Resistência do Solo.....	21
3.3.1 Reforços metálicos.....	21
3.3.2 Geotêxteis.....	21
3.3.3 Geogrelhas.....	23
3.3 Reforços Utilizados para Aumentar a Resistência do Solo.....	23
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
4.1 Materiais.....	26
4.1.1 Solos.....	26
4.1.2 Cimento.....	27
4.1.3 Tela de Fibra de Vidro.....	28
4.2 Métodos.....	28
4.2.1 Preparação as misturas.....	28
4.2.2 Posicionamento das telas de fibra de vidro.....	29
4.2.3 Moldagem dos corpos de prova.....	31
4.2.4 Cura.....	35
4.2.5 Ensaio de compressão simples.....	35
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
5.1 Resistência à Compressão.....	37
5.2 Tipos de Ruptura.....	40
6. CONCLUSÃO.....	43
7. REFERÊNCIAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil tem um grande impacto na economia, criando muitos empregos e contribuindo para o desenvolvimento urbano do país. Apesar de ser crucial, o setor da construção civil está diante de um desafio ambiental complexo, já que suas práticas impactam negativamente o meio ambiente em todas as fases, desde a exploração excessiva de recursos naturais até a geração de resíduos. Segundo Passuello (2014), a indústria da construção civil tem um grande impacto na pegada ecológica e econômica do país e em contrapartida no cenário atual do mundo, há uma crescente necessidade de reduzir o consumo de carbono, o que impulsiona a utilização de técnicas e materiais sustentáveis, como cimentos alternativos e geossintéticos.

Conforme o estudo mencionado por Laruccia (2014), a chave para proteger os recursos naturais e garantir uma exploração controlada está relacionada ao uso de novas tecnologias e técnicas sustentáveis, visando o desenvolvimento sustentável e o bem das futuras gerações e dentro desse contexto a engenharia traz tecnologias surpreendentes, sendo algumas recentes e outras nem tão recentes assim, alguns métodos e técnicas de construção antigos têm sido trazidas de volta de um modo remasterizado e sido novamente utilizadas pelo baixo impacto ambiental causado, um exemplo disso são os tijolos adobe e alguns geossintéticos que têm sido utilizados no lugar de alternativas tradicionais e além de serem mais sustentáveis tem se mostrado economicamente mais viáveis em algumas obras.

A utilização responsável de recursos naturais e a diminuição das emissões de gases poluentes são fundamentais para diminuir a influência negativa da indústria no meio ambiente, sendo essencial que a construção civil adote materiais sustentáveis e técnicas de construção renováveis para atingir esses objetivos. Desse modo, algumas das alternativas conhecidas é o uso do solo-cimento e geossintéticos, de acordo com a obra de Giorgi (2018), o solo-cimento é um material composto por solo, que geralmente é coletado na própria localidade da obra o que reduz os gastos com transporte de solo e cimento, sendo também um material que é curado sem a necessidade de queima, tanto a redução ou ausência no transporte do material e a dispensa da queima são responsáveis por uma redução drástica na emissão de monóxido de carbono. De acordo com Vieira (2024), os geossintéticos são substâncias que proporcionam alternativas mais baratas e ecologicamente corretas em relação aos métodos convencionais de construção, esses realizam diversas atividades diferentes, tais como filtrar, drenar, separar, reforçar, tornar impermeável e controlar a erosão. Estas características versáteis fazem com que os

geossintéticos sejam uma opção valiosa para aprimorar o desempenho dos materiais de construção e diminuir a utilização de recursos. Neste cenário, este estudo analisa como a inclusão de telas sintéticas afeta o desempenho mecânico do solo-cimento.

2. OBJETIVOS

O objetivo desta monografia é avaliar o efeito da adição de telas sintéticas no comportamento mecânico do solo cimento. Para isso, buscou-se trabalhar com solos utilizados em uma fábrica de tijolos ecológicos localizada no Jabotiana, bairro da zona oeste de Aracaju no estado de Sergipe, e tela de fibra de vidro utilizada para fabricação de telas mosquiteiras.

2.1 Objetivos Específicos

- Realizar a caracterização física de dois solos utilizados para a fabricação de tijolos de solo cimento;
- Definir o traço adequado para os tipos de solos utilizados na campanha experimental;
- Definir o posicionamento e as quantidades de telas sintéticas que influenciam a resistência do material;
- Analisar os tipos de ruptura dos corpos de prova;
- Realizar ensaios de resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos de solo-cimento, com e sem telas sintéticas;
- Analisar e comparar o efeito da inclusão da tela sintética no compósito de solo-cimento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a elaboração e desenvolvimento do tema, foi realizada uma pesquisa inicial, que incluiu a origem histórica dos geossintéticos e as primeiras aplicações na construção civil, seu uso atual dentro da engenharia civil e estudos sobre a influência das geogrelhas no aumento da resistência mecânica de solo-cimento.

3.1 Histórico e solos reforçados

De acordo com Ehrlich e Becker (2009), a ideia de solo reforçado é no geral uma combinação de solo com reforços que melhoram suas características mecânicas. Essas técnicas construtivas podem ser observadas em grandes obras antigas que perduram até os dias atuais, essas técnicas foram sendo refinadas com o passar do tempo e são muito utilizadas. Segundo Torgal, Eires e Jalali, é possível observar construções datadas de 9.000 anos, numa cronologia que cruza com o surgimento das primeiras sociedades agrícolas, entre 12.000 e 7.000 a.C.

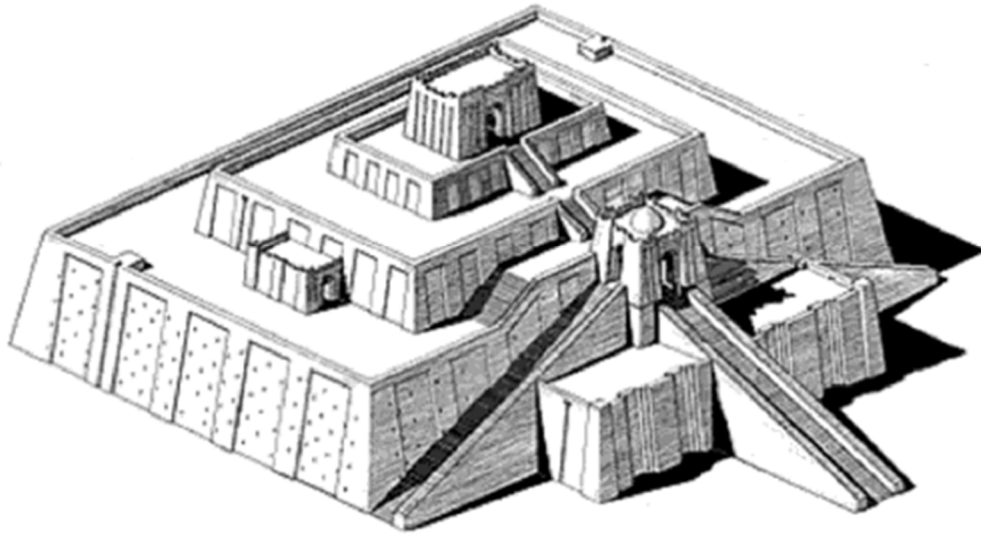
Com o surgimento dessas sociedades agrícolas, Lourenço (1999) aponta que houve uma evolução extremamente significativa nos sistemas sociais, econômicos e culturais dos povos antigos, o que levou ao aparecimento das primeiras grandes cidades e levou ao surgimento das grandes obras arquitetônicas e com essas obras o surgimento de novas técnicas construtivas.

Segundo Ehrlich e Becker (2009) essas construções de terra reforçadas com fibras vegetais surgiram antes mesmo do surgimento do concreto armado. Kaefer (1998) explica que os zigurates eram templos construídos em forma de torre que são datados da época dos primeiros povos sumérios que estavam cientes da fragilidade dos tijolos de barro que eles produziam e da fragilidade dos solos onde algumas construções estavam alocadas e é por essa razão que se encontram vestígios de esteiras de fibras vegetais para reforçar os templos. Ainda com Ehrlich e Becker (2009), os zigurates eram construídos com camadas intercaladas de barro, juncos e galhos, podendo chegar a 50 metros ou mais de altura, na China, utilizavam-se galhos de árvores para reforçar barragens de terra, e há trechos da Muralha da China constituídos de solo reforçado.

Com tantos exemplos históricos de grandes construções de solo reforçado que se mantém até os dias atuais, mesmo após tantos anos, deixam claro a eficácia e o potencial do uso

de técnicas de reforço de solo, que foram evoluindo até chegarmos às soluções modernas empregadas na engenharia civil contemporânea.

Figura 1: Zigurate de Ur.



Fonte: Ehrlich & Becker (2009).

Segundo Vertematti (2015), foi em 1971 que foram aplicados os primeiros geotêxteis que eram utilizados para reforçar os aterros em obras rodoviárias no Brasil, em 1973 foi fabricado o primeiro geotêxtil sobre o solo nacional, o geotêxtil não tecido de filamentos que na época teve como principal aplicação a drenagem da Rodovia Bandeirantes em São Paulo, e foi na década de 1980 que foi criada a Comissão de Estudos de Geossintéticos, pelo Comitê Brasileiro de Construção Civil.

Hoje, para Almeida *et al.* (2022), um dos desafios a ser superado é a ocorrência de terrenos com características geotécnicas desfavoráveis para suportar algumas obras de engenharia civil, na medida em que a demanda por materiais que possam aprimorar as propriedades mecânicas do solo tem crescido, o que culminou com a invenção de novos geossintéticos, com a finalidade de se apresentarem como uma opção mais atraente do que as soluções já existentes consideradas tradicionais. Conforme argumenta-se no estudo de Almeida *et al.*, em comparação as soluções tradicionais como a troca do solo por um de maior capacidade de suporte ou mesmo melhoria das propriedades do solo com a adição de agentes cimentantes, o geossintético inova ao apresentar benefícios como facilidade de execução de sua instalação, baixo custo e alto desempenho respectivamente, além de ser versátil, a produtividade que o

tornou eficaz na melhoria da capacidade de suporte dos solos, a diminuição do início e do progresso das deformações e ao controle do processo de erosão, essa, foi a solução que permitiu sua variação em aplicação de solos, e solos de diferentes tipos e sido responsável pelo maior crescimento de indicadores no Brasil.

Conforme citado por Vertematti (2015), foram feitas aplicações que permitiram a definição de funções que os geossintéticos podem desempenhar, baseado na norma brasileira NBR ISO 10318 – Geossintéticos – Termos e Definições, em seu livro, elas incluem:

- Controle de erosão superficial: uso de um geotêxtil ou produto correlato para controlar ou eliminar a movimentação do solo ou de outras partículas na superfície, por exemplo, de um talude.
- Drenagem: conduzir águas pluviais, águas subterrâneas e outros líquidos no plano do geotêxtil ou produto correlato.
- Filtração: uso de um geotêxtil ou produto correlato para reter ou excluir partículas de solo ou areia dos sofrer da ação das forças hidrodinâmicas, permitindo a passagem do líquido em movimento através do geotêxtil ou no seu interior.
- Barreira: uso de um geossintético para prevenir ou limitar a migração de fluidos.
- Proteção: limitação ou prevenção de danos localizados em um elemento ou material, pelo uso de um geotêxtil ou produto correlato.
- Reforço: uso do comportamento tensão-deformação de um geotêxtil ou produto correlato para melhorar o comportamento mecânico do solo ou de outros materiais de construção.
- Separação: o geotêxtil age como uma barreira que evita que solos ou materiais de aterro de diferentes naturezas se misturem, garantindo que cada um mantenha suas características.

Além disso, atualmente, a preocupação com o meio ambiente tem aumentado significativamente. Esse cenário tem levado as empresas da construção civil a adotarem geossintéticos, que funcionam como soluções eficazes para o solo. Os geossintéticos ajudam a reduzir a quantidade de terra a ser extraída e transportada, diminuindo, assim, o impacto das obras na natureza. Portanto, o uso de geossintéticos não se configura apenas como uma inovação técnica, mas como uma abordagem inteligente e responsável para enfrentar os desafios da construção civil, tornando os projetos mais eficientes, econômicos e sustentáveis (Almeida *et al.*, 2022).

3.2. Solo-Cimento

No Brasil, a história do solo-cimento começou com um foco na pavimentação, mas foi em 1948 que essa técnica adquiriu um novo direcionamento. Neste ano, as paredes monolíticas, feitas de solo-cimento, foram utilizadas pela primeira vez em construções residenciais na Fazenda Inglesa, em Petrópolis, no Rio de Janeiro. Essas paredes podem ser visualizadas como grandes blocos de terra e cimento, que se combinam para formar uma estrutura sólida e resistente. Com o sucesso das paredes, a produção de tijolos de solo-cimento, também conhecidos como tijolos ecológicos, começou a se expandir. Esses tijolos são produzidos a partir de uma mistura simples: solo, água e cimento Portland (Euphrosino *et al.*, 2022). A principal vantagem é que, ao contrário dos tijolos tradicionais, que passam por um processo de queima intensa, os tijolos ecológicos não necessitam desse tratamento. Isso resulta em uma produção significativamente menos prejudicial ao meio ambiente, comparável a preparar um bolo sem acionar o forno. Além disso, os tijolos ecológicos apresentam uma vantagem considerável: podem ser fabricados com o solo retirado diretamente do local da construção. Isso não só facilita a produção, como também contribui para a redução da necessidade de transporte de materiais, promovendo um desenvolvimento mais sustentável. Em resumo, essa técnica não apenas se destaca pela inovação, mas também representa uma abordagem inteligente para a construção, respeitando o meio ambiente.

Atualmente, o solo-cimento é um material que segue as diretrizes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Na prática, isso significa que cada região do Brasil possui uma "receita" de solo-cimento específica, que pode variar consideravelmente. Assim como diferentes receitas de bolo podem resultar em texturas variadas, o solo também pode apresentar características distintas de acordo com a região (Giorgi *et al.*, 2018).

Considerando o que está descrito na obra de CEPED (1984), Manual de solo cimento, o preparo e controle do uso da mistura do solo-cimento é dividida em quatro etapas: a dosagem, homogeneização, umidade e compactação que serão descritas abaixo baseado no que está descrito na mesma obra, além disso será citada a resistência à compressão.

3.2.1 Dosagem

A dosagem deve ser ajustada de acordo com as características do solo. Usar mais de um critério de medidas pode causar confusão, então é melhor evitá-lo. Uma boa prática é usar volumes fáceis de manejar, como carrinhos de mão para o solo e baldes para o cimento. É importante garantir que o solo não tenha variações granulométricas, pois isso pode exigir uma confirmação da dosagem.

3.2.2 Homogeneização

A homogeneização da mistura é essencial. O cimento deve ser adicionado ao solo seco e misturado até obter uma cor uniforme. O solo não deve ter torrões, que podem ser desfeitos com uma pá ou peneirados. Às vezes, o solo não está seco, especialmente em áreas chuvosas. Nesses casos, usar solos arenosos ajuda na secagem, que pode ser feita espalhando o solo úmido e revolvendo-o de tempos em tempos. Algumas horas geralmente são suficientes. Outra opção é manter uma quantidade de solo seco guardada para misturá-la ao solo úmido quando necessário. Uma boa prática é manter uma peça de polietileno para cobrir o solo que será usado, garantindo que ele permaneça seco CEPED (1984).

3.2.3 Umidade

A umidade final da mistura é crucial para a compactação do solo, cada tipo de solo possui uma umidade ótima que proporciona a maior densidade. Essa umidade é determinada em laboratório, mas pode ser verificada no campo de forma simples: ao apertar um punhado da mistura, ele deve manter o formato dos dedos e se desfazer ao cair de 1 metro. Se não formar o bolo, a umidade é insuficiente; se não se desfizer, está excessiva. Em climas secos, é necessário verificar a umidade constantemente CEPED (1984).

3.2.4 Compactação

O controle da compactação pode ser feito de forma intuitiva: o operador sabe que a compactação está completa quando o soquete quase não deixa marcas na superfície. A partir desse ponto, continuar compactando não faz diferença. A eficácia desse método é comprovada, com valores de compactação acima de 95% de acordo com medições nas paredes recém-compactadas. Para maior precisão, é possível realizar controles sistemáticos, retirando amostras de massa específica seca sempre que a umidade for verificada. A espessura das camadas de

mistura nas formas também é crucial e não deve exceder 20 cm, sendo 15 cm o ideal. O operador deve estar em uma posição confortável para garantir a compactação adequada CEPED (1984).

3.2.5 Resistência

Segundo Foppa (2007), a resistência do solo-cimento é diretamente proporcional ao valor decrescente da porosidade do material, com a diminuição da porosidade, as partículas do solo se aproximam, aumentando o número de contatos entre elas, obtendo assim um maior intertravamento. Esse maior intertravamento dá ao cimento condições mais favoráveis de ação, na qual o cimento é capaz de criar ligações melhores entre os grãos do solo, formando um material mais coeso e mais resistente. O aumento do número de contatos entre as partículas também proporcionará um maior atrito interno em resposta às tensões aplicadas, independentemente do valor da resistência aos esforços de cisalhamento do solo tratado.

3.3. Reforços Utilizados para Aumentar a Resistência do Solo

De acordo com Ehrlich e Becker (2009), diversos tipos de reforços podem ser utilizados em geossintéticos, como geogrelhas, reforços metálicos, geotêxteis tecidos e geotêxteis não tecidos. Atualmente, os geossintéticos são divididos em duas categorias principais: geogrelhas e geotêxteis. Os geotêxteis são considerados mais versáteis, pois além de reforçar o solo, podem ser utilizados em funções de drenagem, filtração e separação. As geogrelhas, por outro lado, são especificamente projetadas para o reforço do solo, consistindo em estruturas plásticas planas em formato de grelha. A seguir, detalham-se os diferentes tipos de reforços:

3.3.1 Reforços metálicos

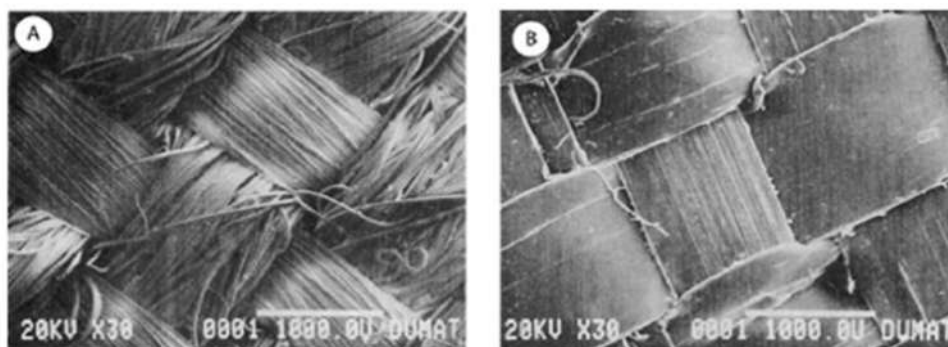
Os reforços metálicos foram os pioneiros da era moderna, consistindo em tiras de aço utilizadas no sistema de Terra Armada. As dimensões dessas tiras variam conforme a obra, e cada tira de aço possui uma espessura adicional chamada "espessura de sacrifício" para compensar as perdas por corrosão. Esse valor adicional é definido pela ABNT (NBR 9286/86) e pode aumentar os custos da obra devido ao uso de mais aço (Ehrlich & Becker, 2009).

3.3.2 Geotêxteis

Segundo Sieira (2009), os geotêxteis são mantas feitas de fibras cortadas, filamentos contínuos, monofilamentos, laminetes ou fios, que podem ser tecidas, não-tecidas ou tricotadas. Essas mantas têm propriedades mecânicas e hidráulicas que permitem desempenhar diversas funções em obras geotécnicas.

Os geotêxteis tecidos são desenvolvidos através de processos convencionais de tecelagem. Os polímeros básicos são derretidos e extrudados em filamentos, que podem ser cilíndricos ou laminados (Ehrlich & Becker, 2009). Após o resfriamento, os filamentos são tecidos em duas direções: a longitudinal, chamada urdidura, e a transversal, chamada trama. O entrelaçamento das fibras pode ser realizado com filamentos únicos ou múltiplos de laminetes (Ehrlich & Becker, 2009).

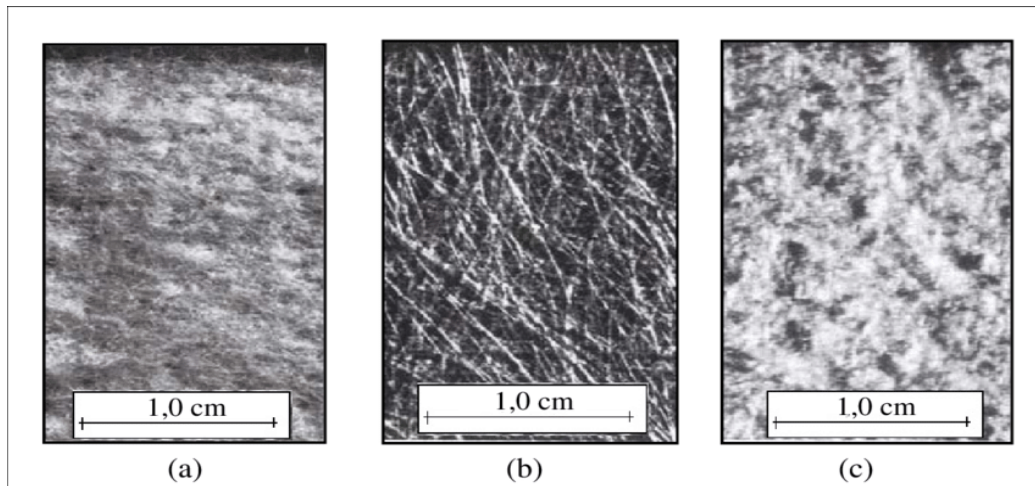
Figura 2: Fibras de geotêxteis: a) tecido multifilamento e b) monofilamento.



Fonte: Ehrlich & Becker (2009).

O geotêxtil não tecido é fabricado com os mesmos tipos de filamentos dos tecidos, mas, em vez de ser trançado, o filamento é cortado ou mantido contínuo e disposto aleatoriamente em uma esteira, sobrepondo-se. A gramatura do material depende da quantidade de filamentos lançados. A consolidação dos filamentos ocorre por meio de processos como tratamento térmico, resinagem com produtos químicos ou agulhagem. Depois disso, o geotêxtil pode ser prensado em rolos menores, facilitando o transporte. Ele apresenta maior isotropia e complexidade estrutural em comparação aos tecidos, tornando-o mais uniforme em suas propriedades físicas e mecânicas (Ehrlich & Becker, 2009).

Figura 3: Fibras de geotêxteis não tecidos: a) agulhados, b) termoligados e c) resinados.



Fonte: Ferreira (2001).

3.3.3 Geogrelhas

Os geotêxteis e as geogrelhas são disponibilizados em forma de rolos, com dimensões padronizadas, caracterizados como unidirecionais e bidimensionais. As geogrelhas unidimensionais conferem alta resistência à tração em uma direção, ao passo que as bidimensionais foram projetadas para resistir nas duas direções ortogonais, ou seja, são estas que incrementam a estabilidade e o suporte conferidos.

Os polímeros mais comumente usados na fabricação das geogrelhas são polietileno de alta densidade, poliéster e álcool polivinílico, materiais estes que são escolhidos devido a baixa deformabilidade e alta resistência a tração, características necessárias ao desempenho das geogrelhas em diversas aplicações (Ehrlich & Becker, 2009).

Conforme Fernandes (2019), as geogrelhas podem ser produzidas conforme diferentes métodos, podendo ser tecidas, extrudadas e soldadas, e o autor definiu cada um deles como:

- a) Geogrelhas tecidas (GGW): Planas, feitas de fibras sintéticas de alta resistência, entrelaçadas e revestidas com uma camada de PVC.
- b) Geogrelhas extrudadas (GGE): Planas, criadas por extrusão e tensionadas, geralmente de polietileno ou polipropileno, com resistência à tração unidirecional ou bidirecional.
- c) Geogrelhas soldadas (GGB): Planas, compostas por tiras ou extrudados unidos por eletrossoldagem, feitas de poliéster revestido com polietileno.

3.4 Comportamento Mecânico do Solo Reforçado com Geossintéticos

No caso da estabilização do solo utilizando geossintéticos, estes passam a cumprir sua função de reforço, de forma eficiente, apenas quando o solo é submetido a esforços externos culminando em deformações. O desempenho dos geossintéticos como elemento de reforço é função das características deformáveis do solo e da forma como essas deformações se distribuem no interior da matriz solo-geossintético.

Conforme Santos (2008), as fibras iniciam sua ação efetiva dentro da massa do solo quando estão sujeitas a uma ação externa e deformam esta massa de solo; o comportamento das fibras como elemento de reforço é influenciado pelas características de deformabilidade do solo e pela forma como as deformações se distribuem, o que depende do tipo de solicitação a que se submete este material. Agarwal e Broutman (1980) fazem uma observação de que a interação solo-fibra e a transferência de carga para os reforços não é a mesma em todos os casos. Para as fibras curtas, isto é, aquelas com comprimento inferior a 76,20 mm, a solicitação devido a um carregamento externo só inicia após quando a matriz do solo está completamente empenhada, sendo as extremidades e a superfície lateral das fibras as primeiras a serem solicitadas. No caso de fibras longas, comprimento maior que 76,20 mm, a tensão ao longo do comprimento do reforço se documenta uniformemente com a tensão externa; sendo assim a solicitação no solo e nos reforços ocorre simultaneamente. Dessa forma, os autores Agarwal e Broutman (1980) concluem que, para o caso de reforço unidimensional, como no caso das fibras longas, os parâmetros mais relevantes são o volume dos elementos e a qualidade da ligação entre esses e a matriz do solo.

Miguel (2020) aponta que a interação solo-fibra se altera rapidamente com o comprimento dessas fibras, essa interação pode ser mensurada pela quantidade de tensão que o reforço consegue resistir, não só nas fibras como na interface entre o solo e as fibras. De forma que, quando consideramos uma interação perfeita, as propriedades das fibras são cruciais para dirigir o comportamento do compósito. Para que isso ocorra, os comprimentos dos materiais reforçantes adotados devem ser iguais ou maiores do que seu comprimento crítico. Fibras de comprimento igual ou maior que o crítico assegura uma interação completa entre elas e a matriz, apresentando falha somente em caso de fratura das fibras. Ao respeitar esse comprimento crítico, o escorregamento eventual das fibras deverá ocorrer entre os grãos do solo e não entre as fibras e a matriz, assegurando, por esse tratamento, a eficiência do reforço.

Consequentemente, o comportamento mecânico do solo reforçado com geossintético é um reflexo da capacidade deste interagir efetivamente com a matriz do solo. Esta capacidade depende do comprimento do geossintético bem como da qualidade do engajamento entre cada um deles e o solo. A aplicação correta dos geossintéticos pode resultar em uma melhoria de sua resistência em relação à correspondente resistência do solo, tornando-o apto a suportar as cargas aplicadas e reduzindo assim a probabilidade de ocorrência de falhas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

4.1.1 Solos

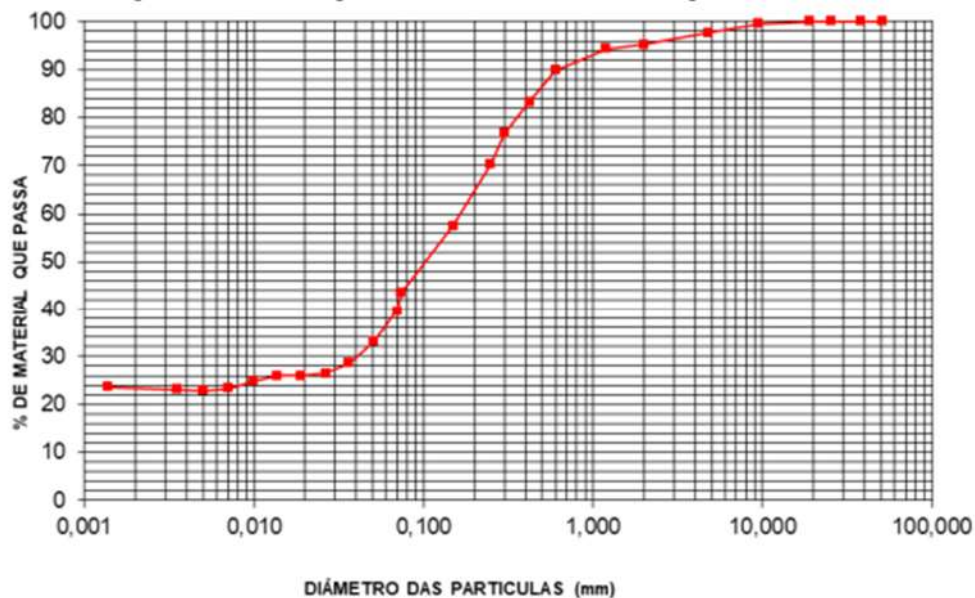
Na pesquisa, dois tipos de solo foram utilizados: uma areia argilosa e um solo arenoso, ambos obtidos de uma fábrica de tijolos ecológicos situada no município de São Cristóvão, estado de Sergipe.

a) Areia argilosa

Para a preparação das amostras e a análise granulométrica, foram utilizadas, respectivamente, as normas ABNT NBR 6457:2024 e ABNT NBR 7181:2016 Versão Corrigida 2:2018. A variação granulométrica da areia argilosa está apresentada na Figura 4.

De acordo com a curva granulométrica, foram encontradas as seguintes frações granulométricas: 51,67% de areia, 22,88% de argila, 20,68% de silte e 4,77% de pedregulho. Essas distribuições revelam um solo predominantemente arenoso, com uma presença significativa de argila coloidal.

Figura 4: Curva granulométrica do solo argiloso.



Fonte: O autor (2024).

O ensaio para obtenção da densidade real dos grãos, seguiu a norma da ABNT NBR 6458:2016 Versão Corrigida 2:2017, indicando o valor de 2,65, situando-se dentro da faixa típica de 2,65 a 2,90.

Através das normas NBR 6459 ABNT, 2016 e NBR 7180 ABNT, 2016 foram seguidas as orientações para a realização dos ensaios dos limites de Atterberg e assim foi indicado um limite de liquidez de 29,4%, limite de plasticidade de 12,2% e índice de plasticidade de 17%, indicando que a argila presente no solo arenoso é altamente plástica.

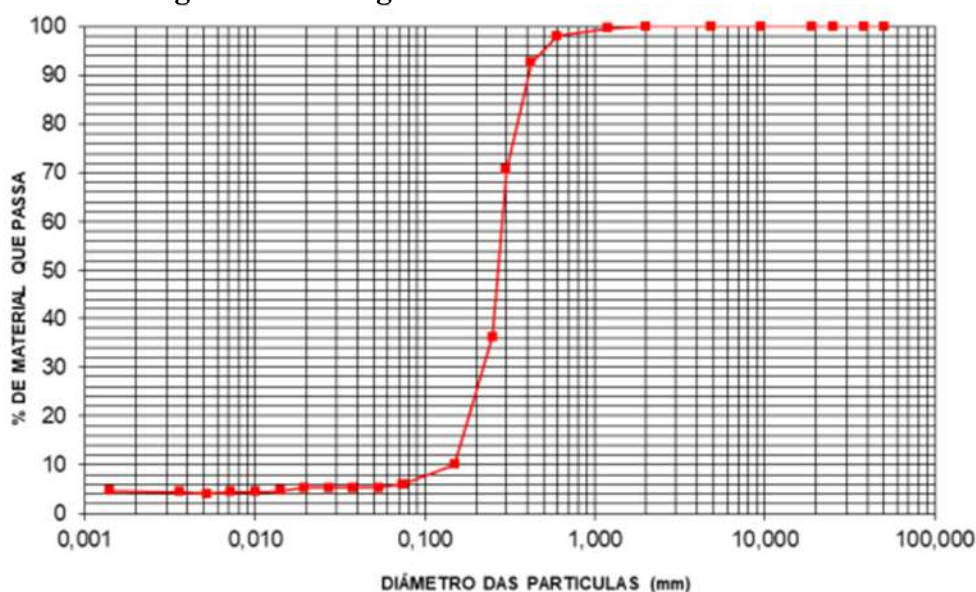
Com base nesses resultados e, através do Sistema Unificado de Classificação (S.U.C.S), o solo foi classificado como uma areia argilosa (SC).

b) Areia

A preparação da amostra seguiu toda a Norma da ABNT NBR 6457:2024 e a análise granulométrica seguiu a norma ABNT NBR 7181:2016 Versão Corrigida 2:2018. É possível visualizar a curva granulométrica do solo argiloso na Figura 5.

A análise granulométrica do solo revelou as seguintes distribuições: 0,0% de pedregulho, 93,94% de areia, 1,94% de silte e 4,12% de argila. Esses dados classificam o solo, de acordo com o Sistema Unificado de Classificação (S.U.C.S), como uma areia mal graduada (SP).

Figura 5: Curva granulométrica do solo arenoso.



Fonte: O autor (2024).

O ensaio para obtenção da densidade real dos grãos, seguiu a norma da ABNT NBR 6458 2017, indicando o valor de 2,694.

4.1.2 Cimento

O cimento utilizado foi do tipo CP II-E-32. Esse tipo de cimento se destaca, em particular, por ter uma taxa de pega mais rápida, o que significa que ele endurece mais depressa em comparação a outros tipos de cimento. Essa característica é especialmente útil em projetos onde o tempo de cura precisa ser otimizado, permitindo uma maior eficiência no processo de construção, sendo uma escolha econômica com desempenho superior. Foi adquirido em uma loja de materiais de construção e armazenado em sacos plásticos, na quantidade necessária para os traços de solo-cimento.

4.1.3 Tela de Fibra de Vidro

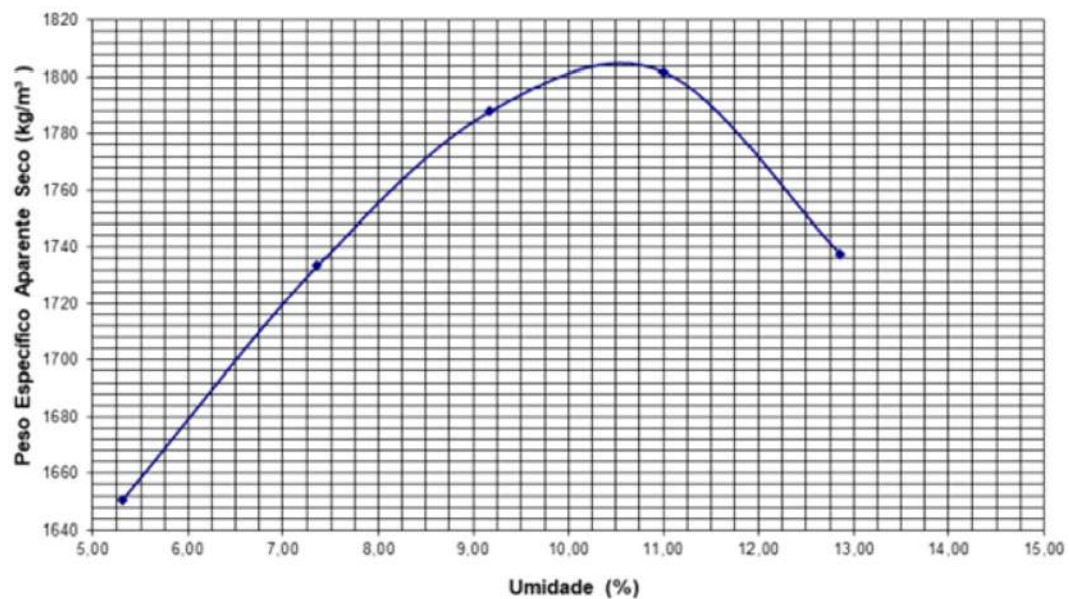
Para analisar o efeito na resistência à compressão dos corpos de prova, foi utilizada uma tela de fibra de vidro comumente utilizada para proteção contra mosquitos. Esta tela foi escolhida por ser um material sintético, de fácil aquisição e baixo custo.

4.2 Métodos

4.2.1. Preparação as misturas

Para a preparação do compósito de solo-cimento, inicialmente procurou-se seguir o mesmo traço utilizado na fábrica de tijolos ecológicos onde os solos foram coletados, sendo este com a relação 1:2:5 (cimento:argila:areia). Com isso, realizou-se o ensaio de compactação seguindo a norma NBR 7182 ABNT, 2016, onde foram obtidos os valores da umidade ótima (10,5 %) e peso específico aparente seco máximo 18,04 KN/m³ conforme apresentação da Figura 6.

Figura 6: Curva da compactação do compósito.



Fonte: O autor (2024).

De posse dos valores da umidade ótima e peso específico aparente seco máximo, fez-se a moldagem do primeiro corpo-de-prova sem inclusão de telas metálicas. Após a moldagem, o corpo-de-prova não conseguiu manter a integridade e com isso partiu-se. Isso aconteceu pelo fato de o solo argiloso apresentar uma quantidade significativa de areia. Sendo assim, fez-se a alteração do traço para a proporção 1:1:2,5 (Figura 7), aumentando a quantidade de finos presentes no compósito. Vale ressaltar que a escolha do novo traço com maior consumo de cimento foi justificada para que a campanha experimental fosse concluída em um período curto, já que seria difícil encontrar um novo solo e realizar novas caracterizações.

Figura 7: Traço da mistura (cimento, argila e areia).

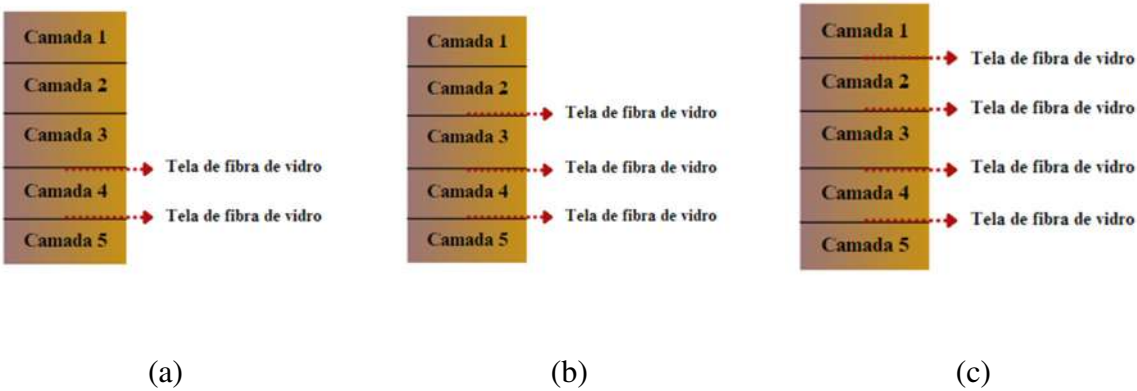


Fonte: O autor (2024).

4.2.2. Posicionamento das telas de fibra de vidro

Na campanha experimental, procurou-se trabalhar com três configurações de inclusões de telas, como apresentado na Figura 8. Utilizou-se a configuração com inclusão de duas telas (Figura 8a), com inclusão de três telas (Figura 8b) e quatro telas (Figura 8c).

Figura 8: Posicionamento das telas de fibra de vidro no corpo-de-prova.



Fonte: O autor (2024).

Foram moldados três corpos de prova para cada configuração de posicionamento da tela e, para efeito de comparação, também foram moldados três corpos-de-prova do compósito sem telas. Para facilitar o monitoramento dos ensaios e análise dos resultados, os corpos de prova foram especificados de acordo com as siglas apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Especificações dos Corpos de Prova.

Corpo-de-prova Nº	Compósito	Elemento de Reforço		Tempo de cura	Sigla
		Nome	Concentração		
CP 01	Solo-cimento	-	-	28 dias	SC-1
CP 02	Solo-cimento	-	-	28 dias	SC-2
CP 03	Solo-cimento	-	-	28 dias	SC-3
CP 04	Solo-cimento	Tela de fibra de vidro	4	28 dias	SC-4T-1

CP 05	Solo-cimento	Tela de fibra de vidro	4	28 dias	SC-4T-2
CP 06	Solo-cimento	Tela de fibra de vidro	4	28 dias	SC-4T-3
CP 07	Solo-cimento	Tela de fibra de vidro	3	28 dias	SC-3T-1
CP 08	Solo-cimento	Tela de fibra de vidro	3	28 dias	SC-3T-2
CP 09	Solo-cimento	Tela de fibra de vidro	3	28 dias	SC-3T-3
CP 10	Solo-cimento	Tela de fibra de vidro	2	28 dias	SC-2T-1
CP 11	Solo-cimento	Tela de fibra de vidro	2	28 dias	SC-2T-2
CP 12	Solo-cimento	Tela de fibra de vidro	2	28 dias	SC-2T-3

Fonte: O autor (2024).

4.2.3. Moldagem dos corpos de prova

Para a moldagem dos corpos de prova, fez-se inicialmente a mistura dos materiais secos em uma bandeja plástica (Figura 9), garantindo que o material ficasse homogêneo. Em seguida, adicionou-se a quantidade de água calculada com base na umidade higroscópica do solo e a umidade ótima do compósito, homogeneizando todo o material (Figura 10).

Figura 9: Mistura solo-cimento seca homogênea.



Fonte: O autor (2024).

Figura 10: Mistura solo-cimento hidratado e homogeneizado.



Fonte: O autor (2024).

A moldagem dos corpos de prova foi feita em um cilindro de 5 cm de diâmetro e altura de 10 cm, como visto na Figura 11. Os corpos de prova eram compostos por 5 camadas, sendo que cada camada era compactada com a inclusão de um tarugo metálico (Figura 12) de tamanho equivalente ao posicionamento da camada e com o auxílio de uma prensa manual (Figura 13).

Entre as camadas compactadas, fez-se a escarificação com espátula metálica para melhorar a aderência das camadas. Nas configurações de corpos de prova com telas, fez-se a inclusão das telas conforme apresentado anteriormente na Figura 8.

Para a campanha de ensaios foram moldados um total de 12 corpos de prova.

Figura 11: Cilindro de moldagem.



Fonte: O autor (2024).

Figura 12: Tarugos de compactação.



Fonte: O autor (2024).

Figura 13: Prensa manual.



Fonte: O autor (2024).

Para a extração do corpo de prova de solo-cimento do cilindro metálico, utilizou-se o extrator hidráulico apresentado na Figura 14. O processo de extração era realizado com todo cuidado para que não houvesse a ruptura do corpo de prova.

Figura 14: Extração corpo de prova.



Fonte: O autor (2024).

4.2.4. Cura

Após a moldagem, os corpos de prova passaram por um processo de cura, essencial para o desenvolvimento de sua resistência. A cura foi efetuada por um período de 28 dias. O processo de cura consistiu em envolver as provas em filme plástico, que foram armazenadas em uma caixa térmica de isopor (Figura 15), prevenindo assim a perda de umidade e criando um ambiente propício para a cura. Isso assegurou que as provas alcançassem a resistência necessária para os testes subsequentes.

Figura 15: Cura dos corpos de prova.



Fonte: O autor (2024).

4.2.5. Ensaio de compressão simples

Após o processo de cura de 28 dias, em sequência, fez-se a remoção do plástico filme utilizado para embalar o corpo de prova. Em seguida, anotou-se o peso para análise posterior de perda de umidade e, com o paquímetro, foram medidos os diâmetros e as alturas dos corpos de prova. Concluída essas etapas, os corpos de prova foram colocados de forma cuidadosa no centro da prensa e rompidos, conforme representado na Figura 16.

Figura 16: Processo de ruptura dos corpos de prova. Início e final do ensaio.



Fonte: O autor (2024).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a conclusão da campanha experimental, buscou-se analisar os resultados dos ensaios de compressão com foco na resistência à compressão e nas formas de ruptura dos 12 corpos de prova ensaiados.

5.1 Resistência à Compressão

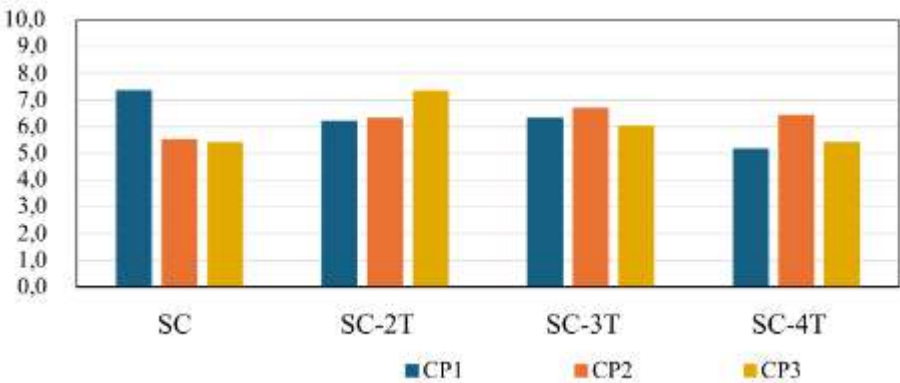
O Quadro 2 apresenta os valores da resistência à compressão dos 12 corpos de prova testados e a resistência média para cada tipo de material. A Figura 17 ilustra o comparativo graficamente para facilitar a visualização.

Quadro 2: Resultados da resistência à compressão dos corpos de prova.

Material	Resistência à compressão (MPa)			Resistência média (MPa)
	CP1	CP2	CP3	
SC	7,38	5,55	5,42	6,12
SC-2T	6,22	6,34	7,36	6,64
SC-3T	6,34	6,71	6,06	6,37
SC-4T	5,19	6,46	5,43	5,69

Fonte: O autor (2024)

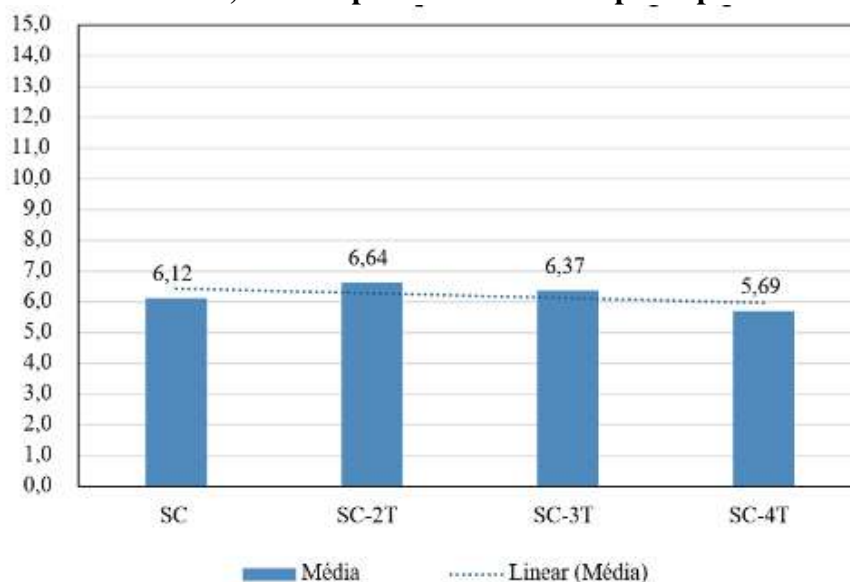
Figura 17: Resistência à compressão dos quatro materiais testados, sem desprezar nenhum corpo de prova.



Fonte: O autor (2024).

Percebe-se que alguns corpos de prova tiveram discrepâncias nos valores da resistência à compressão quando comparados com os demais do mesmo material. Foram os casos do CP's 1, 3 e 2, respectivamente, das amostras de solo cimento sem tela (SC), de solo cimento com quatro telas (SC-4T) e de solo cimento com duas telas (SC-2T). No caso do CP1 do solo cimento sem tela (SC) essa discrepância foi muito acentuada, o que implicou em uma diferença da ordem de quase 2 MPa quando comparado com os valores da resistência à compressão dos demais corpos de prova. A Figura 18 apresenta o comparativo da resistência à compressão média considerando todos os resultados válidos.

Figura 18: Comparação da resistência à compressão média dos quatro materiais testados, sem desprezar nenhum corpo de prova.



Fonte: O autor (2024).

Acredita-se que esses resultados discrepantes podem ter sido provocados por influências no processo de moldagem, já que a moldagem do CP1 do material sem tela (SC) foi realizada por outro operador, ou ainda decorrente de irregularidades nas faces dos corpos de prova já que, neste trabalho experimental, não foram realizadas retificações em nenhuma das faces.

Sendo assim, para manter uma coerência dos resultados, procurou-se eliminar os valores discrepantes citados anteriormente e calculou-se uma nova resistência à compressão média, como os apresentados no Quadro 3 e na Figura 19. A Figura 20 ilustra a variação da resistência à compressão média para os quatro materiais ensaiados.

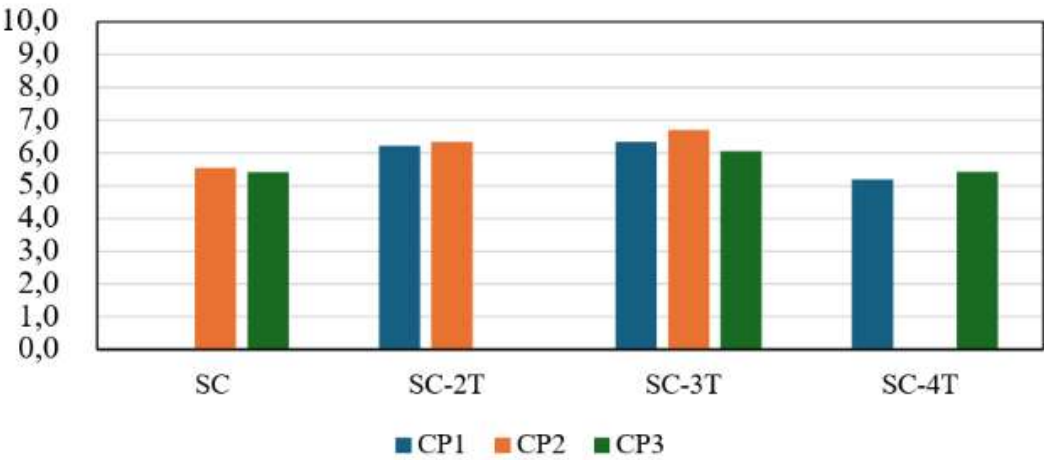
Quadro 3: Resultados da resistência à compressão dos corpos de prova após eliminação dos resultados discrepantes.

	Resistência à compressão (MPa)	
--	--------------------------------	--

Material	CP1	CP2	CP3	Resistência média (MPa)
SC	-	5,55	5,42	5,49
SC-2T	6,22	6,34	-	6,28
SC-3T	6,34	6,71	6,06	6,37
SC-4T	5,19	-	5,43	5,31

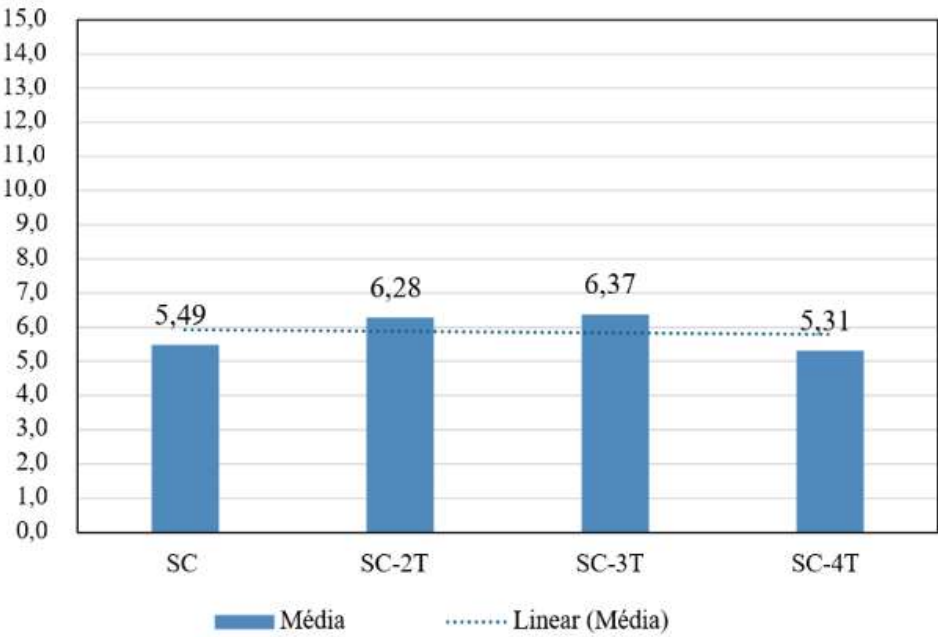
Fonte: O autor (2024).

Figura 19: Resistência à compressão dos quatro materiais testados, desprezando os valores discrepantes.



Fonte: O autor (2024).

Figura 20: Comparação da resistência à compressão média, desprezando os valores discrepantes.



Fonte: O autor (2024).

Com base na Figura 20, percebe-se que a inclusão da tela promove um leve aumento na resistência à compressão nos corpos de prova com duas telas (SC-2T) e três telas (SC-3T), sendo o ganho, respectivamente, de 14,49% e 16,13%. Por outro lado, a inclusão de quatro telas sintéticas (SC-4T) tem um efeito negativo, no que se refere a resistência à compressão, implicando em uma redução de 3,19% em seu valor médio, quando comparado com o material sem inclusão de tela.

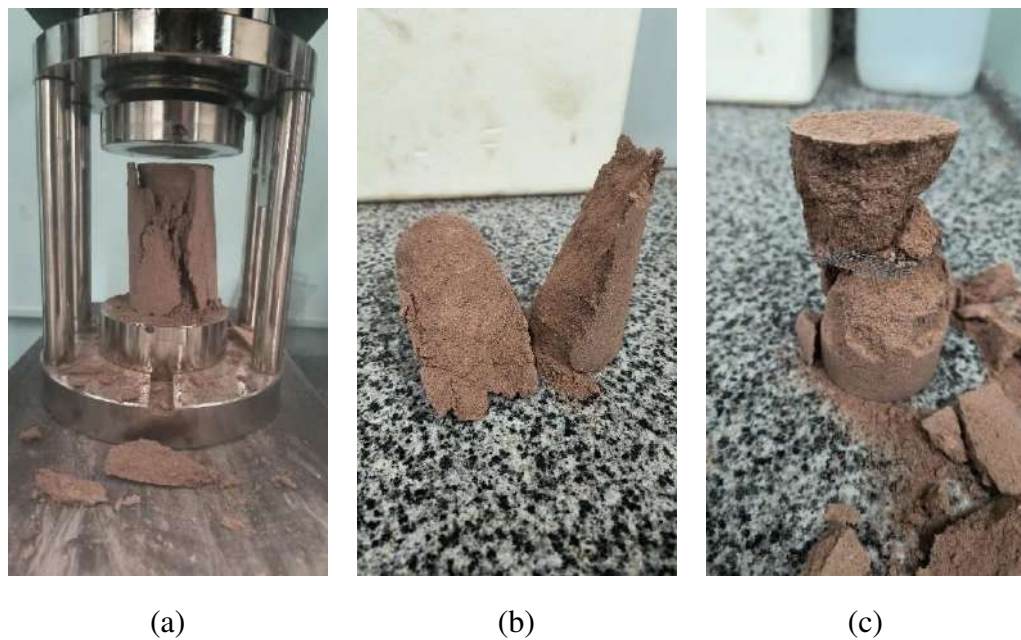
Além disso, o material que apresentou o maior valor de resistência média foi com a inclusão de três telas (SC-3T). Vale ressaltar que todos os corpos de prova deste material foram considerados válidos, o que implica que houve uma consistência nos processos de moldagem, cura e ruptura. Com isso, pode-se dizer que, para o traço utilizado neste trabalho, o uso de três linhas de telas de fibra de vidro (SC-3T) seria a configuração de inclusão mais eficiente, com um aumento na resistência média de 16,13%.

5.2 Tipos de Ruptura

Além da análise da resistência à compressão, fez-se também uma análise nos tipos de ruptura encontrados nas quatro configurações de materiais (sem tela, com duas telas, com três telas e com quatro telas).

Em geral, os corpos de prova apresentaram a forma de ruptura do tipo cônica com desprendimento das faces laterais ou ainda a forma de ruptura com superfície inclinada do tipo cisalhada, exceto os corpos de prova com quatro telas, como apresentados na Figura 23. Isso indica que houve uma boa distribuição das tensões nas faces do corpo de prova, permitindo com que o cisalhamento ocorresse na direção da deformação. Percebeu-se também nestes tipos de configurações que, em grande parte dos corpos de prova testados, houve mobilização das telas de fibra de vidro, visto que, algumas encontravam-se deformadas ou ainda rompidas (Figura 24).

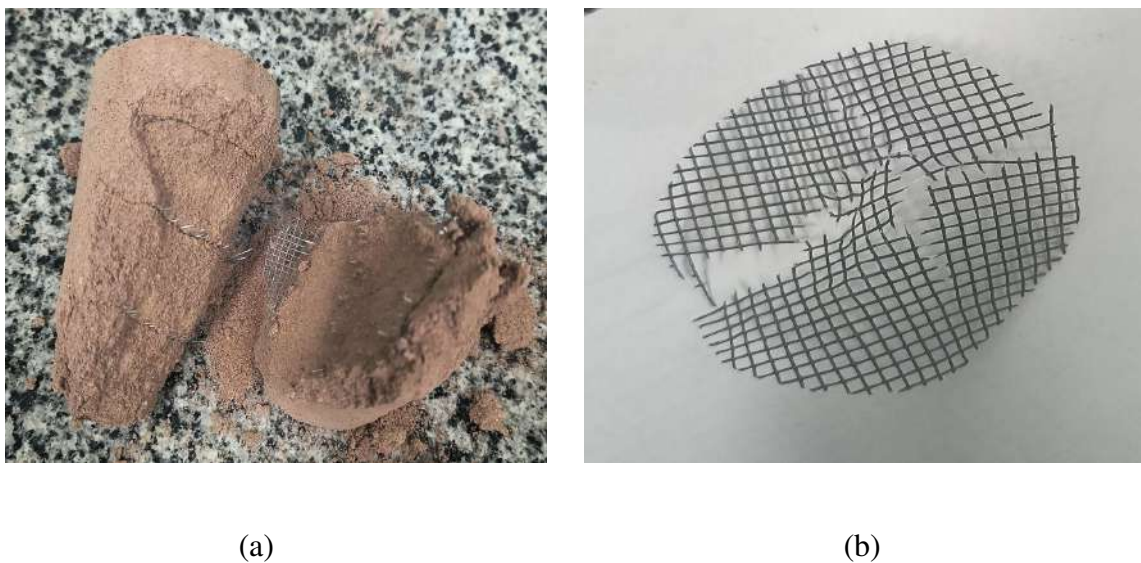
Figura 21: Tipos de ruptura dos corpos de prova. (a) SC. (b) SC-2T. (c) SC-3T.



Fonte: O autor (2024).

Para o caso de inclusão de quatro telas (SC-4T) no compósito de solo cimento, observou-se que os corpos de prova apresentaram o tipo de ruptura com superfície plana nos pontos onde foram inseridas as telas, como apresentado na Figura 23. Neste tipo de configuração, a ruptura ocorreu por cisalhamento no plano de inserção das telas o que indica que as tensões permaneceram bem distribuídas ao longo do corpo de prova, até chegar no plano mais fraco que, possivelmente, foi o plano de contato entre as camadas de compactação.

Figura 22: (a) Corpo de prova com tela rompida. (b) Detalhe da tela mobilizada.



Fonte: O autor (2024).

Figura 23: Tipos de ruptura dos corpos de prova com quatro telas.



(a)

(b)

Fonte: O autor (2024).

A princípio, pode-se dizer que a inclusão de quatro telas tenha um efeito negativo por causa da redução da resistência à compressão, porém, ao analisar a integridade do corpo de prova como um todo, percebe-se que essa foi a configuração que manteve as camadas de compactação menos colapsadas. Desta forma, caso o efeito da compactação fosse contornado ao incluir algum elemento que aumentasse a resistência ao cisalhamento nos planos de compactação, é possível que a resistência à compressão média dos corpos de prova com inclusão de quatro telas (SC-4T) fosse maior que a resistência dos corpos de prova sem inclusão de telas (SC).

Por fim, pode-se dizer que, quando as telas estão bem integradas ao compósito de forma que não promovam uma superfície de ruptura preferencial, as mesmas podem ser mobilizadas ao ponto de promoverem aumento na resistência à compressão. Esta afirmação é plausível pois os corpos de prova com a inclusão de quatro telas (SC-4T) foram os únicos que não houve qualquer mobilização das telas e com isto não foi promovido qualquer acréscimo na resistência à compressão, pelo contrário, houve uma leve queda, possivelmente pelo efeito da compactação por etapas.

6. CONCLUSÕES

Embora tenha relevância econômica e social, a indústria da construção civil está enfrentando obstáculos ambientais significativos devido aos efeitos de suas práticas e materiais. Uma das opções para reduzir tais impactos têm sido destacar a utilização de materiais e métodos menos poluentes. Um exemplo é a fabricação de tijolos ecológicos com o uso de solo-cimento, o que possibilita a redução das emissões de carbono através da utilização de solo local e sem queima na fabricação do bloco, causando menos impacto ambiental.

Neste cenário, o estudo atual procurou examinar como a inclusão de telas de fibra de vidro afeta a resistência à compressão do solo-cimento. Testes foram conduzidos com diferentes quantidades de telas para examinar o impacto dessas variáveis no comportamento mecânico

A adição de telas de fibra de vidro apresentou efeito benéfico na resistência à compressão do solo-cimento, até um determinado limite, conforme indicaram os resultados obtidos. Quando duas ou três telas foram empregadas, houve um aumento na média de resistência dos corpos de prova. A presença de duas telas resultou em um acréscimo de 14,49% na resistência, ao passo que três telas resultaram em um aumento de 16,13%. Estas informações sugerem que incorporar telas de fibra de vidro pode aumentar a capacidade do solo-cimento para suportar cargas e reforçar sua resistência estrutural. A diferença positiva se deve ao fato de que as telas auxiliam na distribuição mais homogênea das tensões, prevenindo áreas de carga concentrada e promovendo a integridade do material.

No entanto, a observação dos corpos de prova com quatro telas mostrou uma tendência desfavorável. A média de resistência à compressão desses corpos diminuiu em 3,19% em relação ao material sem telas. Este impacto adverso indica que o excesso de utilização de telas pode originar áreas de ruptura específicas, principalmente nas regiões entre as camadas de compactação.

Além de analisar a resistência à compressão, o estudo examinou os diferentes modos de ruptura dos corpos de prova testados. Os resultados apontaram que os corpos de prova com duas ou três telas tiveram modos de ruptura com formato cônico ou inclinado, sugerindo uma distribuição adequada de tensões e bom desempenho do material. Por outro lado, os corpos de prova com quatro telas apresentaram fraturas com superfícies lisas nas áreas em que as telas foram colocadas. Este modelo de ruptura implica que o uso excessivo de telas pode criar pontos

fracos que favorecem a deformação, comprometendo a resistência do corpo de prova como um todo.

É crucial ter em mente que os testes realizados se restringiram à compressão simples. Em situações reais, o solo-cimento é comumente exposto a diversas situações, como compressão confinada em aterros ou flexão em blocos. Essas situações podem impactar o comportamento do material de formas que não foram completamente investigadas nos testes. Por conseguinte, é essencial realizar testes suplementares que simulem essas circunstâncias reais a fim de adquirir uma compreensão mais abrangente da eficácia do solo-cimento com malhas de fibra de vidro. Testes de compressão confinada e testes de flexão irão contribuir para um melhor entendimento do desempenho do material em situações cotidianas.

7 REFERÊNCIAS

- AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. O desafio da sustentabilidade na construção civil. Editora Blucher, 2011;
- ALMEIDA, Déborah Castro et al. Utilização dos testes estatísticos Kruskal-Wallis e Mann-Whitney para avaliação de sistemas de solos reforçados com geotêxteis. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 27, p. e202145351, 2022;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457:2024**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2024;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458 Versão corrigida 2: 2017**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água: Anexo B (normativo): Grãos de solos que passam na peneira de abertura 4,8 mm – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6459 Versão corrigida: 2017**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 2017;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7180**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 2016;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181:2016 Versão Corrigida 2:2018**: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2018;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182 Versão corrigida 2: 2020**: Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 2020;
- AUGUSTO EUPHROSINO, Camila et al. Tijolos de solo-cimento usados para Habitação de Interesse social (HIS) em mutirão: estudo de caso em olaria comunitária. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 27, p. e202147087, 2022;
- BASTOS, Gerson Alves et al. Ensaio de tração em disco circular em misturas asfálticas reforçadas com geogrelhas. *Revista de Engenharia Civil IMED*, v. 2, n. 2, p. 27-36, 2015;
- CASAGRANDE, Michéle Dal Toé. Estudo do comportamento de um solo reforçado com fibras de polipropileno visando o uso como base de fundações superficiais. 2001;
- CEPED - CENTRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO. Manual de construção com solo-cimento. BNH/THABA. 3. ed., Rio de Janeiro, 1984;
- CORDEIRO, M. E. V. M.; CONCEIÇÃO, P. M.; LIMA, T. V. A educação ambiental e o uso do solo-cimento. *Revista Vértices*, v. 8, n. 1, 2006;
- CORREIA, Natália de Souza. Comportamento de geotêxteis não tecidos impregnados com emulsão asfáltica usados como sistema anti-reflexão de trincas. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo;
- EHRlich, Maurício; BECKER, Leonardo. Muros e taludes de solo reforçado: projeto e execução. Oficina de Textos, 2009;
- FERREIRA, G. L. M. Geotêxteis e suas aplicações. A indústria têxtil nos caminhos da inovação. In: SEMINÁRIO UBITEX, 2001, Covilhã. Proceedings... Covilhã, 2001, p.10-20;
- FERNANDES, Hebert Detogne; FARFÁN, Aldo Durand; DE ALMEIDA MAIA, Paulo Cesar. Análise numérica da interação solo-geogrelha aplicada como reforço de maciços em fundações

rasas. 2019. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, RJ, 102p;

FOPPA, Diego et al. Variáveis-chave no controle da resistência mecânica de misturas solo-cimento. *Geotecnia*, n. 109, p. 25-42, 2007;

GIORGI, Priscila et al. Avaliação de sustentabilidade e habitabilidade de blocos de solo-cimento segundo a norma ABNT NBR 15575. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 23, p. e12177, 2018;

GUADAGNIN, Alana. Os três porquinhos em duas versões. *Rev Educ Ideau* [Internet], v. 12, n. 26, p. 1-17, 2017;

KAEFER, Luís Fernando. A evolução do concreto armado. São Paulo, v. 43, 1998;

LARUCCIA, Mauro Maia. Sustentabilidade e impactos ambientais da construção civil. *Revista ENIAC pesquisa*, v. 3, n. 1, p. 69-84, 2014;

LOURENÇO, P.B. Dimensionamento de alvenarias estruturais. Relatório, n. 99, Departamento de engenharia civil. Portugal: Universidade de Minho, 1999;

MIGUEL, Gustavo Dias. Desempenho e comportamento mecânico de um solo dispersivo e sulfatado tratado com uma pozolana artificial, cal de carbureto e reforçado com fibras de vidro. 2020;

PALMEIRA, E.M. Geossintéticos: tipos e evolução nos últimos anos. In: SEMINÁRIO SOBRE APLICAÇÕES DE GEOSSINTÉTICOS EM GEOTECNIA. Geossintéticos 92 ... Brasília: 1992. p.1-20;

PASSUELLO, Ana Carolina Badalotti et al. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de clínqueres alternativos. *Ambiente construído*, v. 14, p. 7-20, 2014;

SANTOS, Ana Paula Silva dos. Estudo do comportamento de misturas solo-cimento-fibra sob altas pressões. 2008;

SIEIRA, Ana Cristina Castro Fontenela. Geossintéticos e pneus: alternativas de estabilização de taludes. *Engevista*, 2009;

VERTEMATTI, José Carlos. Manual brasileiro de geossintéticos. Editora Blucher, 2015;

VIEIRA, Castorina Silva. Sustentabilidade na Construção-O Papel dos Geossintéticos. 2024.