



INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS PALMEIRA DOS INDIOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ HUGO PEREIRA DO NASCIMENTO

**INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE PAPEL KRAFT NO SOLO COMO UMA
ALTERNATIVA AO FOMENTO DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

PALMEIRA DOS ÍNDIOS - AL

2024

JOSÉ HUGO PEREIRA DO NASCIMENTO

INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE PAPEL KRAFT NO SOLO COMO UMA
ALTERNATIVA AO FOMENTO DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC),
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil como requisito parcial, para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Me. Monaira Cristiane
Alcides da Costa

Coorientadora: Me. Rayanne Karlla Santos da
Silva

PALMEIRA DOS ÍNDIOS - AL

2024



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
***Campus* Palmeira dos Índios**
Biblioteca Prof. Amaro Nascimento Mendes

690

N244i Nascimento, José Hugo Pereira do.

Incorporação de fibras de papel kraft no solo como uma alternativa ao fomento da sustentabilidade na Construção Civil [recurso eletrônico] / José Hugo Pereira do Nascimento. – Dados eletrônicos (1 pdf : 987 KB). – 2024.

Trabalho com 41 f.

Inclui figuras, tabelas e referências.

Orientação: Profa. Ma. Monaira Cristiane Alcides da Costa.

Coorientação: Ma. Rayanne Karlla Santos da Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Palmeira dos Índios, Palmeira dos Índios, 2024.

1. Engenharia Civil. 2. Resíduos – Construção civil. 3. Construção sustentável. 4. Fibras – Incorporação. I. Título.

JOSÉ HUGO PEREIRA DO NASCIMENTO


INCORPORAÇÃO DE FIBRAS DE PAPEL KRAFT NO SOLO COMO UMA
ALTERNATIVA AO FOMENTO DA SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC),
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil como requisito parcial,
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.


Aprovado em: 28 / 11 / 2024.

Conceito Obtido: _____


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **MONAIRA CRISTIANE ALCIDES DA COSTA**
Data: 28/11/2024 19:06:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Me. Monaira Cristiane Alcides da Costa (Orientadora)
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

Documento assinado digitalmente
 **RAYANNE KARLLA SANTOS DA SILVA**
Data: 02/12/2024 09:10:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Rayanne Karlla Santos da Silva (Coorientadora)
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar

Documento assinado digitalmente
 **MATEUS VALDEVINO DE SIQUEIRA**
Data: 29/11/2024 15:50:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Mateus Valdevino de Siqueira
(Membro) Instituto Federal de Pernambuco –

Documento assinado digitalmente
 **MATHEUS CARDOSO DOS SANTOS**
Data: 29/11/2024 17:20:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Matheus Cardoso dos Santos (Membro)
Universidade Federal de São Carlos –
UFSCar

Dedico este trabalho aos meus pais, que com esforço e fé me dão a base para correr atrás dos meus sonhos e estão sempre ao meu lado, apoiando cada passo do caminho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, que tem sido minha base e minha força para me permitir chegar cada vez mais longe.

Aos meus pais, Maria Aparecida e José, pelo apoio constante e por sempre me incentivarem na jornada acadêmica, ensinando desde cedo a importância dos estudos.

À minha família, por todo o suporte, pelos momentos de alegria e pelas oportunidades de descontração que sempre me proporcionaram.

À instituição que me acolheu tão bem e a todos os professores, que me ofereceram o conhecimento e aprendizado necessários para a minha formação acadêmica, profissional e pessoal. Em especial, minha gratidão à professora orientadora, Monaira Costa, e à professora coorientadora, Rayanne Silva.

Aos meus amigos, especialmente Douglas, Emanuele, Helen, Livia e Paulo, com quem compartilhei bons e difíceis momentos durante nossa jornada no curso de Engenharia Civil.

Ao Núcleo de Estudos em Geotecnia do IFAL Palmeira dos Índios (NEGEO), onde juntos dividimos a paixão pela geotecnia.

E, finalmente, a todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse até aqui e realizasse o sonho de me tornar engenheiro civil.

*“O coração do homem planeja o seu caminho,
mas o Senhor lhe dirige os passos.”*

(Provérbios 16, 9)

RESUMO

A gestão sustentável dos resíduos sólidos é um dos maiores desafios enfrentados pela construção civil, setor que gera volumes significativos de resíduos, como sacos de cimento feitos de papel kraft. O objetivo desta pesquisa é avaliar a influência da incorporação de fibras de papel kraft, provenientes da reciclagem de sacos de cimento, no comportamento de solos, comparando essa abordagem com a utilização de cimento. Além disso, busca-se analisar a viabilidade de reciclar sacos de cimento, aproveitando suas fibras como uma solução sustentável para os resíduos da construção civil. Para isso, a metodologia envolve o estudo de dois tipos de solo com características distintas – uma mais arenosa e outra mais argilosa – por meio de ensaios laboratoriais. Esses ensaios serão realizados com e sem a adição de materiais (Cimento Portland e fibras de papel kraft), em diferentes percentuais, para avaliar os impactos dessas incorporações. Os ensaios de granulometria, sedimentação e compactação foram realizados nessa caracterização. Como resultados pode-se destacar que os corpos de prova realizados no ensaio de compactação, com a adição do cimento apresentaram ligeiramente maiores valores de peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{d_{máx}}$) em relação aos com adição das fibras de papel kraft. Conclui-se que através dos ensaios de compactação com 4% e 8% de fibras e cimento, não foram observadas melhorias significativas nas propriedades físicas no solo com a adição de fibras de papel kraft em comparação ao solo melhorado com cimento. No entanto, a adição das fibras não prejudicou as propriedades avaliadas do solo, como a umidade ótima ($w_{ótima}$). Considerando que esses resíduos necessitam de uma destinação sustentável, a incorporação das fibras ao solo pode ser uma alternativa viável para uma destinação ambientalmente responsável desse material.

Palavras-chave: Solo; Fibras; Incorporação; Resíduos da Construção.

ABSTRACT

The sustainable management of solid waste is one of the greatest challenges faced by the construction industry, a sector that generates significant volumes of waste, such as cement bags made of kraft paper. The objective of this research is to evaluate the influence of incorporating kraft paper fibers, obtained from the recycling of cement bags, on soil behavior, comparing this approach with the use of cement. Additionally, the study aims to analyze the feasibility of recycling cement bags, utilizing their fibers as a sustainable solution for construction waste. To achieve this, the methodology involves studying two types of soil with distinct characteristics—one more sandy and the other more clayey—through laboratory tests. These tests will be conducted with and without the addition of materials (Portland cement and kraft paper fibers) in different percentages to evaluate the impacts of these incorporations. The characterization included granulometry, sedimentation, and compaction tests. The results indicate that in the compaction tests, the specimens with the addition of cement showed slightly higher maximum dry bulk density values ($\gamma_{d_{max}}$) compared to those with the addition of kraft paper fibers. It was concluded that in the compaction tests with 4% and 8% of fibers and cement, no significant improvements in the soil's physical properties were observed with the addition of kraft paper fibers compared to the soil improved with cement. However, the addition of fibers did not negatively affect the evaluated soil properties, such as the optimum moisture content ($W_{ótima}$). Considering that this waste requires a sustainable destination, incorporating the fibers into the soil could be a viable alternative for environmentally responsible disposal of this material.

Keywords: Soil; Fibers; Incorporation; Construction Waste.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultado do limite de plasticidade do solo 2.....	33
Tabela 2: Resultados para o peso específico aparente seco máximo e umidade ótima.	35
Tabela 3: Dados estatísticos dos resultados do solo 1.	37
Tabela 4: Dados estatísticos dos resultados do solo 2.	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Quadro com a classificação dos resíduos da construção civil de acordo com o CONAMA.	18
Figura 2: Coleta de RCC pelos municípios no Brasil e regiões em 2021.	19
Figura 3: Logística reversa do RCC.	20
Figura 4: Fluxograma da metodologia.	23
Figura 5: Coleta dos materiais: a) amostra do solo 1; b) sacos de cimento vazios; c) amostra do solo.	24
Figura 6: Realização do ensaio de granulometria: a) Peneiras para peneiramento; b) Medição da densidade no ensaio de sedimentação.....	25
Figura 7: Realização do ensaio de LL no aparelho de Casagrande.	26
Figura 8: Realização do ensaio de limite de plasticidade.....	27
Figura 9: Realização do ensaio de compactação.	28
Figura 10: Processo para obtenção das fibras dispersas de papel kraft: a) kraft fragmentado e molhado; b) polpa de celulose; c) polpa sem o excesso de água (após a torção); d) fibras dispersas na argamassadeira.	29
Figura 11: Cimento utilizado.....	30
Figura 12: Gráfico com a curva de granulométrica dos dois solos.	31
Figura 13: Gráfico do limite de liquidez: a) LL solo 1; b) LL solo 2.....	33
Figura 14: Corpo de prova: a) Adição de fibras; b) Adição de cimento	34
Figura 15: Curvas de compactação solo 1.....	35
Figura 16: Curvas de compactação solo 2.....	36

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira De Normas Técnicas
AASHTO.	<i>American Association of State Highway Transportation Officials</i>
BTCs	Blocos de Terra Compactada
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CP	Cimento Portland
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
IC	Índice de Consistência
IFAL	Instituto Federal de Alagoas
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
RCC	Resíduo da Construção Civil
RCD	Resíduo da Construção Civil e Demolição
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SUCS	<i>Unified Soil Classification System</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	JUSTIFICATIVA	16
3	OBJETIVOS	17
3.1	OBJETIVOS GERAIS	17
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
4	REFERENCIAL TEÓRICO	18
4.1	GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	18
4.2	REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	19
4.3	INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS EM OBRAS GEOTÉCNICAS.....	21
5	METODOLOGIA.....	22
5.1	COLETA DO MATERIAIS	23
5.2	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	24
5.2.1	Granulometria.....	24
5.2.2	Limites de Atterberg.....	25
5.2.3	Compactação Proctor Normal.....	27
5.3	ENSAIOS DE SOLO COM INCORPORAÇÃO.....	28
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
6.1	GRANULOMETRIA	31
6.2	LIMITES DE ATTERBERG	32
6.3	ENSAIO DE COMPACTAÇÃO	34
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	39
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	40
	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios atuais na gestão ambiental é lidar com os resíduos sólidos gerados pelos diversos processos produtivos, especialmente na indústria da construção civil. Apesar da importância de reduzir esses resíduos tanto na produção quanto no pós-consumo, o aumento de 3,5% no 2º trimestre de 2024 (CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO – CBIC, 2024) na construção de novos empreendimentos vai de encontro as tendências de redução.

Uma alternativa frente a esse cenário é ampliação da reciclagem de resíduos da construção civil (RCC) empreendimentos voltados para o incentivo à reciclagem têm sido implantados em todo o país. Segundo a Pesquisa Setorial de 2020, existem aproximadamente 380 usinas de reciclagem distribuídas pelo Brasil (ABRECON, 2022). No entanto, as taxas médias de reciclagem de Resíduos da Construção Civil (RCC) nas cidades brasileiras ainda giram em torno de 21% (ROSALDO, 2019).

O RCC é gerado a partir de novas obras, reformas e demolições de edifícios e outras estruturas construídas pelo ser humano. Geralmente, esses resíduos são compostos por materiais como blocos de concreto, tijolos, blocos de alvenaria, entre outros componentes comuns na construção civil (WEI-HONG *et al.*, 2004).

Estima-se que, no ano de 2022, o Brasil tenha produzido aproximadamente 45 milhões de toneladas de resíduos provenientes da construção e demolição. (ABREMA, 2023) e apesar do tímido crescimento na reciclagem desses materiais vivenciado nas últimas décadas, o índice de reaproveitamento ainda é baixo. (LOPES *et al.*, 2023).

Nessa perspectiva, incentivar a reutilização e reciclagem desses resíduos é essencial para tornar as atividades da construção civil mais sustentáveis. A ONU, em sua Agenda 2030, estabeleceu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), destacando metas para tornar as cidades e os assentamentos humanos mais inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis, além de promover padrões de produção e consumo sustentáveis (ONU, 2015). Especificamente os objetivos 11 e 12 de cidades e comunidades sustentáveis e consumo e produção responsáveis, respectivamente, estão conectados a essas práticas.

De acordo com Allen (1980), esse desenvolvimento sustentável é um processo que busca atender às necessidades humanas e promover a melhoria da qualidade de vida, garantindo que os recursos naturais sejam utilizados de maneira que possibilitem sua recuperação, com o objetivo de preservar os sistemas que sustentam a vida no planeta. A construção civil é responsável por grande parte dos resíduos que são descartados diariamente em todo o mundo,

entre esses materiais encontram-se os sacos de cimento feitos de papel kraft natural multifoliado (BUSON, 2009).

Em 2011, a produção de papel kraft natural para sacos multifoliados no Brasil foi de cerca de 337.000 toneladas, o que corresponde a 3,3% do total produzido de papel no país Mogrovejo (2013), apud BRACELPA (2013). Em uma estimativa, caso todo esse volume fosse destinado ao ensacamento de cimento, esse total representaria aproximadamente 2,2 bilhões de sacos de 50 kg de cimento por ano (MAGROVEJO, 2013).

Uma alternativa para a reciclagem desses materiais é a utilização das fibras de papel kraft, matéria-prima dos sacos de cimento, incorporadas ao solo. A adição de fibras já tem sido explorada em diversas pesquisas. Segundo Santos *et al.* (2022), para solos arenosos, estudos demonstram bons resultados em relação a resistência com o uso de fibras de nylon, papel e sisal. Para solos argilosos, fibras de pneu, polipropileno e coco, entre outras, têm mostrado um desempenho positivo.

Nessa perspectiva esta pesquisa tem como objetivo avaliar se as fibras de papel kraft podem ser incorporadas ao solo sem prejuízo nas suas propriedades, para um solo com característica argiloso e outro arenoso.

2 JUSTIFICATIVA

Com a grande industrialização, o surgimento de novas tecnologias e o avolumamento de pessoas em centros urbanos, tem-se um vasto aumento na aquisição de bens e, por consequência, descarte de grandes quantidades de resíduos. A construção civil, uma das atividades com elevada geração de resíduos, realiza inúmeros descartes de entulhos, dos quais, parte poderia ser reciclada como por exemplo, os sacos de cimento cujas fibras do papel kraft podem ser retiradas e incorporadas a outros materiais.

Essas fibras, quando empregadas em porcentagem adequadas, podem melhorar propriedades do solo (MOGROVEJO, 2013), que em muitos casos se faz necessário essa estabilização para que ele possa ser usado para as mais variadas finalidades. Nesse contexto, a utilização de fibras de papel kraft no melhoramento do solo favorece a reciclagem desses sacos de cimento, o que, em uma escala mais ampla, contribui para a diminuição dos resíduos da construção civil, mitigação dos impactos ambientais gerados pela atividade e ainda pode atuar em benefício das obras civis relativas a técnicas de melhoramento de solo.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

Estudar a viabilidade da incorporação de fibras de papel kraft comparando os resultados obtidos com as técnicas de solo melhorado com cimento. Além disso, busca-se avaliar a reciclagem dos sacos de cimento por meio da incorporação das fibras ao solo, promovendo uma abordagem ambientalmente responsável para a destinação dos resíduos sólidos da construção civil.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Compreender as melhores porcentagens de adição de fibras de papel kraft no solo;
- Entender o efeito físico da incorporação de fibras em solos de diferentes características táteis-visuais;
- Avaliar a incorporação das fibras ao solo com uma reciclagem dos sacos de cimento.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A Resolução 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, (2002), define que os resíduos da construção civil incluem materiais gerados em atividades como construção, reforma, reparo e demolição, além de resíduos provenientes da preparação e escavação de terrenos. Esses resíduos são compostos por diversos materiais, como tijolos, blocos cerâmicos, concreto, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações e fiação elétrica, sendo popularmente conhecidos como entulho, caliça ou metralha.

Ainda de acordo com o CONAMA, os resíduos da construção civil são divididos em quatro classes de acordo com a Figura 1. O papel kraft dos sacos de cimento se enquadra na Classe B.

Figura 1: Quadro com a classificação dos resíduos da construção civil de acordo com o CONAMA.

Classes	Descrição
A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: solos provenientes de terraplanagem, argamassa, componentes cerâmicos e concreto (blocos, peças pré-moldada e moldada <i>in loco</i>).
B	Resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso; (Redação dada pela Resolução CONAMA nº 469/2015).
C	Resíduos que ainda não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; (Redação dada pela Resolução CONAMA nº 431/11).
D	Resíduos perigosos tais como: tintas, solventes, óleos e outros oriundos de clínicas radiológicas, instalações industriais e telhas e demais objetos que contenham amianto (esta classe passou a vigorar com a nova redação da Resolução nº 348/04 do CONAMA).

Fonte: Cartaxo, 2020.

De acordo com o Ministério das Cidades e o Ministério do Meio Ambiente (2007), os resíduos da construção civil representam entre 50% e 70% do total de resíduos sólidos urbanos (RSU). Esses resíduos podem incluir materiais orgânicos, produtos químicos, substâncias

tóxicas e embalagens diversas, os quais podem favorecer a proliferação de doenças e causar danos à saúde da população.

O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2022) informou que, em 2021, aproximadamente 48 milhões de toneladas de RCC foram coletadas. Figura 2 ilustra a quantidade de RCC coletada no Brasil, distribuída por regiões.

Figura 2: Coleta de RCC pelos municípios no Brasil e regiões em 2021.



Fonte: ABRELPE (2022).

4.2 REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com Prairie (1998) e John (1999), uma das contribuições ambientais mais evidentes da reciclagem é a preservação dos recursos naturais, pois a substituição de matérias-primas por resíduos prolonga a vida das reservas naturais e diminui o impacto ambiental sobre a paisagem, flora e fauna. Essa prática é relevante até mesmo em locais com abundância de recursos, como calcário e argila, visto que a extração de matérias-primas pode causar danos ao ambiente e afetar os ecossistemas.

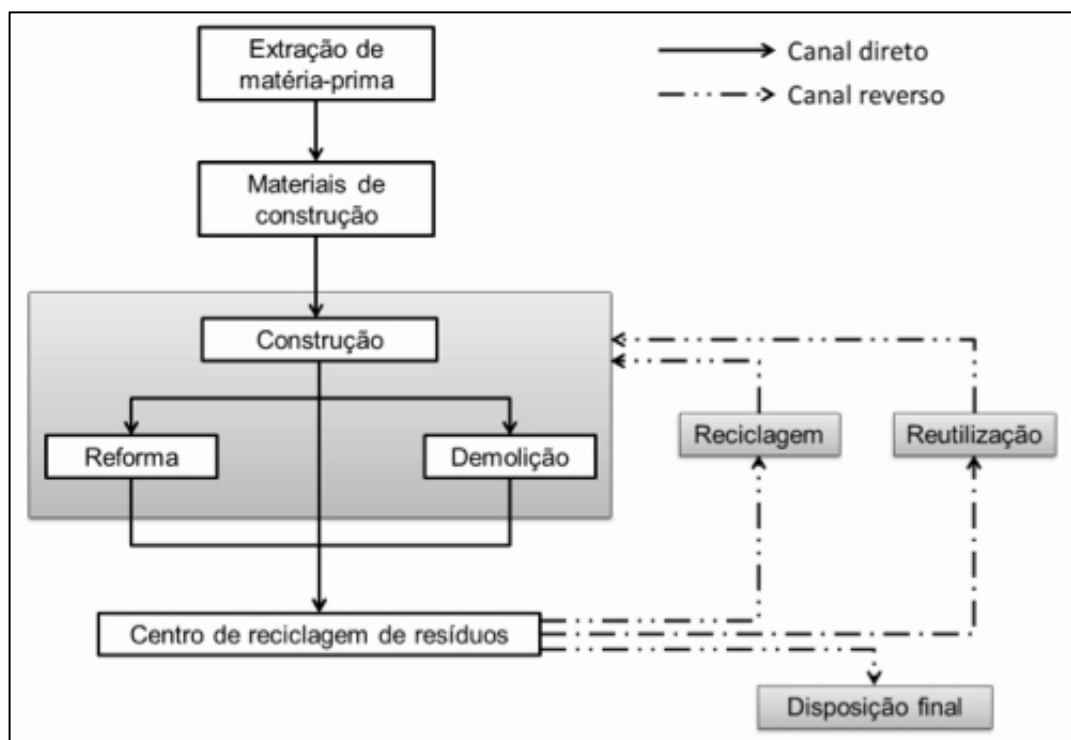
Leite (2001) aponta que registros históricos indicam o uso de pedra britada proveniente de construções anteriores para a produção de concreto já na época do Império Romano. Hendricks *et al.* (2007) mencionam exemplos históricos de reaproveitamento de resíduos, como um forno construído na Suécia com escória de aço em 1874, o uso de escombros da Segunda

Guerra Mundial como agregado em concreto e asfalto, o reaproveitamento de concreto asfáltico durante a crise do petróleo na década de 1970 e o avanço significativo de tecnologias de reciclagem desenvolvido na Holanda a partir da década de 1980.

Yamamoto et al. (1997), destaca que em 1996, por exemplo, a substituição do clínquer por cinzas volantes e escórias impactou positivamente a indústria cimenteira nacional. Segundo Liu *et al.* (2016), investigaram a substituição do cimento Portland por um geopolímero à base de cinza volante na produção de um concreto "verde", utilizando exclusivamente agregados reciclados. O estudo revelou que o material alcançou maior resistência à compressão em comparação ao concreto tradicional. No entanto, ressaltaram a necessidade de cuidado na definição da proporção água/geopolímero, pois alterações nessa relação podem impactar significativamente as propriedades do concreto, especialmente o módulo de elasticidade.

Os materiais reciclados podem ser reutilizados quando reintegrados à cadeia de consumo, contribuindo para a redução do desperdício e promovendo a sustentabilidade. A Figura 3 apresenta o fluxo logístico reverso dos RCC.

Figura 3: Logística reversa do RCC.



Fonte: Silva *et al.* (2013).

4.3 INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS EM OBRAS GEOTÉCNICAS

Silva (2018), destaca em seus estudos que o uso de agregado reciclado de resíduos de construção e demolição (RCD) alterou significativamente as propriedades físicas do solo, aumentando a fração arenosa e o peso específico seco máximo, e reduzindo a porosidade, plasticidade e umidade ótima. Essas modificações aprimoraram as características do solo para aplicação como subleito em pavimentos, resultando em um desempenho classificado como de bom a excelente pelo Transportation Research Board (TRB), conforme aumentou a proporção de agregado de RCD composto por resíduos de pneus e material vindo de usina de reciclagem na composição do solo.

De acordo com os estudos de Santos (2007) sobre o uso de resíduos da construção civil em estrutura de solos reforçados, destaca-se que os ensaios realizados com o RCD indicaram que os materiais possuem desempenho superior ao material padrão para obras públicas, sendo indicado para aplicações geotécnicas devido à sua boa resistência ao cisalhamento e à performance nos testes de interface com geogrelhas. Os resultados mostraram um comportamento consistente e baixos coeficientes de variação, garantindo confiabilidade nos parâmetros medidos.

Rahman *et al.* (2015) avaliaram o uso do RCC como material filtrante em pavimentos permeáveis, substituindo o agregado graúdo tradicional e combinado com geotêxtil. Além disso, investigaram o desempenho do material em relação à presença de poluentes e ao risco de entupimento. Os resultados indicaram que, embora o RCC tenha contribuído para um maior entupimento do pavimento, suas características geotécnicas e hidráulicas mostraram-se comparáveis ou até superiores às dos materiais granulares convencionalmente empregados nesse tipo de aplicação.

A mineração é um dos grandes geradores de resíduos com uma grande variabilidade de rejeitos gerados. Rodrigues (2008), apresenta estudos que avaliaram a combinação de rejeito de espirais de mineração, proveniente do beneficiamento de minério de ferro, com dois tipos de solos locais. Foram testadas misturas com 0%, 10%, 20% e 30% de rejeito, em relação à massa seca total. Os resultados indicaram que o aumento do conteúdo de rejeito elevou a massa específica aparente seca máxima, o CBR (California Bearing Ratio) e o módulo de resiliência, com melhores desempenhos nas misturas com 10% e 20% de rejeito.

Zhang *et al.* (2019), examinaram o consumo elevado de resíduos da construção civil, impulsionado pelo alto volume de geração desses materiais, dos quais apenas 5% são reutilizados. Em sua pesquisa, os autores compararam dois aterros: um composto inteiramente

por material reciclado e outro com solo argiloso. Constatou-se que o aterro com RCC apresentou um módulo de resiliência mais alto, menor deformação permanente acumulada, menor sensibilidade à água e maior capacidade de carga em relação ao solo argiloso, o que aponta para a viabilidade de seu uso em substituição ao solo convencional.

Nawagamuwa et al. (2012) investigaram o uso do RCC como material de preenchimento em gabiões, utilizados para controle de erosão e recuperação de áreas degradadas, aproveitando resíduos de demolição gerados durante a guerra dos 30 anos no Sri Lanka. Foram analisadas a durabilidade e a resistência à compressão de cinco materiais residuais, incluindo concreto, gesso, tijolo, seixos e tijolo com argamassa, sempre comparando os resultados com o material padrão. A pesquisa concluiu que apenas o resíduo de concreto se mostrou adequado, apresentando resultados de durabilidade semelhantes e uma pequena redução na resistência à compressão em comparação com as rochas padrões.

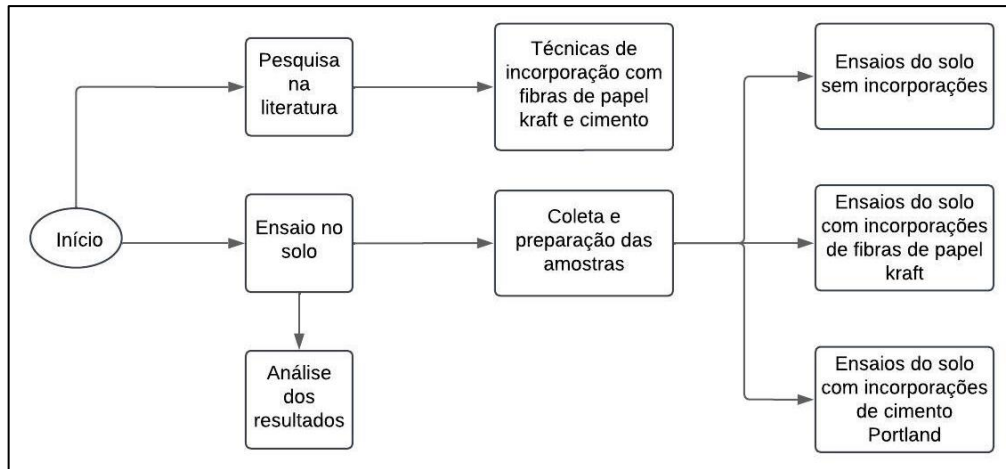
Abbaspour et al. (2020) observaram que o uso de fibras de nylon resultou em uma melhoria significativa das propriedades mecânicas do solo, especialmente no que se refere à resistência ao cisalhamento e ao índice CBR, com um teor de fibra entre 1 e 2%. Em relação à resistência à compressão, houve ganhos em todos os teores testados, destacando-se o teor de 4%, que alcançou os melhores resultados. Silveira e Casagrande (2021) também chegaram a conclusões semelhantes ao introduzir fibras de curauá de maneira aleatória, com uma proporção de 0,5%, obtendo melhorias nas propriedades do solo.

Buson (2009) desenvolveu o Kraftterra, um compósito de blocos de terra compactada com fibras de papel kraft reciclado de sacos de cimento e cimento, voltado para vedação em habitações sociais, destacando bons resultados em propriedades físicas e mecânicas.

5 METODOLOGIA

Foram realizados levantamentos teóricos, caracterizações físico-químicas e ensaios tecnológicos para avaliar a viabilidade da incorporação de fibras de papel kraft e cimento para a incorporação no solo, na Figura 4, tem-se um fluxograma sobre a metodologia.

Figura 4: Fluxograma da metodologia.



Fonte: Autor, 2024.

5.1 COLETA DO MATERIAIS

A coleta do solo 1 (Figura 5.a) foi realizada na forma de amostra deformada em dezembro de 2023, na cidade de Quebrangulo e a coleta do solo 2 (Figura 5.c) foi realizada na cidade de Palmeira dos Índios, ambas as cidades situadas no agreste alagoano. As amostras foram retiradas de uma profundidade entre 0,80m e 1,00m e armazenadas em sacos plásticos.

Além disso, foram coletados sacos de cimento vazios, provenientes de uma obra na cidade de Arapiraca/AL, para a extração das fibras de papel kraft. O Cimento Portland foi obtido diretamente do setor de obras do Instituto Federal de Alagoas - IFAL, localizado na cidade de Palmeira dos Índios/AL.

Ambos os insumos recolhidos foram levados ao Laboratório de Mecânica dos Solos e Materiais de Construção Civil do IFAL. Através da (Figura 5.b), pode ser visualizado os solos e os sacos de cimento reunidos.

Figura 5: Coleta dos materiais: a) amostra do solo 1; b) sacos de cimento vazios; c) amostra do solo.



Fonte: Autor, 2024.

5.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

As amostras de solo foram espalhadas para secar ao ar livre e à sombra. Em seguida, o solo foi destorroado utilizando almofariz de porcelana e mão de gral, conforme a NBR 6457 (ABNT, 2016), que estabelece procedimentos para a preparação de amostras de solo para ensaios de caracterização e de compactação, descritos nos itens subsequentes.

5.2.1 Granulometria

O ensaio de granulometria composto por peneiramento e sedimentação (

Figura 6) foi realizado seguindo os procedimentos da NBR 7181 (ABNT, 2016). Para o peneiramento foi utilizado o jogo padrão de 50, 38, 25, 19, 9,5, 4,8, 2,0, 1,2, 0,6, 0,42, 0,25, 0,15 e 0,075 mm. Na sedimentação seguiu-se o procedimento de anotação das densidades e temperaturas em diferentes tempos para uma mistura de água destilada, hexametáfosfato de sódio em solução (defloculante) e solo que passa na peneira de 2,0 mm.

Figura 6: Realização do ensaio de granulometria: a) Peneiras para peneiramento; b) Medição da densidade no ensaio de sedimentação.



Fonte: Autor, 2024.

5.2.2 Limites de Atterberg

O procedimento para realização do ensaio de Limite de Liquidez (LL) ocorreu segundo o preconizado pela norma NBR 6459 (ABNT, 2016). E teve início com a mistura de cerca de 200 g de solo passante na peneira de 0,42 mm e água destilada, até obtenção de uma mistura de consistência pastosa homogênea. Em seguida, a amostra foi colocada no aparelho de Casagrande e abriu-se uma ranhura no centro com um cinzel. Após ajustar a concha ao aparelho, aplicaram-se golpes girando a manivela a uma taxa de duas voltas por segundo até que as bordas inferiores do sulco se unissem por, no mínimo, 13 mm de extensão. Em seguida, uma porção do solo unido foi transferida para uma cápsula e colocada na estufa, visando a determinação do teor de umidade.

Esse procedimento foi repetido com diferentes teores de umidade, permitindo traçar um gráfico, que relaciona a umidade ao número de golpes necessários para fechar o sulco na amostra. O LL, por definição, é o teor de umidade para o qual o sulco se fecha com exatamente 25 golpes.

Figura 7: Realização do ensaio de LL no aparelho de Casagrande.



Fonte: Autor, 2024.

O ensaio de Limite de Plasticidade (LP) ilustrado na Figura 8 seguiu a as diretrizes da NBR 7180 (ABNT, 2016), com os procedimentos abaixo.

Foi pesado cerca de 200 g de solo passante na peneira de 0,42 mm e misturado à água destilada. A amostra foi então amassada até atingir uma consistência plástica e homogênea, permitindo a moldagem em tiras cilíndricas. Em uma placa de vidro esmerilhada, as tiras foram moldadas manualmente até alcançar aproximadamente 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento. O procedimento foi repetido cinco vezes, gerando cinco cilindros.

Após a moldagem, uma pequena porção de cada cilindro foi colocada em cápsulas de alumínio para secagem em estufa a 105°C por 24 horas, determinando o teor de umidade. Esse valor foi registrado quando as tiras começaram a se quebrar ao atingir o diâmetro e comprimento especificados. O LP foi calculado pela média das umidades, considerando uma variação de $\pm 5\%$ em relação à média.

Figura 8: Realização do ensaio de limite de plasticidade.



Fonte: Autor, 2024.

5.2.3 Compactação Proctor Normal

No caso do ensaio de compactação foi realizado o de energia Proctor normal, com o seguinte procedimento: Retirou-se uma amostra aleatória do solo e passou-se por uma peneira de abertura de 4,80 mm, assim como é descrito na NBR 7182 (ABNT, 2016), pesou-se aproximadamente 3,00 kg de solo, o qual foi espalhado sobre uma bandeja, umidificado por borrifamento de água e homogeneizado, para posterior confecção dos corpos de prova no cilindro pequeno, com soquete pequeno. Foram aplicados 26 golpes com o soquete em cada uma das três camadas do corpo de prova. A metodologia do ensaio foi realizada com o reaproveitamento de solo, sendo compactados 5 corpos de provas com diferentes umidades. A Figura 3, contém uma das etapas do ensaio.

Figura 9: Realização do ensaio de compactação.



Fonte: Autor, 2024.

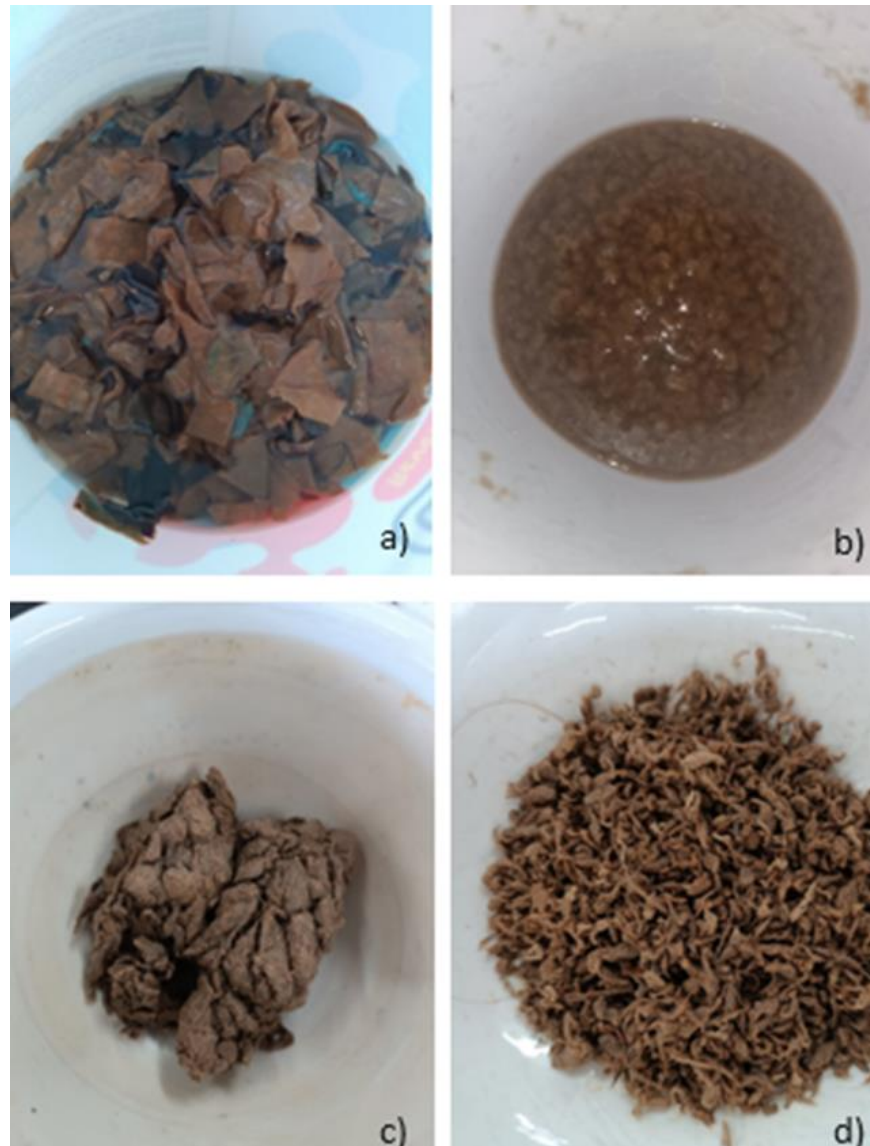
5.3 ENSAIOS DE SOLO COM INCORPORAÇÃO

A compactação do solo com as adições de cimento e fibras de papel kraft seguiram os mesmos procedimentos presente na NBR 7182 (ABNT, 2016). As adições escolhidas foram de 4% e 8% de cimento e, 4% e 8% de fibras de papel kraft, compactados separadamente. Essa escolha foi realizada com base em uma revisão bibliográfica abrangente. Esse protocolo de revisão incluiu a análise de diversos estudos relacionados ao tema, onde as variações nos percentuais de adição ficavam entre 3% e 15%. Magrovejo (2013), utilizou em seus estudos a adição de 5%, 10% e 15% de fibras incorporadas ao solo. Já Belusso (2018), estudou a estabilização de um solo argiloso com adições de 10% e 15% de cimento.

No que tange as fibras de papel kraft foram preparadas iniciando pela limpeza dos sacos de cimento para evitar contaminação, seguidas do corte em pequenos pedaços, lavagem, molho longo para amolecimento do papel, processamento no liquidificador para obtenção da polpa da

celulose, retirada do excesso de água e, por fim, dissociação em uma argamassadeira. Esse procedimento é observado na Figura 10.

Figura 10: Processo para obtenção das fibras dispersas de papel kraft: a) kraft fragmentado e molhado; b) polpa de celulose; c) polpa sem o excesso de água (após a torção); d) fibras dispersas na argamassadeira.



Fonte: Autor, 2024.

O cimento foi adicionado ao solo nas proporções anteriormente citadas de 4% e 8%, ele encontrava-se disponível no laboratório de materiais e mecânica dos solos do IFAL, ver Figura 11 e era do tipo CP-II-F-32.

Figura 11: Cimento utilizado.



Fonte: Autor, 2024.

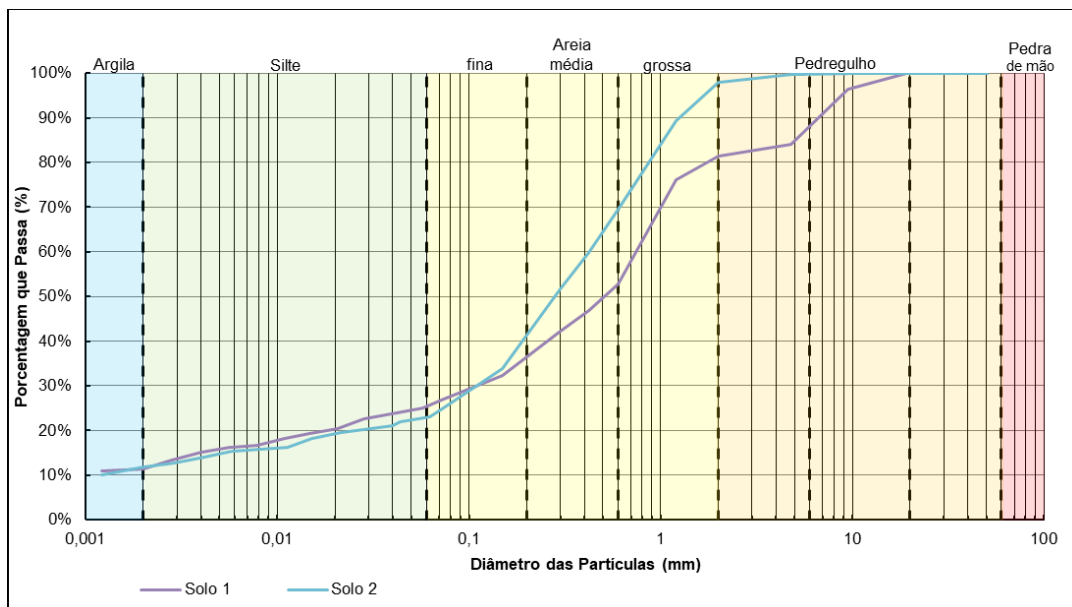
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos estão expostos em duas etapas, primeiro foram abordados e discutidos os resultados dos ensaios de granulometria, limites Atterberg, e em seguida tem-se a discussão e apresentação dos resultados para os ensaios de compactação Proctor normal.

6.1 GRANULOMETRIA

Com os resultados do ensaio de granulometria por peneiramento e sedimentação plotou-se as curvas granulométricas, que relacionam a porcentagem de solo passante pelo diâmetro das partículas do mesmo em escala logarítmica, conforme a Figura 12.

Figura 12: Gráfico com a curva de granulométrica dos dois solos.



Fonte: Autor, 2024.

Partindo da curva granulométrica apresentada na Figura 10, foi possível identificar as frações do solo, de acordo com as porcentagens passantes e o diâmetro das partículas, chegando-se a conclusão que a amostra de solo 1 é composta por 19% de pedregulho, 56% de areia, 14% de silte e 11% de argila, ou seja, trata-se de um solo com maior porcentagem de solo grosso (75%), podendo ser classificado de acordo com NBR 6502 (ABNT, 2022) como uma areia silto-argilosa com pedregulho. Já o solo 2 é composto por 75% de areia, 12% de argila, 11% de silte e 2% de pedregulho, ou seja, tem-se uma areia argilo-siltosa.

Devido às questões operacionais no laboratório, o valor da massa específica dos grãos do solo foi adotado pela literatura, segundo Pinto (2006), quando não se conhece esse valor por ensaios de laboratório, pode-se adotar como sendo de $2,70 \text{ g/cm}^3$.

A partir da análise dos diâmetros e das porcentagens de material passante, foi possível determinar a graduação e a uniformidade dos solos, com base na curva granulométrica. Os resultados indicaram que tanto o solo 1 quanto o solo 2 apresentaram características de solo uniforme e bem graduado.

O SUCS baseia-se na identificação dos solos de acordo com suas propriedades de textura e plasticidade e agrupa-os através de seus comportamentos quando utilizados em estradas, aeroportos, aterros e fundações (DNIT, 2006). Pelo método SUCS o solo 1 apresentou ser SP-SM, já o solo 2 se mostrou SP-SM/C (arenoso-siltoso e arenoso-argiloso), esse material tem características tanto de solos arenosos com silte quanto de solos arenosos com argila. Isso significa que ele contém uma mistura de areia, silte e argila, com propriedades que não permitem classificá-lo unicamente como SM ou SC. Esse tipo de solo pode ter um comportamento intermediário em termos de plasticidade, compressibilidade e permeabilidade, influenciado pela presença tanto de silte quanto de argila.

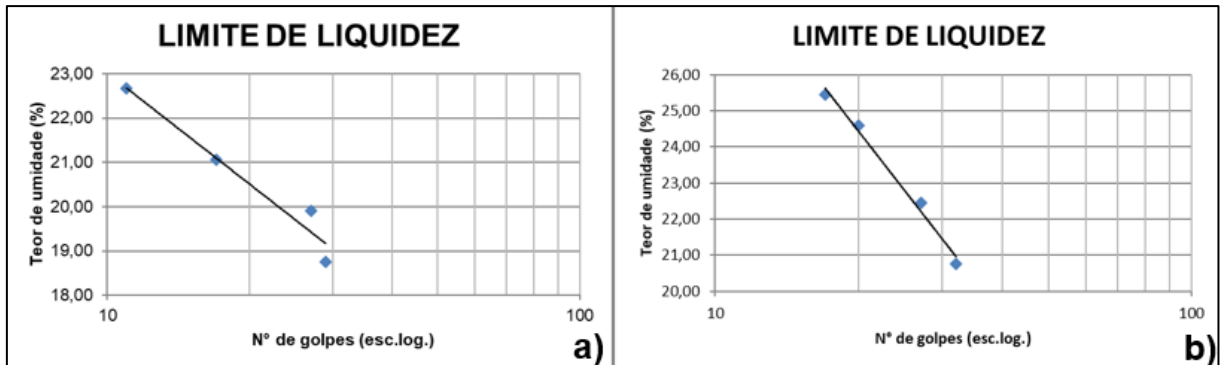
No que tange a classificação AASTHO, o solo 1 pertence ao grupo A-1-b, que tem como característica solo arenoso com menos de 35% de partículas finas (passantes na peneira nº 200) e é caracterizado por uma mistura de areia e silte. Esse tipo de solo é não plástico ou possui um índice de plasticidade muito baixo.

O solo 2 apresentou uma classificação pela AASTHO no grupo A-3 que inclui solos arenosos com menos de 35% de finos, baixa plasticidade e boa capacidade de drenagem. Eles são geralmente utilizados em aplicações de engenharia civil que exigem boa estabilidade e drenagem, como em pavimentos e fundações.

6.2 LIMITES DE ATTERBERG

Com os valores de umidade correspondentes ao número de golpes, foi possível plotar um gráfico para determinar o LL dos dois solos analisados, Figura 13, temos respectivamente o gráfico do solo 1 e 2.

Figura 13: Gráfico do limite de liquidez: a) LL solo 1; b) LL solo 2.



Fonte: Autor, 2024.

De acordo com os gráficos, é possível concluir que o limite de liquidez para o solo 1 é de 20%, já para o solo 2, o valor é de 23%. Demonstrando valores similares entre as amostras de solo.

Para a determinação do LP, a média das umidades encontradas durante a realização do ensaio foi utilizada. Para o solo 1 não foi possível determinar o LP, sendo assim ele foi classificado como não plástico (NP). Na Tabela 1, os resultados do ensaio de limite de plasticidade do solo 2 é apresentado, com o LP igual a 19,3%.

Tabela 1: Resultado do limite de plasticidade do solo 2.

Cápsula Nº	2	22	51	7	11
Peso da cápsula + solo úmido (g)	11,4	10,7	10,9	10,8	10,8
Peso da cápsula + solo seco (g)	11,2	10,5	10,7	10,6	10,6
Peso da cápsula	10,1	9,5	9,7	9,6	9,5
Peso da água	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Peso do solo seco (g)	1,1	1,0	1,0	1,0	1,1
Teor de umidade (%)	18,2	20,0	20,0	20,0	18,2
Teor médio da umidade (%)	19,3				

Fonte: Autor, 2024.

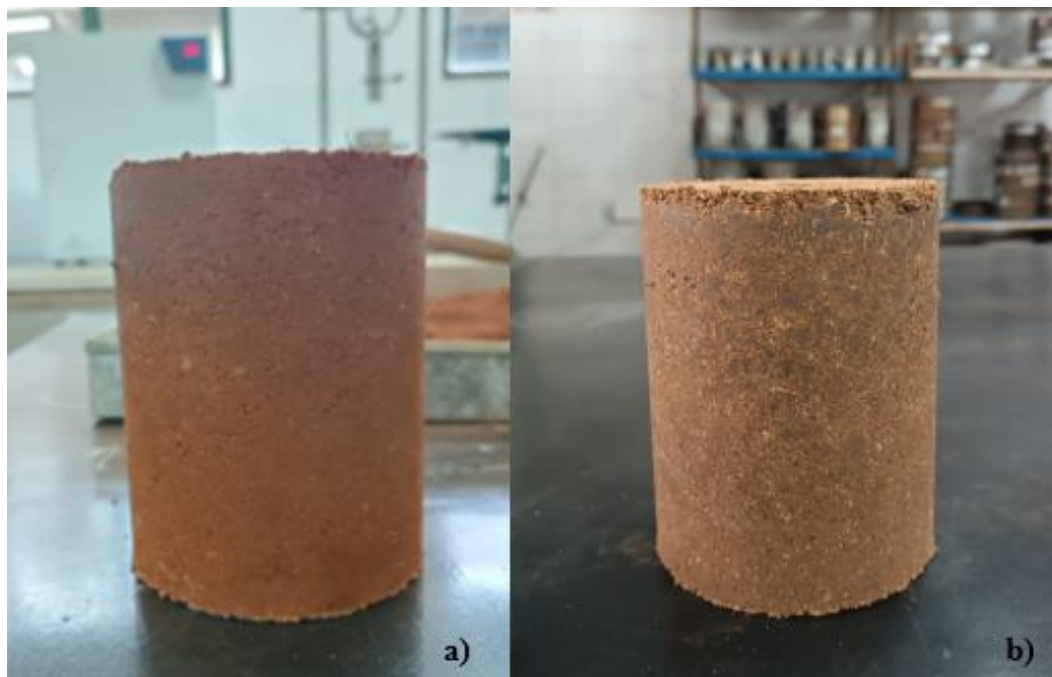
Pelos resultados é possível perceber que o solo 1 tem característica de areia ou silte com LP e IP classificados como NP. O solo 2 apesar de apresentar plasticidade, tem um baixo IP de 3,7% e nesse caso ambos os solos não apresentam características muito plásticas em contato com a água.

Esses resultados são fundamentais para compreender o comportamento desses elementos em relação à sua plasticidade e liquidez, o que é essencial para o projeto e execução de obras de engenharia civil e a classificação adequada desses solos perante os métodos SUCS e AASHTO.

6.3 ENSAIO DE COMPACTAÇÃO

A figura (Figura 14a) mostra um corpo de prova do solo 2 após o ensaio de compactação Proctor Normal, com a adição de 4% de fibras de papel kraft. E a (Figura 14b) mostra um corpo de prova do solo 1 após o ensaio com a adição de 4% de cimento.

Figura 14: Corpo de prova: a) Adição de fibras; b) Adição de cimento.



Fonte: Autor, 2024.

Os resultados dos ensaios de compactação estão sintetizados na Tabela 2, com os dados de peso específico aparente seco máximo e umidade ótima nas condições de solo sem adição, solo melhorado com 4% e 8% de cimento e solo melhorado com 4% e 8% de fibras do papel kraft.

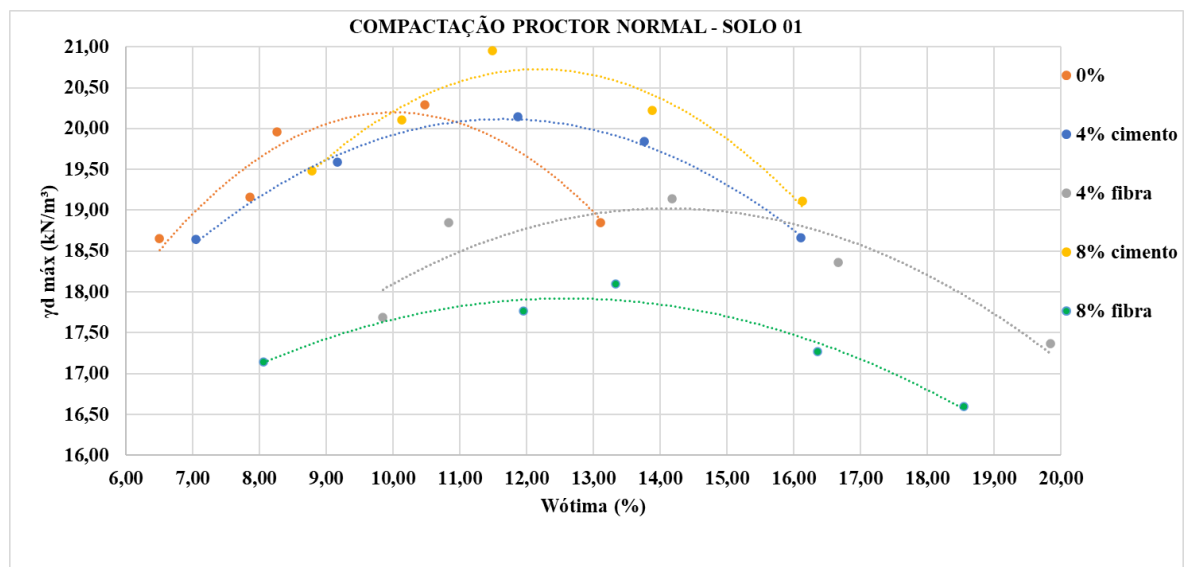
Tabela 2: Resultados para o peso específico aparente seco máximo e umidade ótima.

Amostra	Peso específico aparente seco	Umidade ótima
	(kN/m ³)	(%)
Solo 1 (sem adições)	20,2	10
Solo 1 + cimento (4%)	20,1	11,7
Solo 1 + fibras (4%)	19	14
Solo 1 + cimento (8%)	20,7	12,2
Solo 1 + fibras (8%)	17,9	12,5
Solo 2 (sem adições)	20,5	13
Solo 2 + cimento (4%)	20,2	13,5
Solo 2 + fibras (4%)	19,60	12,9
Solo 2 + cimento (8%)	19,65	13,5
Solo 2 + fibras (8%)	18,45	16

Fonte: Autor, 2024.

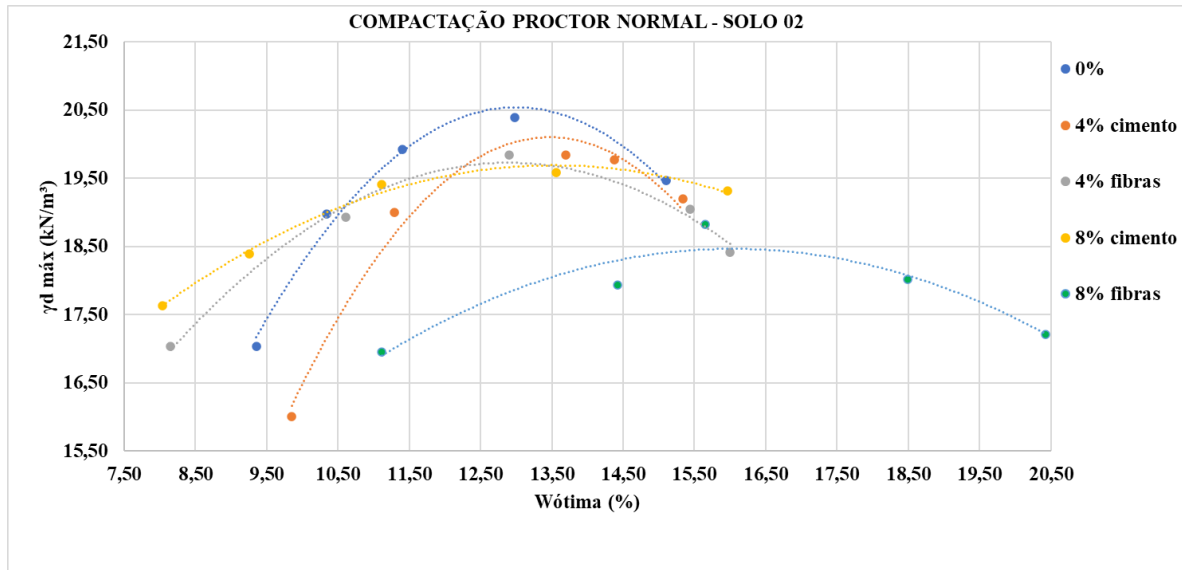
Todas as curvas resultantes do ensaio de compactação apresentaram um formato parabólico, demonstrando coerência com os resultados típicos para esse tipo de ensaio, ver as Figura 15 e Figura 16.

Figura 15: Curvas de compactação solo 1.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 16: Curvas de compactação solo 2.



Fonte: Autor, 2024.

Na Tabela 2, estão listados os valores de peso específico aparente seco máximo ($\gamma_{d\text{máx}}$) e umidade ótima ($W_{\text{ótima}}$). Os resultados são consistentes entre si, as curvas apresentadas nas Figura 15 e Figura 16, apresentam-se em um formato típico para os ensaios de compactação Proctor Normal.

O $\gamma_{d\text{máx}}$ das amostras com incorporação das fibras apresentou uma redução em relação ao solo com e sem incorporações de cimento, além de um aumento na $W_{\text{ótima}}$. Nesta configuração, sugere que a incorporação de fibras não contribuiu significativamente para melhorar as propriedades de compactação do solo.

O uso de fibras em um solo com maior plasticidade (solo 2), em incrementos de 4%, resultou em uma redução da umidade ótima sem causar perdas significativas no peso específico do solo, indicando uma alternativa viável para sua aplicação. Por outro lado, o solo 1 apresentou resultados satisfatórios com a incorporação de 4% de fibras, mantendo um $\gamma_{d\text{máx}}$ dentro da média e uma $W_{\text{ótima}}$ levemente maior que os demias. Isso sugere que essa porcentagem de adição é adequada para solos com características mais arenosas.

Os resultados do estudo de Al Wahab e Al-Qurna (1995) apud Casagrande (2001), indicaram que a adição de 2% de fibra causou uma leve diminuição na densidade e um pequeno aumento na umidade ótima do solo. No entanto, essas mudanças foram consideradas de pouca relevância.

Realizando uma análise mais estatística com os resultados dos ensaios de compactação, que são medidas de dispersão, tem-se o desvio padrão e covariância (Tabela 3 e Tabela 4). Castro *et al* (2015) destacam que o desvio padrão é a medida de dispersão mais utilizada por considerar todos os valores da variável em análise. Ele avalia a variabilidade dos dados em torno da média, sendo igual a zero quando não há variabilidade, indicando que todos os valores coincidem com a média.

Conforme apontado por Fonseca e Martins (1996), o coeficiente de variação é calculado pela relação entre o desvio padrão e a média aritmética da variável, permitindo avaliar o grau de dispersão dos dados em torno da média. Os autores classificam a covariação como baixa quando é até 10%, moderada entre 10% e 20%, e alta quando ultrapassa 20%.

Tabela 3: Dados estatísticos dos resultados do solo 1.

SOLO 1		
Porcentagem de incorporação	$\gamma_{dm\acute{a}x}$	Wótima
0%	20,20	10,00
4% Cimento	20,10	11,70
4% Fibras	19,00	14,00
8% Cimento	20,70	12,20
8% Fibras	17,90	12,50
Média	19,58	12,08
Desvio padrão (%)	1,13	1,44
Covariância (%)	5,75	11,96

Fonte: Autor, 2024.

Tabela 4: Dados estatísticos dos resultados do solo 2.

SOLO 2		
Porcentagem de incorporação	$\gamma_{dm\acute{a}x}$	Wótima
0%	20,50	13,00
4% Cimento	20,20	13,50
4% Fibras	19,60	12,90
8% Cimento	19,65	13,50
8% Fibras	18,450	16,00
Média	19,69	13,78

Desvio padrão (%)	0,77	1,27
Covariância (%)	3,89	9,23

Fonte: Autor, 2024.

É possível então afirmar que a covariância é considerada baixa para os valores de $\gamma_{d_{m\acute{a}x}}$ para ambos os solos, já para $W_{\acute{o}tima}$ é considerada média para o solo 1 e considerada baixa para o solo 2. Os desvios padrões são semelhantes e apresentando menores desvios para $\gamma_{d_{m\acute{a}x}}$, ou seja, resultados mais homogêneos.

Do ponto de vista sustentável, as fibras poderiam ser incorporadas ao solo, não necessariamente para promover uma estabilização ideal, mas como uma forma de destinação adequada para esse resíduo da construção civil. Diariamente, inúmeros sacos de cimento são descartados pela construção civil, e essa prática permitiria uma alternativa ambientalmente responsável para o reaproveitamento desse material. Assim como o estudo de Silva (2018) que pontou sobre a adição de resíduos de pneus ao solo não provocou mudanças significativas em sua granulometria, nem alterou seu comportamento para uso como subleito de pavimentos. No entanto, essa prática oferece benefícios ambientais, pois proporciona um destino adequado a esse tipo de material alternativo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises granulométricas indicaram que pela SUCS o solo 1 é uma areia silto-argilosa com pedregulho (SP-SM) e o solo 2 uma areia argilo-siltosa (SP-SM/C), com ambos apresentando boa uniformidade e graduação. O solo 1 foi classificado como A-1-b pela AASHTO, destacando sua baixa plasticidade, enquanto o solo 2 foi classificado como A-3. Os ensaios de limite de liquidez (LL) indicaram que o solo 1 apresenta um LL de 20%, enquanto o solo 2 tem um valor de 23%, com ambos mostrando valores similares. O solo 1 foi classificado como não plástico (NP), enquanto o solo 2 apresentou um LP de 19,3%, com um índice de plasticidade (IP) baixo de 3,7%.

O estudo revelou ainda que a incorporação de fibras nos solos teve impacto limitado nas propriedades de compactação. No solo 2, mais plástico, a adição de 4% de fibras reduziu a umidade ótima sem afetar significativamente o peso específico. Já o solo 1, mais arenoso, mostrou melhor desempenho com 4% de fibras, mantendo os valores de $\gamma_{d_{máx}}$ dentro da média. Os dados estatísticos evidenciaram baixa covariância para $\gamma_{d_{máx}}$ em ambos os solos e uma dispersão moderada para $W_{ótima}$ no solo 1, indicando resultados consistentes.

A adição de fibras ao solo não causou mudanças significativas nas propriedades de compactação, como o peso específico máximo aparente e a umidade ótima, mas pode ser uma alternativa viável para soluções sustentáveis. O uso de resíduos da construção civil, como as fibras, oferece uma destinação ambientalmente responsável sem alterar substancialmente as características do solo.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Além disso, é importante considerar outros tipos de ensaios para avaliar a viabilidade de uso do solo com fibras de papel kraft em aplicações específicas.

As fibras devem auxiliar na melhoria da estabilidade do solo, ampliando a sua capacidade de sustentar movimentos e reduzindo a suscetibilidade à erosão. Essas características podem ser mais bem avaliadas em estudos futuros, utilizando ensaios de cisalhamento direto, para analisar os parâmetros associados ao ângulo de atrito e à coesão dos materiais.

. A análise microestrutural, por meio de técnicas como microscopia eletrônica de varredura (MEV) e difração de raios X (DRX), pode ajudar a identificar os mecanismos de ligação e preenchimento entre as fibras e os grãos do solo. Ainda, é essencial avaliar os impactos ambientais e a sustentabilidade do uso desse material, considerando sua biodegradabilidade, o ciclo de vida e os benefícios na redução de resíduos sólidos

Ensaio triaxiais também seriam relevantes para investigar a resistência ao cisalhamento e a deformabilidade em condições de confinamento variado. Por fim, a realização de estudos de caso em obras civis, como bases de pavimentos, muros de arrimo e aterros, contribuiria para verificar o desempenho técnico e estrutural do solo reforçado com fibras de papel kraft em situações práticas. Essas abordagens podem aprofundar o entendimento sobre a viabilidade técnica, econômica e ambiental dessa técnica de melhoramento de solos.

REFERÊNCIAS

- ABRECON. **Pesquisa Setorial ABRECON 2020: a reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil. 2022.** Disponível em: <https://abrecon.org.br/documentos-e-informa/pesquisa-setorial-abrecon-2020>. Acesso em: 08 de novembro.2022.
- ABRELPE. **O Futuro do Setor de Gestão de Resíduos.** Disponível em: <http://abrelpe.org.br/o-futuro-do-setor-de-gestao-de-residuos/>. Acesso em: 08 de novembro.2022.
- ABREMA. (2023). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2023.** Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/panorama/> Acesso em: 18 nov. 2024.
- ALLEN, R. **How to save the world.** New Jersey: Barnes and Noble; 1980.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT: NBR 6457 (2016). **Amostra de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização - método de ensaio.** Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT: NBR 6459 (2016). **Solo – determinação de limite de liquidez - método de ensaio.** Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT: NBR 7180 (2016). **Solo – determinação do limite de plasticidade - método de ensaio.** Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT: NBR 7181 (2016). **Solo – análise granulométrica - método de ensaio.** Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). NBR 7182. **Solo – ensaio de compactação - método de ensaio.** Rio de Janeiro.
- BELUSSO, Aline. **Avaliação da Influência do Teor de Cimento Portland na Durabilidade e Resistência de um Solo Argiloso.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Caxias do Sul, Área de Conhecimento das Exatas e Engenharia, Caxias do Sul, 2018.
- BUSON, Márcio Albuquerque (2009). **KRAFTERRA: Desenvolvimento e análise preliminar do desempenho técnico de componentes de terra com a incorporação de fibras de papel Kraft provenientes da reciclagem de sacos de cimento para vedação vertical.** Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, 135p.
- CARTAXO, Mailson Augusto Almeida. **Melhoramento de solo através da adição de resíduo da construção civil no Brasil: revisão sistemática.** 2020. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande. 2020.
- CASAGRANDE, Michéle Dal Toé. **Estudo do comportamento de um solo reforçado com fibras de polipropileno visando o uso como base de fundações superficiais.** 2001.

Dissertação apresentada para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2001.

CASTRO, Jorge Luiz; FERNANDES, Silva Maria Wilda; DE ALMEIDA, Rosa Lívya Freitas. **Estatística e Probabilidade**. História, v. 9, p. 3, 2015.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO - CBIC. **Construção cresce 3,5% no 2º trimestre de 2024, superando expectativas econômicas**. Disponível em: <https://cbic.org.br/construcao-cresce-35-no-2o-trimestre-de-2024-superando-expectativas-economicas/>. Acesso em: 22 nov. 2024.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 jul. 2002.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de pavimentação**. 3rd ed. Rio de Janeiro: DNIT; 2006. 274 p.

FONSECA, Jairo Simon da; MARTINS, Gilberto de Andrade. **Curso de estatística**. São Paulo: Atlas, 1996. 320 p.

JOHN, Vanderley Moacyr. Panorama sobre a reciclagem na construção civil. **Revista Limpeza Pública**. São Paulo, v. 53, p. 8-11, 1999.

LEITE, Mônica Batista. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. (Tese de doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.20-26. 2001.

LIU, Zhen et al. Experimental study of the geopolymeric recycled aggregate concrete. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 28, n. 9, p. 04016077, 2016.

LOPES, Diogo Plachi et al. Reciclagem de resíduos da construção civil no Brasil. Revista Ibero-Americana de Humanidades, **Ciências e Educação**, v. 9, n. 1, p. 926-940, 2023.

MOGROVEJO, Daphne Rossana León. **Avaliação das propriedades geotécnicas de um solo argiloso e outro arenoso com adição de fibras de papel kraft**. 2013. 193 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

Ministério das Cidades e o Ministério do Meio Ambiente. **Áreas de Manejo de Resíduos da construção civil e Resíduos volumosos**. 2007. P.13. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/informma/item/3871-manual-reune-recomendacoes-paramanejoderesiduos-da-construcao-civil>. Acesso em: 18 de novembro 2024.

NAWAGAMUWA, Udeni et al. **Sustainable reuse of Brownfield properties in Sri Lanka as a gabion fill material ICSBE-2012: international conference on sustainable built environment** Kandy, Sri Lanka. 2012.

PINTO, C. S. (2006). **Curso básico de mecânica dos solos**. Em 16 aulas. São Paulo: Oficina de textos, 3ª ed, p. 367.

PRAIRIE, Village, **Characterization of building-related construction and demolition debris in the United States**. The US Environmental Protection Agency Municipal and Industrial Solid Waste Division Office of Solid Waste, 1998.

RAHMAN, Md Aminur et al. Recycled construction and demolition materials in permeable pavement systems: geotechnical and hydraulic characteristics. **Journal of Cleaner Production**, v. 90, p. 183-194, 2015.

RODRIGUES, Klaus Henrique de Paula. **Estudo de estabilização granulométrica de solos utilizando rejeito de mineração**. 2018. 108 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2018.

ROSADO, Laís Peixoto; PENTEADO, Carmenlucia Santos Giordano. Avaliação do ciclo de vida do Sistema Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil da Região Metropolitana de Campinas. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 24, p. 71-82, 2019.

SANTOS, Eder Carlos Guedes dos. (2007). **Aplicação de resíduos de construção e demolição reciclados (RCD-R) em estruturas de solo reforçado**. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 173 p.

SANTOS, Igor Silva et al. Reforço de solo erodível com utilização de fibras: Uma revisão sistemática da literatura. **Conjecturas**, v. 22, n. 6, p. 288-304, 2022.

SILVA, Aline Cátia da. **Comportamento hidromecânico de um solo areno-argiloso adicionado com resíduos de pneus e resíduos de construção e demolição**. 2018. 144 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, 2018.

SILVA, Mayara Cristina Ghedini et al. Metodologia para identificação de potenciais locais para a implantação de usina de reciclagem de resíduos da construção civil. **Espacios**, v. 34, n. 4, p. 2, 2013.

SILVEIRA, Mariana.; CASAGRANDE, Michéle. Effects of degradation of vegetal fibers on the mechanical behavior of reinforced sand. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 39, n. 5, p. 3875-3887, 2021.

UNITED NATIONS ORGANIZATION. 2030 **Agenda for sustainable development**. Resolution adopted by the General Assembly on September 2015. 2015. Disponível em: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf. Acesso em 18 nov. 2024.

WEI-HONG, Xing et al. The quality improvement of stony construction and demolition waste (CDW). **Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.**, v. 19, p. 78-80, 2004.

YAMAMOTO, Jorge Kazuo et al. Environmental impact reduction on the production of blended portland cement in Brazil. **Environmental Geosciences**, v. 4, n. 4, p. 192-206, 1997.

ZHANG, Junhui; GU, Fan; ZHANG, Yuqing. Use of building-related construction and demolition wastes in highway embankment: laboratory and field evaluations. **Journal of cleaner production**, v. 230, p. 1051-1060, 2019.