

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

CRISTIANO AUGUSTO HEUSER

TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO CONFECCIONADOS A PARTIR DE
EXPERIMENTOS COM SOLO DE PALMITOS, SC

Palmitos, 15 de dezembro de 2023

CRISTIANO AUGUSTO HEUSER

TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO CONFECCIONADOS A PARTIR DE
EXPERIMENTOS COM SOLO DE PALMITOS, SC

Monografia apresentada ao
curso de Engenharia Civil do
São Carlos do Instituto
Federal de Santa Catarina
para a obtenção do diploma
de Engenheiro civil

Orientador: Anderson Renato
Vobornik Wolenski

Palmitos, 15 de dezembro de 2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Heuser, Cristiano
TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO CONFECCIONADOS A PARTIR DE
EXPERIMENTOS COM SOLO DE PALMITOS, SC / Cristiano Heuser; orientação
de Anderson Renato Vobornik Wolenski. –
Florianópolis, SC, 2023.
74 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico
de Construção Civil.
Inclui Referências.

1. Sustentabilidade. 2. Tijolos ecológicos. 3. Caracterização
do solo. I. Renato Vobornik Wolenski, Anderson.
II. Instituto Federal de Santa Catarina. III. TIJOLOS
DE SOLO-CIMENTO CONFECCIONADOS A PARTIR DE EXPERIMENTOS
COM SOLO DE PALMITOS, SC.

CRISTIANO AUGUSTO HEUSER

TIJOLOS DE SOLO-CIMENTO CONFECCIONADOS A PARTIR DE
EXPERIMENTOS COM SOLO DE PALMITOS, SC

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Engenharia Civil, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Palmitos, 15 de dezembro de 2023

Documento assinado digitalmente
 ANDERSON RENATO VOBORNIK WOLENSKI
Data: 12/03/2024 09:57:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Anderson Renato Vobornik Wolenski
Doutor em Engenharia de Estruturas
Orientador
Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 ANA PAULA ANTONELLO SIEG
Data: 12/03/2024 10:44:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Ana Paula Antonello Sieg
Mestre em Engenharia de Estruturas
Banca examinadora
Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 CASSIO ALEXANDRE BARIVIERA
Data: 14/03/2024 11:05:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Cássio Alexandre Bariviera
Mestre em Dinâmicas Regionais e Desenvolvimento
Banca examinadora
Instituto Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Este trabalho foi feito com o foco na sustentabilidade, que é o futuro para humanidade, onde devemos buscar assim o significado de desenvolvimento sustentável: suprir as necessidades do presente sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprirem as próprias necessidades. O tijolo de solo-cimento ou bloco de terra comprimido (BTC) é uma técnica sustentável de grande valor ecológico, com desempenho termoacústico já comprovados, pouco adotados na região. Fizemos a caracterização do solo na região oeste de Santa Catarina (Palmitos-SC) para observar se é possível a fabricação de tijolos ecológicos com o solo e ver se ele é um dos inibidores para não encontrar fábricas, os testes em laboratórios foram feitos seguindo as prescrições da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Os resultados dessa pesquisa têm como objetivo suprir a disciplina de TCC I, e para um TCC II será feito um traço com o solo para testar as resistências do solo e do tijolo ecológico, para observar se irá cumprir as normas vigentes do BTC.

Palavras-Chave: sustentabilidade, tijolos ecológicos, caracterização do solo

ABSTRACT

This work was done with a focus on sustainability, which is the future for humanity, where we must seek the meaning of sustainable development: meeting the needs of the present without affecting the ability of future generations to meet their own needs. The soil-cement brick or compressed earth block (CEB) is a sustainable technique of great ecological value, with already proven thermoacoustic performance, little adopted in the region. We carried out the characterization of the soil in the western region of Santa Catarina (Palmitos-SC) to see if it is possible to manufacture ecological bricks with the soil and to see if it is one of the inhibitors for not finding factories, the tests in laboratories were carried out following the prescriptions of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT). The results of this research are intended to supply the discipline of TCC I, and for a TCC II a trace will be made with the soil to test the resistance of the soil and the ecological brick, to observe if it will comply with the current standards of the BTC.

Keywords: sustainability, ecological bricks, soil characterization

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Muralha da China
- Figura 2: Tijolos solo cimento
- Figura 3: Sistemas Embutidos.
- Figura 4: Sistema hidráulico.
- Figura 5: Cintas e amarrações.
- Figura 6: Componentes da mistura de solo-cimento
- Figura 7: Local da coleta do solo.
- Figura 8 : Peneira comum
- Figura 9: Peneiramento
- Figura 10: Tonel usado para guardar o solo peneirado
- Figura 11: Agitador mecânico
- Figura 12: Materiais experimento granulometria
- Figura 13: Solução/Recipiente metal
- Figura 14: Pipetando a solução
- Figura 15: Teste agitador
- Figura 16: Passando a solução na peneira de 45 micrômetros e lavagem do recipiente para evitar perda de amostra
- Figura 17: Medição temperatura da proveta 1lt
- Figura 18: Pipetando 50 ml
- Figura 19: Tara do becker
- Figura 20 : Solução na estufa para secagem
- Figura 21: Aparelhagem
- Figura 22: Pesagem para ensaio de limite de liquidez
- Figura 23: Mistura homogênea
- Figura 24: Preparo da concha
- Figura 25: Aparelho Casagrande
- Figura 26: Pesagem das cápsula
- Figura 27: Secagem na estufa
- Figura 28: Ensaio limite de plasticidade
- Figura 29: Peneira nº10 e destorroador
- Figura 30: Pesagem amostra de solo
- Figura 31 : Provetas com as porcentagem de cimento
- Figura 32: Pesagem cimento
- Figura 33: Pesagem cimento
- Figura 34: Mistura após 24h
- Figura 35: Materiais
- Figura 36: Pesagem solo/areia
- Figura 37: Mistura dos materiais
- Figura 38: Materiais para a mistura
- Figura 40: Materiais para a mistura
- Figura 41: Blocos traço AF teste
- Figura 42: Blocos traço AG teste

Figura 43: Blocos traço AG teste1
Figura 44: Detalhe, defeitos bloco
Figura 45: Tijolo na prensa traço AF
Figura 46: Tijolo na prensa traço AG
Figura 47: Blocos traço AF
Figura 48: Blocos teste dimensional
Figura 49: Blocos teste absorção
Figura 50: Blocos teste absorção 1
Figura 51: Corpos de prova imergidos na água
Figura 52: Corpos de prova imergidos na água
Figura 53: Cortando os corpos
Figura 54: Corpos de prova cortados
Figura 55: Corpos de prova identificados
Figura 56: Pasta de cimento
Figura 57: Capeamento
Figura 58: Capeamento pronto
Figura 59: Corpos de prova submerso para o rompimento
Figura 60: Corpos de prova na prensa
Figura 61: Material ficante peneira 45 micrometros
Figura 62: Material pipetado
Figura 63: Separação da amostra
Figura 64: Betoneira para mistura
Figura 65: Gráfico de Tensão

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tabela de custos dos tijolos;

Tabela 2 - Características do solo

Tabela 1. Tabela de custos dos tijolos;

Tabela 3: Resultados análise granulométrica

Tabela 4: Resultados limites de liquidez

Tabela 5: Resultados limites de plasticidade

Tabela 6: Índice de plasticidade

Tabela 7: Dimensões segundo a norma 8491:2012

Tabela 8: Dimensões dos tijolos da amostra

Tabela 9: Resultado teste de absorção

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva granulométrica

Gráfico 2: Teor mínimo de cimento

Gráfico 3: Resistência à compressão

Gráfico 3: Resistência à compressão, Novos testes

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

BTC – Bloco de terra comprimida / solo-cimento

NM – Norma MERCOSUL

ANM – Associação MERCOSUL de normalização

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
	15
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivo específico	15
2 DESENVOLVIMENTO	16
2.1 Amostras de solo	22
2.2 Análise granulométrica	22
2.3 Determinação do limite de liquidez	23
2.4 Determinação do limite de plasticidade	24
2.5 Método de dosagem físico-químico de solo-cimento	25
3 METODOLOGIA	26
3.1 Amostras	26
3.2 Análise granulométrica	28
3.3 Limite de Liquidez	35
3.4 Limite de Plasticidade	39
3.5 Método de dosagem físico-químico de solo-cimento	40
3.6 BTC (Bloco de terra comprimida)	44
3.6.1 Ensaio dimensional	52
3.6.2 Ensaio de absorção	52
3.6.3 Ensaio de compressão	54
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	58
4.1 Análise granulométrica	58
4.2 Limite de Liquidez	60
4.3 Limite de Plasticidade	60
4.4 Método de dosagem físico-químico de solo-cimento	61
4.5 Ensaio do BTC (Bloco de terra comprimida)	62
4.5.1 Ensaio dimensional	62
4.5.2 Ensaio de absorção	64
4.5.3 Ensaio de compressão	65
5.1 Novos testes feito a partir de julho 2023	67
5 CONCLUSÃO	69
5.2 Estudos futuros	70
REFERÊNCIAS	71

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a escassez iminente dos recursos naturais tem impulsionado a busca por materiais e técnicas que minimizem os impactos ambientais, visando a promoção da sustentabilidade. Na construção civil, em particular, a sustentabilidade tornou-se um tema indispensável em qualquer empresa do ramo. A geração de grandes quantidades de resíduos e entulhos nos canteiros de obras, juntamente com as atividades nocivas de extração de matéria-prima e o elevado consumo de energia elétrica, representam um desafio significativo na redução dos impactos causados pelas construções.

A busca por novas soluções construtivas, o emprego viável de novas ferramentas, a reciclagem de resíduos, o déficit habitacional, o desenvolvimento sustentável e a eliminação do desperdício no canteiro de obras por meio da racionalização de materiais e mão de obra são desafios a serem encarados por pesquisadores, engenheiros, arquitetos e a própria sociedade (GONÇALVES et. al., 2006).

De acordo com Cardoso (2017), mais de 50% dos resíduos gerados no Brasil têm origem na construção civil. O conceito de sustentabilidade na construção civil implica em adotar ações que reduzam os impactos ambientais, potencializem a viabilidade econômica e proporcionem uma boa qualidade de vida para as gerações presentes e futuras, tanto antes, durante como após as construções.

Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades. (Córdoba de Torresi, Pardini, Ferreira. 2010)

Uma das tecnologias que têm sido adotadas nesse contexto é a utilização do solo na fabricação de tijolos, os quais, além de serem ecologicamente corretos, possuem o método de construção modular, evitando desperdícios desnecessários. O processo consiste na mistura de solo, cimento e água, compactada e curada à sombra. De acordo com Oliveira (2022), os objetivos da construção modular são proporcionar maior produtividade, reduzir retrabalhos e minimizar a geração de

resíduos. Desse modo, o uso dos tijolos de solo-cimento produzidos por meio de prensas manuais, com aplicações de técnicas simples e soluções viáveis, está em conformidade com os padrões de segurança ambiental, porque permite o desenvolvimento de componentes de sistemas construtivos com inúmeras vantagens. Pode-se citar o controle de perdas; disponibilidade de abastecimento; baixo custo em comparação às alvenarias convencionais; eficiência construtiva devido ao sistema modular, pelo qual os tijolos são somente encaixados ou assentados com pouca quantidade de argamassa. Além disso, os tijolos podem ser produzidos com furos internos que permitem a passagem de tubulações sem a necessidade de cortes ou quebras, facilitando o manuseio devido aos encaixes que agilizam a execução da alvenaria; implicando em baixa agressividade ao meio ambiente, pois dispensa a queima; e a economia de transporte, já que geralmente é produzido no próprio local da obra (FUNTAC, 1999).

Segundo a Associação Nacional da Indústria do Tijolo Ecológico (ANITECO, 2020), a produção de 1.000 tijolos ecológicos economiza de 7 a 12 árvores de médio porte quando comparada aos blocos cerâmicos. Isso ocorre porque o Bloco de Terra Comprimida/Solo-Cimento não requer a queima em forno, processo que consome madeira e emite gases poluentes, além de ser composto principalmente por solo, um recurso abundante no planeta.

Para que o tijolo de solo-cimento seja caracterizado como produto de qualidade, o mesmo deve atender aos requisitos da NBR 8491:2012 no que diz respeito às dimensões e respectivas tolerâncias, resistência à compressão e absorção de água.

Diante desse contexto, o presente trabalho busca responder à seguinte pergunta de pesquisa: Existe viabilidade técnica na produção de BTC (bloco de terra comprimida), com solo da região de Palmitos-SC? Para responder a essa questão, serão realizadas análises do solo, testes mecânicos e consulta às normativas pertinentes, a fim de verificar a viabilidade técnica e se os valores mínimos exigidos pela ABNT NBR 8492:2012 Tijolo de solo-cimento — Análise dimensional, determinação da resistência à compressão e da absorção de água — Método de ensaio, serão atendidos.

1.1 Objetivos

Com o intuito de responder a questão de pesquisa descrita e apresentada na seção anterior, definem-se os seguintes objetivos geral e específicos para o presente estudo.

1.1.1 Objetivo geral

Os objetivos deste trabalho são definir a viabilidade de usar a terra da região de Palmitos para a produção de BTC, e se com ela o BTC irá apresentar os requisitos mínimos que a norma exige.

1.1.2 Objetivo específico

- Realizar a caracterização do solo da região de Palmitos por meio de testes de granulometria, limite de plasticidade e limite de liquidez;
- Analisar o processo de fabricação dos tijolos de solo-cimento;
- Verificar se as características físicas e mecânicas do BTC atendem aos valores mínimos estabelecidos pela NBR 8492:2012;
- Avaliar a viabilidade técnica na produção de BTC com solo da região de Palmitos-SC.

2 DESENVOLVIMENTO

Desde a antiguidade o solo é usado como material de construção. Gregos e romanos utilizavam o solo como material de construção pelo menos dez mil anos atrás e muitas dessas obras se encontram resistentes ao tempo, conservando sua qualidade. Uma grande estrutura antiga que se tem notícia com uso de solo estabilizado em sua construção é a Muralha da China no século III, feita com uma mistura de solo e cal.

Figura 1:Muralha da china



Fonte: Sua história e construção - ACOI construtora

As construções antigas frequentemente utilizavam o solo como um material de construção fundamental devido à sua disponibilidade e facilidade de uso. Essas técnicas demonstravam a criatividade e a eficiência com que os antigos construtores aproveitaram os recursos naturais disponíveis para criar estruturas duradouras e funcionais.

No Brasil, o uso do solo-cimento teve início em bases e sub-bases da pavimentação. Em 1948, foi feita a construção de casas residenciais de solo-cimento no logradouro de Vale Florido, na Fazenda Inglesa, em Petrópolis (RJ). Em 1953 foi inaugurado o Hospital de Tuberculosos de Manaus (AM), hoje Hospital Geral Adriano Jorge, com uma área total construída de 10.800m², completamente feito com solo-cimento em paredes monolíticas. O bom estado de conservação em que essas edificações encontram-se hoje, atesta claramente a qualidade do material e da técnica construtiva. Em 1978 o solo-cimento foi aprovado como uma técnica de construção de habitações populares pelo antigo BNH, sendo amplamente aplicado

em moradias devido a pesquisas desenvolvidas pelo IPT e pelo CEPED, as quais comprovaram o bom desempenho dessa técnica .

Após o desenvolvimento das paredes monolíticas de solo-cimento, iniciou-se o processo de produção dos tijolos de solo-cimento, também conhecido como tijolo ecológico. O tijolo pode ser fabricado em diversos formatos, vazado ou maciço. Os mais comuns são os blocos vazados (Figura 2).

Para a produção dos blocos de solo-cimento, o solo arenoso é mais indicado (teor de areia superior a 50% e de argila entre 20 e 30%).

Figura 2: Tijolos solo cimento



Fonte:Revista Matéria(2022)

Euphrosino, Jacintho, Pimentel, *et al* (2022). Diz que um dos pontos positivos do tijolo de solo-cimento é o seu formato auto encaixável que permite um assentamento mais fácil e com pouco uso de argamassa, dispensando vários tipos de acabamento como reboco, massa corrida, pinturas e rejuntas. O ideal seria apenas um impermeabilizante nas paredes protegendo a ação do tempo. Além disso, os tijolos possuem furos que auxiliam nas instalações das redes hidráulicas e elétricas que neles ficam embutidas, e são instaladas juntamente com levantamento das paredes.

Figura 3: Sistemas Embutidos.



Fonte: Eco máquinas.

Figura 4: Sistema hidráulico.

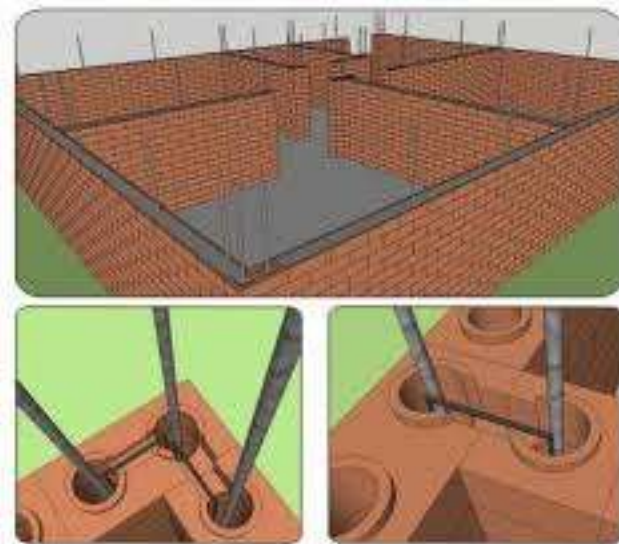


Fonte: Construindo e ampliando com solo-cimento.

Dessa maneira, não há a necessidade de quebrar as paredes para essas instalações e, conseqüentemente, há um menor desperdício de material.

A parte estrutural fica por conta das armaduras e dos grautes que também são estrategicamente posicionados nos furos criando as colunas de sustentação das paredes e das lajes.

Figura 5: Cintas e amarrações.



Fonte: Intijol. (2015)

Nas vergas, contravergas e vigotas são usados os blocos canaletas de solo cimento, nos quais ocorre a concretagem horizontal. Assim, são economizadas as formas de madeira e mão de obra de carpintaria. Além disso, o sistema estrutural fica distribuído ao longo da construção evitando que grandes cargas fiquem concentradas em poucos pontos. Esse sistema construtivo baseado nos tijolos de solo-cimento traz uma economia global que varia de 20 a 40% em relação ao

sistema construtivo convencional.

Segundo Weber, Francisco e Borga(2017) o mercado de materiais para construção civil está em constante mudança devido a novas tecnologias e aperfeiçoamentos de materiais construtivos, com isso, o preço dos diferentes tipos de tijolos varia de acordo com as suas características, fabricante e fornecedor.

Weber, Francisco e Borga(2017) também trazem que comprar o tijolo ecológico sem uma análise prévia na elaboração do projeto considerando todas as etapas da obra e os demais materiais necessários, não se mostra uma boa opção de economia(Tabela1).

Tabela 1. Tabela de custos dos tijolos;

	Tijolo de solo-cimento (25 x 12,5 x 6,5 cm)	Tijolo 6 furos cerâmico (9 x 14 x 19 cm)	Bloco estrutural (9 x 19 x 29 cm)
Quantidade por m ²	55	37	13,5
Custo por unidade*	R\$1,05	R\$0,40	R\$ 1,45
Custo por m ²	R\$ 57,75	R\$ 14,80	R\$19,58

(*) Valores obtido no comércio de Santa Catarina.(2017)

Fonte:Análise da eficiência do tijolo ecológico na construção civil.

Weber, Francisco e Borga(2017) demonstra que um orçamento completo de execução de obra pode vir a mostrar a verdadeira economia do tijolo ecológico, que se dá no processo de utilização do mesmo, tempo de execução, praticidade, economia de materiais, eficiência energética, dentre outras inúmeras vantagens.O custo do tijolo diminui da média de R\$ 1,05 para R\$ 0,25, desde que o proprietário ou empreiteira/construtora que irá executar a obra disponha do equipamento necessário.

Mas segundo Rosse e Toledo (2019), esse sistema como qualquer outro sistema construtivo, também possui suas desvantagens e algumas barreiras técnicas. Entre elas podem ser citadas: falta de profissionais qualificados e com

experiência no mercado; ausência de fábricas/indústrias em algumas regiões; problemas de aceitação pelas pessoas.

Ferrari (2016) aborda que algumas culturas organizacionais são ainda resistentes com relação a mudanças que melhorem o desempenho ambiental. Fatores culturais, como líderes e empregados, mentalidades, hábitos e rotinas, representam obstáculos significativos para o desenvolvimento sustentável.

Assim como não são muito as fábricas/indústrias de tijolos ecológicos na região oeste de Santa Catarina, isso pode ser por conta de um solo com porcentagens altas de argila/silte em sua composição, que não são propícias para a fabricação do tijolo ecológico.

O tijolo ecológico é uma mistura bem balanceada de solo e cimento Portland. O método consiste em estabilizar o solo através do cimento, melhorando assim o desempenho da mistura.

Figura 6: Componentes da mistura de solo-cimento



Fonte: Brick – Sahara, 2001.

A norma NBR 10834:2012 descreve o bloco como um componente de alvenaria constituído de uma mistura homogênea, compactada e endurecida de solo, cimento portland, água e eventualmente aditivos/pigmentos em proporções que permitam atender às exigências desta norma (NBR 10834, 2012).

Como o principal material é o solo, o tipo de solo faz uma grande diferença na fabricação do BTC. Segundo a NBR 10833:2012 fabricação de tijolos e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica - procedimento; o solo deve atender às características da tabela 1 a seguir:

Tabela 2: Características do solo

Passando na peneira 4,8 mm (nº 4)	100%
Passando na peneira 0,075 mm (nº 200)	10% a 50%
Limite de liquidez	$\leq 45\%$
Índice de plasticidade	$\leq 18\%$

fonte: Adaptado de ANITECO, 2014.

Segundo Oliveira (2020) Embora existam solos que não podem ser utilizados isoladamente para a fabricação, é possível misturar dois ou mais deles para encontrar nas especificações solos com características adequadas. Para encontrar essas características no solo são necessários alguns testes, orientados pela ABNT.

Embora a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) seja uma instituição de referência no estabelecimento de padrões e diretrizes para diversos setores, é importante ressaltar que nem todos os testes e procedimentos são abordados ou abrangidos por suas normas. Em alguns casos específicos, foi necessário recorrer a outras fontes de referência, como as normas e técnicas desenvolvidas pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e pelo DNIT (Departamento nacional de infraestrutura de transporte).

A Embrapa é uma instituição renomada no campo da pesquisa agropecuária e possui expertise em diversos aspectos relacionados à agricultura, pecuária, meio ambiente e sustentabilidade. Suas normas e técnicas são amplamente utilizadas em estudos e experimentos visando promover o desenvolvimento sustentável e a produtividade no setor.

Por outro lado, o DNIT é responsável pela regulamentação e padronização de diversas questões técnicas relacionadas à infraestrutura rodoviária no Brasil. Suas normas e técnicas são fundamentais para garantir a segurança, qualidade e durabilidade das estradas e rodovias do país.

Portanto, diante da diversidade de áreas e campos de conhecimento, é natural que nem todos os testes sejam abordados pelas normas da ABNT. Nessas situações, a utilização das normas e técnicas da Embrapa e do DNIT, entre outras fontes de referência confiáveis, é essencial para embasar adequadamente os estudos e garantir a conformidade com as melhores práticas e padrões

estabelecidos em cada área específica.

2.1 Amostras de solo

A ABNT NBR 6457 é uma norma técnica brasileira que estabelece os procedimentos para a preparação de amostras de solo destinadas a ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Esses ensaios são comumente utilizados na engenharia geotécnica para avaliar as propriedades dos solos.

Segundo a ABNT NBR 6457:2016, as amostras de solo podem ser com secagem prévia ou não, buscando a umidade higroscópica do material, para cada tipo de ensaio requer formas diferentes de preparo do solo. Para ensaios de caracterização do solo ele deve ser com a secagem prévia, e sem a secagem prévia caso tenha mais de 10 % de material retido na peneira de 0,42 mm

2.2 Análise granulométrica

Para a granulometria do solo o ideal seria a utilização da norma ABNT NBR 7181 que é uma norma técnica brasileira que estabelece o método de ensaio para a análise granulométrica do solo.

A análise granulométrica é um procedimento utilizado para determinar a distribuição das diferentes frações granulométricas presentes em uma amostra de solo.

A análise granulométrica pela norma 7181 é determinada através de três etapas: peneiramento grosso, sedimentação e peneiramento fino. O peneiramento (tanto o grosso quanto o fino) é realizado passando o solo através de peneiras ordenadas por tamanho de abertura, da maior para a menor. A sedimentação quantifica e qualifica os grãos de diâmetro menor que 0,075 mm.

Já segundo o manual de solos da Embrapa, seguindo a metodologia de Donagemma, Viana e et al (2017) a análise granulométrica visa à quantificação da distribuição por tamanho das partículas individuais de minerais do solo. Entende-se por partículas individuais os grãos de minerais individualizados, fragmentos de rocha não alterada ou parcialmente alterada. O procedimento operacional visa à ruptura dos agregados do solo e a individualização dessas partículas, por meio de uma combinação de energia mecânica e química, com a formação de uma suspensão

estabilizada, e a quantificação após a separação das frações pelo processo de sedimentação.

No processo de sedimentação, a argila tem uma velocidade de sedimentação mais lenta em comparação ao silte. Isso ocorre devido ao tamanho e à natureza das partículas. O silte consiste em partículas de tamanho intermediário, maiores que as partículas de argila, devido ao seu tamanho, o silte tende a se depositar mais rapidamente do que a argila. Por outro lado, a argila é composta por partículas muito pequenas e finas, que possuem uma maior capacidade de retenção de água. Essa retenção de água faz com que as partículas de argila sejam menos propensas a se sedimentarem rapidamente.

2.3 Determinação do limite de liquidez

A ABNT NBR 6459 é uma norma técnica brasileira que estabelece os procedimentos para a determinação do limite de liquidez do solo. O limite de liquidez é uma propriedade do solo que indica a umidade na qual o solo passa do estado líquido para o estado plástico.

De acordo com a NBR 6459:2016, o Limite de Liquidez é determinado usando o Aparelho de Casagrande: faz-se uma relação de golpes do aparelho com o teor de umidade do solo. O Limite de Liquidez é o teor de umidade correspondente a 25 golpes. A norma também recomenda que o ensaio seja realizado em recintos climatizados para evitar a perda de umidade do material por evaporação. O procedimento é repetido no mínimo três vezes, adicionando água ou solo à amostra para conseguir diferentes teores de umidade.

A fórmula a seguir determina o teor de umidade para cada amostra de solo coletada em cápsulas:

$$h = \frac{P1 - P2}{P2 - P_c} \times 100$$

Sendo:

h- teor de umidade da amostra (%);

P1- peso da cápsula mais solo úmido (antes da secagem na estufa);

P2- peso da cápsula mais solo seco (após secagem);

PC- peso da cápsula.

Em seguida é construído um gráfico cuja abscissa (em escala linear) é o teor de umidade e a ordenada (em escala logarítmica) é o número de golpes. Os pontos obtidos no ensaio são plotados no gráfico e uma reta de melhor representação dos pontos é adicionada. Então, fazendo uso da reta, o limite de liquidez é correspondente ao teor de umidade relacionado a 25 golpes.

2.4 Determinação do limite de plasticidade

A ABNT NBR 7180:2016 é uma norma técnica brasileira que estabelece os procedimentos para a determinação do limite de plasticidade do solo por meio de um ensaio de laboratório. O limite de plasticidade é uma propriedade do solo que indica a quantidade de umidade necessária para que o solo passe do estado plástico para o estado semi-sólido.

O Limite de Plasticidade (wP ou LP) é determinado através da premissa de que é o teor de umidade da amostra que se fragmenta ao atingir as dimensões de 3 mm por 100 mm em formato de cilindro. A norma orienta repetir o ensaio no mínimo três vezes, e é considerado satisfatório quando os resultados não têm divergências maiores que 5 %.

Para determinar o índice de plasticidade deve se usar a fórmula:

$$IP = LL - LP$$

onde :

IP é o índice de plasticidade

LL é o limite de liquidez determinado pela NBR 6459

LP é o limite de plasticidade

Quando não for possível determinar um índice de plasticidade, anotar o índice como NP (não plástico).

2.5 Método de dosagem físico-químico de solo-cimento

Como um experimento adicional, para determinar o teor mínimo de cimento

necessário para estabilizar o solo, recorreremos à norma DNIT 414 - ME Julho/2019, que descreve o método de ensaio para a dosagem físico-química de solo-cimento.

O objetivo desse método físico-químico é fornecer ao projetista uma resposta rápida e simples sobre o teor mínimo de cimento necessário para estabilizar completamente um determinado tipo de solo, satisfazendo quimicamente e garantindo a matriz contínua das ligações. Ele se baseia na interação elétrica entre as partículas de cimento e argila presentes no solo.

Ao determinar esse teor mínimo de cimento, é possível orientar os teores a serem testados posteriormente quanto à resistência mecânica e deformabilidade. Essa informação é importante para auxiliar na escolha dos teores de cimento adequados para garantir a estabilização desejada do solo.

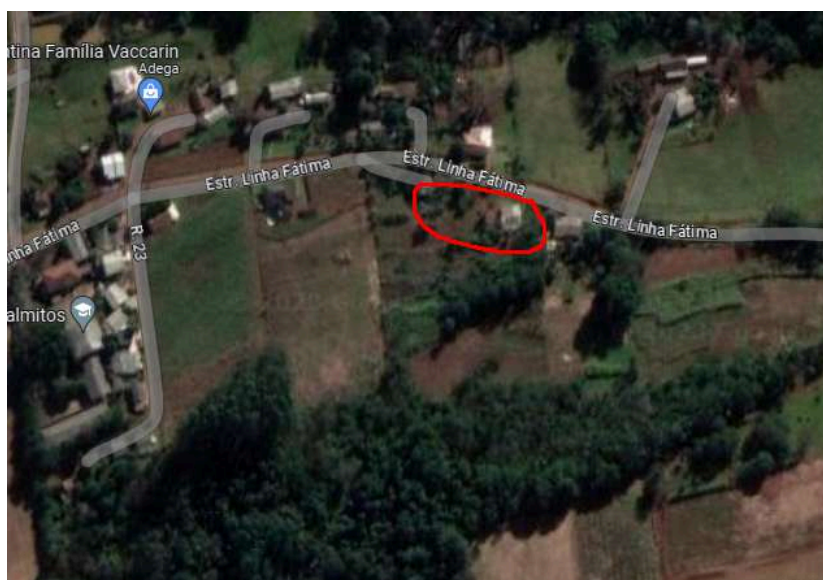
3 METODOLOGIA

O objetivo exploratório do presente trabalho foi executar a caracterização do solo da região de Palmitos, que consiste na descrição quantitativa das propriedades do mesmo, que são usadas para determinar as relações de granulometria, limite de plasticidade e o limite de liquidez. Buscando embasar os procedimentos técnicos descritos nas NBR e estudos de instituições confiáveis para realização dos experimentos laboratoriais.

3.1 Amostras

As amostras de solo foram coletadas em um terreno situado no município de Palmitos, estado de Santa Catarina, Brasil. O procedimento de coleta foi realizado utilizando parcelas de solo com uma quantidade aproximada de 10 quilogramas cada uma. Essa abordagem foi adotada com o intuito de facilitar o trabalho de coleta, assegurando uma quantidade suficiente de solo para análises posteriores.

Figura 7: Local da coleta do solo.



Fonte:Imagens ©2023 CNES / Airbus, Maxar Technologies, Dados do mapa ©2023 50 m

Após a coleta, as amostras de solo passaram por um processo de peneiramento(Figura 9), que consiste na separação dos materiais indesejados

presentes no solo, como pedras, raízes e também desmanchar algumas torres para obter uma amostra mais homogênea e representativa. Essa etapa de peneiramento permite eliminar impurezas que poderiam interferir nos resultados das análises do solo.

Figura 8 : Peneira comum



Fonte: Pesquisador

Figura 9: Peneiramento



Fonte: Pesquisador

Em seguida, as amostras de solo foram submetidas ao processo de secagem, no qual foram expostas a condições controladas de temperatura e umidade, a fim de remover a água presente no solo. A secagem é um passo essencial, pois a umidade do solo pode afetar as propriedades físicas e químicas do mesmo, influenciando nos resultados das análises.

Após a secagem das amostras de solo, elas foram armazenadas em um tonel com uma vedação adequada para evitar a absorção de umidade do ar, como demonstrado na figura 10. Essa etapa de armazenamento é crucial para preservar as propriedades do solo e garantir a integridade das amostras durante o processo de análise.

Figura 10: Tonel usado para guardar o solo peneirado



Fonte: Pesquisador

3.2 Análise granulométrica

Com isso começamos a caracterização do solo pela granulometria, a distribuição granulométrica identifica os diâmetros dos grãos existentes no solo, representando-a em uma curva: a curva granulométrica.

Não seguimos com a norma da ABNT 7181 que diz dos ensaios de granulometria para solos por conta da falta de infraestrutura no campus. Então utilizamos a NM 248:2001 que é a norma de agregados para representar uma curva(Gráfico 1).

AMN - Associação MERCOSUL de normalização tem como objetivo promover e adotar ações para a harmonização e a elaboração das normas no âmbito no mercado comum do sul (MERCOSUL), e é integrada pelos organismos nacionais de organização dos países membros.

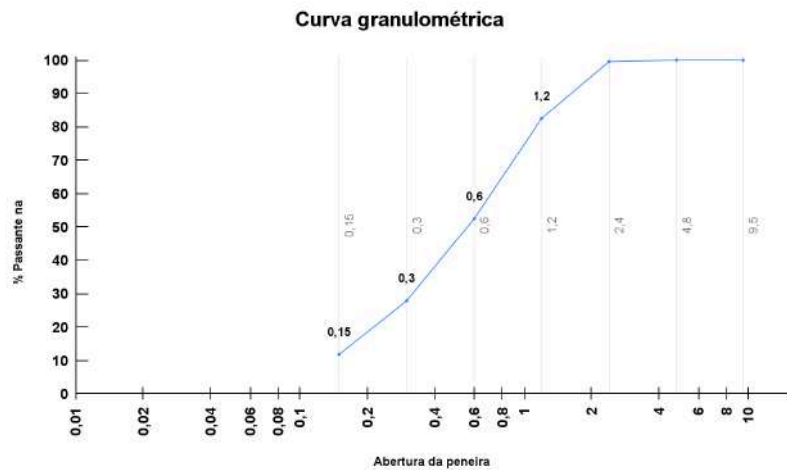
Utilizamos as peneiras da série normal com 1 kg de amostra, assim como a norma NBR 6457 demonstrava, passando aproximadamente 250 gr por vez no agitador mecânico para não danificar as peneiras de malhas mais finas.

Figura 11: Agitador mecânico



Fonte: Pesquisador

Gráfico 1: Curva granulométrica



Fonte: Pesquisador

Sabendo que o solo da região de palmitos possui uma alta porcentagem de argila/silte, vemos que os ensaios realizados pela norma NM 248 não foram precisos pois o solo tem muito mais finos do que realmente está mostrando, mesmo nas peneiras de malha mais finas era possível visualizar pequenos torrões de terra.

Utilizando o manual de solos da Embrapa, seguindo a metodologia proposta por Donagemma, Viana e at all (2017), foi realizado um experimento de granulometria. O objetivo foi realizar a separação das frações do solo, a fim de obter a leitura individual de cada partícula.

Figura 12: Materiais experimento granulometria



Fonte:Pesquisador

Os materiais utilizados para o experimento pelo método da Embrapa são os da imagem acima(figura 12).

O procedimento teve início com a separação de uma parcela de solo da amostra total, que foi passada em uma peneira de 2 mm. A amostra foi peneirada até atingir um montante de 40 gramas, conforme mostrado na figura 12.

Figura 63: Separação da amostra



Fonte:pesquisador

Em seguida colocamos a amostra em um recipiente de metal(Figura 13) para pipetar 20 ml de solução NaOH com a concentração de 1 Mol(Figura14)

Figura 13: Solução/Recipiente metal



Fonte:pesquisador

Figura 14: Pipetando a solução



Fonte:pesquisador

Foi feito um teste com o agitador vertical para ver se ele supria as nossas necessidades e conseguiria cumprir com o objetivo de quebrar as partículas(figura 15).

Utilizando o agitador vertical, começamos a fazer a reação química e mecânica para a quebra e individualização das partículas. Foi feita a agitação da solução durante 30 minutos para garantir a quebra total das mesmas .

Figura 15: Teste agitador



Fonte: Pesquisador

Após os 30 minutos é passada a solução em uma peneira de malha fina de 45 micrômetros para separar a areia de argila e silte, como representado na figura 16. Lavando bem o recipiente de metal, mas sempre com muito cuidado para não ultrapassar 1 litro de água utilizada no total (figura 16).

Figura 16: Passando a solução na peneira de 45 micrômetros e lavagem do recipiente para evitar perda de amostra



Fonte: Pesquisador

Depois de separar a areia da argila e do silte com a ajuda de um funil

transferir a amostra para uma proveta de um litro e medir a sua temperatura(Figura 17).

A areia que ficou na peneira de 45 micrometros foi lavada e colocada em um recipiente de massa conhecida e levada para a estufa.

Figura 17: Medição temperatura da proveta 1lt



Fonte: Pesquisador

Após medir a temperatura deve ser consultado no manual de solos para saber quanto tempo esperar para retirar 50 ml de solução da parte superior com aproximadamente 5 cm de profundidade utilizando a pipeta(Figura 18).

Figura 18: Pipetando 50 ml



Fonte: Pesquisador

Com um becker de massa conhecida(Figura 19) levar a solução para estufa(Figura 20), com isso teremos a separação aproximada da argila e silte por meio da sedimentação.Em sequência fazer a diferença das massas e com uma regra de tres encontrar a proporção de argila para 1 litro de água, o restante menos a massa de areia total será silte.

Figura 19: Tara do becker



Fonte: Pesquisador

Figura 20 : Solução na estufa para secagem



Fonte: Pesquisador

3.3 Limite de Liquidez

Utilizando os equipamentos disponíveis no laboratório do campus IFSC-São Carlos, conforme mostrado na figura 21, e seguindo as diretrizes estabelecidas na

norma NBR 6459:2016, foi realizado o ensaio de determinação do limite de liquidez do solo.

Antes de iniciar o ensaio, foi feita a conferência da aparelhagem de acordo com as especificações da norma. Além disso, a concha do aparelho de Casagrande foi ajustada utilizando um gabarito para garantir uma altura de queda de 10 mm.

Figura 21: Aparelhagem



Fonte: Pesquisador

O procedimento teve início com a pesagem de 200g do material que passou pela peneira de 420 μ m (figura 22), conforme exigido pela NBR 6457:2016 para a preparação da amostra de solo. Aproximadamente 100g desse material foram colocado em uma cápsula de porcelana e água destilada foi adicionada até obter uma mistura homogênea, como ilustrado na figura 23.



Fonte: Pesquisador



Fonte: Pesquisador

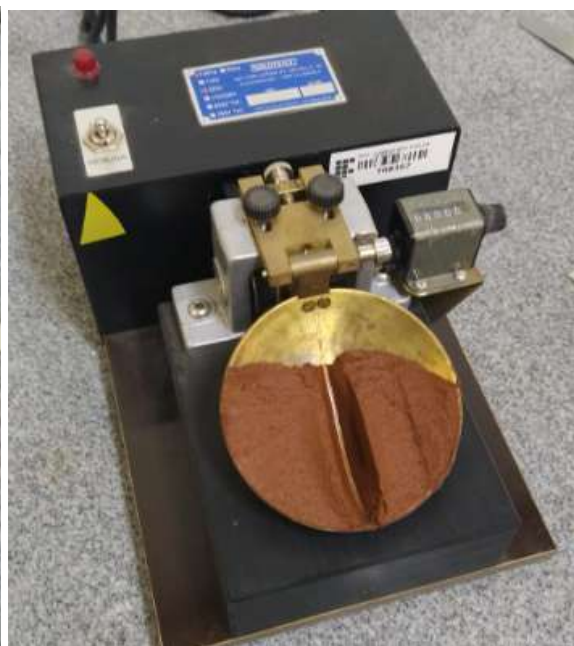
Em seguida, a mistura foi transferida para a concha do aparelho de Casagrande, preenchendo aproximadamente $2/3$ da sua capacidade, conforme mostrado na figura 24. Utilizando um cinzel, foi feito um sulco no material, dividindo-o ao meio, como representado na figura 25. A concha foi então colocada no aparelho e ligada, contando o número de golpes necessários para que as bordas inferiores do sulco se unissem (figura 25).

Figura 24: Preparo da concha



Fonte: Pesquisador

Figura 25: Aparelho Casagrande



Fonte: Pesquisador

Quando as bordas inferiores do sulco se unirem ao longo de 13mm desliga o

aparelho e coleta-se em uma cápsula (cuja massa é conhecida) o solo das bordas que se uniram, para ser levado a balança e determinar o peso do solo úmido (figura 26). O procedimento foi repetido cinco vezes, adicionando água ou solo à amostra para conseguir diferentes teores de umidade.

Figura 26: Pesagem das cápsula



Fonte: Pesquisador

Após a pesagem das cápsulas com amostras elas são abertas e levadas à estufa, para a determinação da umidade (figura 27), usando a fórmula descrita no item 2.3 Determinação do limite de liquidez.

Figura 27: Secagem na estufa



Fonte: Pesquisador

3.4 Limite de Plasticidade

No ensaio de determinação do limite de plasticidade, assim como no ensaio do limite de liquidez, foi utilizado um material passante da peneira de 420 μ m, conforme recomendado pela NBR 6457:2016. Inicialmente, colocou-se 100g desse material em uma cápsula de porcelana e adicionou-se água destilada até obter uma mistura homogênea, como ilustrado na figura 23.

A partir dessa mistura, retirou-se uma porção de 10g de solo para formar uma pequena bola. Essa bola foi colocada sobre uma placa de vidro esmerilhado e moldada no formato de um cilindro com 3mm de diâmetro e 100mm de comprimento, conforme apresentado na figura 28.

Se o solo se fragmentou antes de atingir as dimensões desejadas ou se ele não se fragmentou ao atingi-las, o material foi retornado à cápsula de porcelana para ser homogeneizado novamente. Procedeu-se somente se o solo, no formato de cilindro, tivesse se fragmentado ao atingir as dimensões específicas.

Figura 28:Ensaio limite de plasticidade



Fonte: Pesquisador

Em seguida, o material fragmentado foi transferido para uma cápsula e o conjunto foi pesado. A cápsula com o material foi então levada à estufa, como mostrado na figura 27, para determinar a umidade do solo. Conforme a orientação da NBR 7180:2016, o ensaio foi repetido no mínimo três vezes.

3.5 Método de dosagem físico-químico de solo-cimento

Foram pesadas cinco porções de 20 g do solo(figura 30) destorroadado e passado na peneira nº 10 (2 mm)(figura 29) utilizando uma balança com resolução de 0,01 g. Essas porções foram colocadas em provetas numeradas para a realização dos ensaios.

Figura 29:Peneira nº10 e destorroador



Fonte: Pesquisador

Figura 30: Pesagem amostra de solo



Fonte: Pesquisador

Depois de pesar colocamos o solo nas provetas e determinamos as porcentagens de cimento de cada proveta, começando pelo 0% para basear os resultados obtidos e pulando para 9%, 12%,15% e 18% (figura 31).

Pulamos para 9% pois os valores de 3% e 6% já haviam sido realizados anteriormente. Usamos uma variação de 3 % para cada proveta, assim como está prescrito na norma. Diz que deve ser usado 1 a 3 % de variação em cada proveta sendo maior o valor para solos argilosos, que é o caso estudado no artigo.

Figura 31 : Provetas com as porcentagem de cimento



Fonte:Pesquisador

Após adicionar o solo em cada proveta e determinar as porcentagens de cimento, foi realizada a pesagem dos respectivos valores de cimento. Foi utilizado cimento CP-V para essa etapa.(Figura 32)

Figura 32: Pesagem cimento



Fonte:Pesquisador

O cimento foi adicionado às provetas e agitado a seco para misturá-lo com o solo. Em seguida, foi acrescentado 50 ml de água e a mistura foi realizada com o auxílio de um baquelite. Foi importante garantir uma mistura homogênea.

Após seguir todas as etapas anteriores, as provetas foram preenchidas até a marca de 100 ml, garantindo uma boa lavagem das bordas para evitar perdas de material(Figura 33).

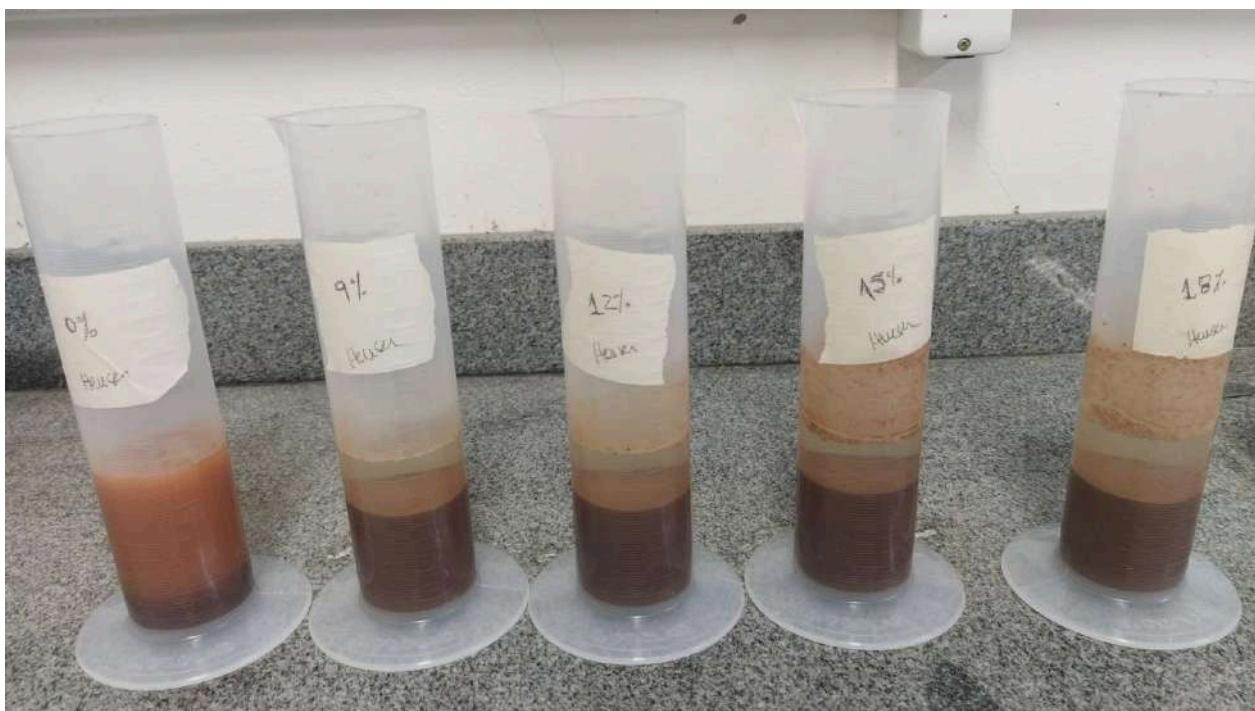
Figura 33: Provetas em repouso.



Fonte: Pesquisador

As provetas foram mantidas em repouso por no mínimo 24 horas. Após esse período, utilizando um baquelite, a solução foi misturada novamente até ficar homogênea. Em seguida, após 2 horas, foi realizada a leitura do ensaio. Esse processo foi repetido durante 3 dias, e até obter uma leitura constante ou decrescente ao longo de 2 dias (Figura 34).

Figura 34: Mistura após 24h



Fonte: Pesquisador

3.6 BTC (Bloco de terra comprimida)

Para os primeiros testes de traço e aprendizado do uso da prensa, realizamos duas misturas utilizando diferentes tipos de areia, combinando-as em uma proporção de 50% de areia e 50% de solo. Para isso, utilizamos a terra que havia sido preparada e depositada em um tonel, separando 5 kg de areia e 5 kg de solo.

Figura 35: Materiais



Fonte: Pesquisador

Figura 36: Pesagem solo/areia



Fonte: Pesquisador

Essa proporção foi escolhida com base nos testes de granulometria, nos quais separamos a areia do silte e da argila. Percebemos que uma mistura próxima a 50/50 seria ideal, levando em consideração que a adição excessiva de areia poderia comprometer significativamente a resistência mecânica e tornar o tijolo muito poroso e esfarelento.

No primeiro traço, adicionamos 10% de cimento, o que resultou em 1 kg de cimento. Misturamos o cimento em uma bandeja de metal antes de adicionar água.

Figura 37: Mistura dos materiais



Fonte: Pesquisador

Figura 38: Materiais para a mistura



Fonte: Pesquisador

Originalmente, tínhamos a intenção de adicionar 10% de água, mas a quantidade de água foi determinada visualmente, utilizando o método do aperto manual e observando. Nas duas tentativas realizadas, não utilizamos toda a quantidade previamente separada dos 10% de água(Figura 39).

Figura 39: Teste do aperto.



Fonte: Pesquisador

Após passar no teste e com a mistura próxima da umidade ótima levamos a terra para a prensa(Figura 40).

Figura 40: Materiais para a mistura



Fonte: Pesquisador

Nas primeiras tentativas, os tijolos se desmancham ao serem removidos da forma, o que nos levou a aumentar a pressão da prensa. Ao prensar novamente a mistura, obtivemos os primeiros tijolos de terra comprimida (BTC),apresentados nas figuras abaixo.

Figura 41: Blocos traço AF teste



Fonte: Pesquisador

Figura 42: Blocos traço AG teste



Fonte: Pesquisador

Figura 43: Blocos traço AG teste1



Fonte: Pesquisador

Figura 44: Detalhe, defeitos bloco



Fonte: Pesquisador

No entanto, esses tijolos apresentaram deformidades, muitas das quais foram causadas pela aderência à forma. Esse problema pode ter ocorrido devido à alta porcentagem de silte e argila no solo. Para corrigir isso, ajustamos o traço e utilizamos uma mistura com 45% de solo e 55% de areia.

Repetimos as etapas de separação e mistura realizadas no traço anterior. Dessa vez, após prensar a mistura, obtivemos tijolos com uma aparência perfeita, sem dificuldades para removê-los das formas(Figuras 45 e 46).

Figura 45: Tijolo na prensa traço AF



Fonte: Pesquisador

Figura 46: Tijolo na prensa traço AG



Fonte: Pesquisador

Após definirmos a proporção de 45% de solo e 55% de areia, começamos a produzir os primeiros corpos de prova. Como precisávamos produzir pelo menos 10 tijolos de terra comprimida (BTC), decidimos utilizar uma betoneira para auxiliar na mistura(Figura 46), devido à maior quantidade de materiais necessários. Tomamos cuidado redobrado na quantidade de água, utilizando o mesmo método de teste para determinar a quantidade adequada.

Figura 64: Betoneira para mistura



Fonte: Pesquisador

Seguimos as mesmas etapas anteriores onde acrescentamos primeiro a areia, em seguida o solo e o cimento, esperamos até obter uma aparência homogênea para aí então começar a acrescentar a água.

No entanto, os primeiros 3 blocos para ambos os traços, que utilizaram areias diferentes antes do ajuste da prensa, se quebraram ao serem removidos das formas, esses tijolos foram recolhidos e colocados novamente na betoneira para serem remisturados.

Após realizarmos os ajustes necessários, iniciamos a produção dos tijolos de terra comprimida (BTC). Conseguimos produzir 12 tijolos utilizando a quantidade de material estabelecida para o traço com a areia fina, conforme ilustrado na figura. No entanto, ao utilizar a areia mais grossa, obtivemos apenas 11 tijolos.(Figura 47. traço areia fina)

Figura 47: Blocos traço AF



Fonte: Pesquisador

Deixamos eles para curar a sombra para evitar de perder umidade muito rápido, o que pode ocasionar trincas no tijolo.

Essas etapas e ajustes foram essenciais para melhorar o processo de produção dos tijolos de terra comprimida. Com os traços apropriados e os cuidados necessários na mistura e na cura, obtivemos tijolos mais consistentes e com menos deformidades, o que contribui para a qualidade final do produto.

3.6.1 Ensaio dimensional

No ensaio dimensional, seguindo as diretrizes da norma NBR 8492:2012, foram realizadas medições das dimensões dos tijolos em três posições diferentes (Figura 48). Essas medições foram feitas com uma precisão de $\pm 0,5$ milímetro (mm), respeitando a tolerância máxima de fabricação de 1 mm para cada uma das três dimensões, de acordo com a norma NBR 8491:2012.

Figura 48: Blocos teste dimensional



Fonte: Pesquisador

3.6.2 Ensaio de absorção

No ensaio de absorção, seguindo a NBR 8492:2012, após o tempo mínimo de cura de 7 dias, os tijolos foram colocados em uma bandeja cuja massa é conhecida, conforme mostrado nas figuras, então levado na estufa até atingirem a constância de massa.

Figura 49: Blocos teste absorção

Figura 50: Blocos teste absorção 1



Fonte: Pesquisador



Fonte: Pesquisador

Após eles terem atingido constância de massa tirarmos da estufa para obter o peso do corpo de prova seco, esperamos eles atingirem a temperatura ambiente para aí imergimos os corpos de prova em um tanque durante 24 H (Figura 51)

Figura 51: Corpos de prova imergidos na água



Fonte: Pesquisador

Após retirarmos os corpos de prova do tanque de imersão, pesamos para obter o valor de massa saturada M2.

3.6.3 Ensaio de compressão

Seguindo as orientações da norma NBR 8492:2012 para o ensaio de compressão simples. Começamos removendo uma das abas do tijolo(Figura 52)para acelerar o processo, logo depois levando para cortar cortando o tijolo ao meio perpendicularmente à sua maior dimensão(Figura 53 e 54).

Figura 52: Corpos de prova imergidos na água



Fonte: Pesquisador

Figura 53: Cortando os corpos



Fonte: Pesquisador

Figura 54: Corpos de prova cortados



Fonte: Pesquisador

Identificamos as duas metades dos tijolos para não haver erro na hora de

fazer a ligação das duas partes do tijolos(Figura 55). Em seguida, preparamos uma pasta de cimento para realizar a ligação entre as metades cortadas e também para fazer o capeamento(Figura 56), deixando as faces de trabalho planas e paralelas para garantir um perfeito contato entre as superfícies.

Figura 55: Corpos de prova identificados



Fonte: Pesquisador

Figura 56: Pasta de cimento



Fonte: Pesquisador

As duas metades cortadas são sobrepostas, encaixadas e conectadas com a pasta de cimento pré-contraída, com uma espessura de 2 mm a 3 mm. Também utilizamos a pasta para fazer o capeamento e o preenchimento de reentrâncias, assim como aconselha a NBR 8492:2012, conforme ilustrado nas figuras.

Figura 57: Capeamento



Fonte: Pesquisador

Figura 58: Capeamento pronto



Fonte: Pesquisador

Então após isso esperamos o endurecimento da pasta de cimento, antes de levar o corpo de prova para a prensa mecânica devemos deixar o corpo submerso em um tanque por no mínimo 6h, como ilustrado na imagem a seguir.

Figura 59: Corpos de prova submerso para o rompimento



Fonte: Pesquisador

Em sequência depois de retirar o corpo de prova do tanque devemos passar um pano levemente umedecido para enxugar o corpo de prova superficialmente e levá-lo à prensa, essa operação deve ser realizada em no máximo 3 minutos(Figura 60).

Figura 60: Corpos de prova na prensa



Fonte: Pesquisador

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados e discussões foram divididos conforme cada etapa apresentada em metodologia, para auxiliar a produção do bloco de terra comprimido, objetivo principal deste estudo.

As informações obtidas nos experimentos são importantes para compreender o comportamento do solo durante o processo de fabricação dos blocos e auxiliar na escolha das proporções adequadas dos materiais utilizados.

4.1 Análise granulométrica

Esses resultados indicam a distribuição granulométrica da amostra de solo. A presença de areia, argila e silte influencia nas propriedades do solo, como a sua plasticidade, resistência e capacidade de compactação.

Na tabela 3 foram representados os dados obtidos através do teste de granulometria.

Tabela 3: Resultados análise granulométrica

Massa inicial	40 g	Umidade 8,13%
Massa	36,9925 g	
Areia	2,59 g	7%
Silte	26,3445 g	71,2%
Argila	8,058 g	21,8%

Fonte: Pesquisador

Como nossa massa inicial da amostra foi de 40 g, a redução da umidade resultou em uma amostra total de 36,9925 g

Após a secagem, a massa da areia foi determinada como 2,59 g, representando 7% da massa total. A areia foi obtida a partir da lavagem e secagem em estufa do material ficante na peneira de 45 micrometros (Figura 61).

Figura 61: Material ficante peneira 45 micrometros



Fonte: Pesquisador

Em seguida, a fração de argila foi obtida através da secagem do material passante da peneira de 45 micrômetros. Para isso, 50 mL do material foram pipetados e transferidos para um Becker de 250 mL da proveta de 1 litro. A massa encontrada para os 50 mL de argila foi de 0,4029 g (Figura 62). Utilizando uma regra de três, determinou-se a quantidade de argila em 1 litro, obtendo-se o valor de 8,058 g.

Figura 62: Material pipetado



Fonte: Pesquisador

Assim, a fração de argila representa 21,8% da massa total.

Para determinar a fração de silte, foram descontadas as massas da areia e da argila da massa total. Portanto, o valor restante corresponde ao silte. Nesse caso, a quantidade de silte encontrada foi de 26,3445 g, valor equivalente a 71,2 %.

4.2 Limite de Liquidez

Os resultados obtidos pelos testes realizados seguindo as prescrições normativas(NBR 6459:2016) para o limite de liquidez foram os representados na tabela a seguir:

Tabela 4: Resultados limites de liquidez

Teor de umidade	Número de golpes	Massa da cápsula(g)	Umidade m1(g)	24H m2 (g)	2H m3 (g)
48,55	28	13,09	20,8	18,3	18,28
48,83	23	12,87	18,57	16,7	16,7
51,22	16	13,1	19,3	17,2	17,2
53,18	35	12,61	22	18,74	18,74
53,01	25	12,41	20,03	17,39	17,39

Fonte: Pesquisador

Com esses resultados e utilizando a fórmula já demonstrada no presente trabalho no item 2.3 Determinação do limite de liquidez, diz que o limite de liquidez é o teor de umidade relacionado a 25 golpes e para encontrá-lo muitas vezes é necessário a construção de um gráfico, mas como no ensaio um dos pontos é o de 25 golpes não precisamos da plotagem do gráfico. O limite de liquidez é de 53,01 (LL=53,01%).

4.3 Limite de Plasticidade

Os resultados obtidos pelos testes realizados seguindo as prescrições normativas(NBR 7180) para o limite de plasticidade foram os representados na

tabela a seguir:

Tabela 5: Resultados limites de plasticidade

	Teor de umidade	Massa da cápsula(g)	Umidade m1(g)	24H m2(g)	2H m3 (g)
	29,73	12,92	13,88	13,67	13,66
	31,19	13,21	14,64	14,3	14,3
	29,27	12,8	14,39	14,03	14,03
Média	30,06				

Fonte: Pesquisador

Com esses resultados utilizando as prescrições descritas no item 2.4 Determinação do limite de plasticidade, que diz que o LP-Limite de plasticidade é a média dos valores encontrados não podendo divergir mais de 5% temos LP=30,06%.

Com os resultados encontrados até aqui podemos achar o índice de plasticidade, com a fórmula $IP = LL - LP$, temos os resultados da tabela abaixo:

Tabela 6: Índice de plasticidade

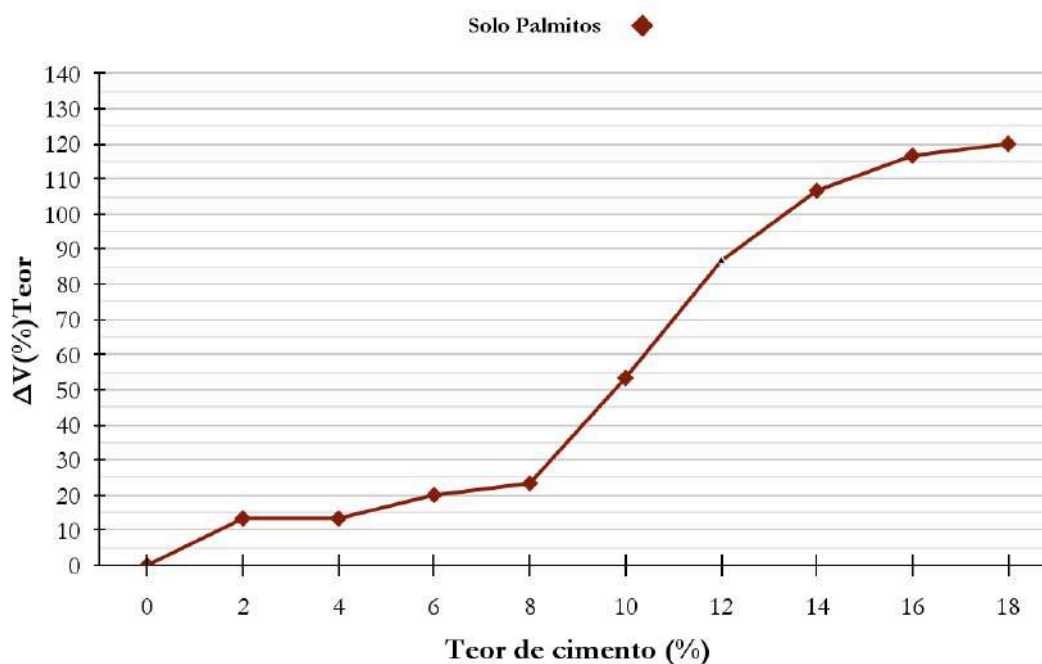
IP=	23
LL=	53
LP=	30

Fonte: Pesquisador

4.4 Método de dosagem físico-químico de solo-cimento

No âmbito da pesquisa, no gráfico 2, foram apresentados os resultados referentes ao teor mínimo de cimento necessário para promover a completa estabilização físico-química do solo investigado.

Gráfico 2: Teor mínimo de cimento



Fonte: Pesquisador

Os ensaios realizados revelaram que o solo requer uma quantidade próxima a 18% de cimento para alcançar sua estabilização total. No entanto, com o objetivo de otimizar a relação custo-benefício na produção dos tijolos, foi adotado um percentual padrão de 10% de adição de cimento em todas as misturas avaliadas.

Essa decisão foi tomada levando em consideração a necessidade de encontrar um equilíbrio entre a eficiência da estabilização e o impacto financeiro associado ao processo. Assim, embora o teor mínimo de 18% de cimento fosse indicado pelos ensaios, optou-se por uma abordagem mais econômica, mantendo um percentual fixo de 10% de cimento em todas as combinações testadas.

4.5 Ensaios do BTC (Bloco de terra comprimida)

4.5.1 Ensaio dimensional

A NBR 8491:2012 estabelece que os tijolos possam ser fabricados observando-se as dimensões do tijolo tipo I (20 x 10 x 5 centímetros (cm)) ou do tipo II (24 x 12 x 7 cm), com tolerância máxima de 1 mm em cada aresta, visando garantir o padrão necessário para a estabilidade da construção (Tabela 7).

Tabela 7: Dimensões segundo a norma 8491:2012

Tipo	Comprimento	Largura	Altura
A	200	100	50
B	240	120	70

Fonte: Pesquisador

Mas a NBR 8491:2012 fala que os tijolos podem apresentar diâmetros diferentes, desde que o tijolo mantenha sua altura menor que sua largura.

A forma utilizada para fazer o tijolo buscava as dimensões de 25 x 12,5 x 70 cm, essa dimensão que é padronizada já por outras empresas de Santa Catarina.

As medições realizadas conforme a norma 8492:2012 prescreve, nas amostras coletadas indicaram que os tijolos estão dentro das conformidades de acordo com a NBR 8491:2012. Identificou-se que as dimensões médias eram 24,96 x 12,48 x 6,98 cm para a amostra com a areia grossa e 24,96 x 12,46 x 6,96 cm para a areia fina (Tabela 8).

Tabela 8: Dimensões dos tijolos da amostra

Tipo	Amostra	L(média)	b(média)	A(média)
AG	1	249,7	124,9	70,0
AG	2	249,7	124,6	69,8
AG	3	249,9	125,0	69,8
AG	4	249,8	124,8	69,7
AG	5	249,8	125,0	69,9
AG	6	249,7	124,8	69,7
AG	7	249,7	124,6	69,9
AG	8	249,6	124,8	69,7
AG	9	249,6	124,9	69,6
AG	10	249,7	124,6	69,9
Média		249,72	124,81	69,81

AF	1	249,7	124,6	69,7
AF	2	249,6	124,7	69,8
AF	3	249,6	124,7	69,6
AF	4	249,6	124,9	69,7
AF	5	249,6	124,7	69,7
AF	6	249,7	124,7	69,1
AF	7	249,6	124,6	69,8
AF	8	249,5	124,6	69,6
AF	9	249,5	124,5	69,6
AF	10	249,6	124,7	69,8
Média		249,61	124,67	69,63

Fonte: Pesquisador

4.5.2 Ensaio de absorção

Os resultados foram alcançados utilizando a norma 8492:2012 que fala do passo a passo de como fazer o teste de absorção, os mesmos foram representados na tabela 9 abaixo.

Já a norma 8491:2012 diz que não podemos ter a média dos valores apresentados maior que 20 % e nem um valor individual pode ultrapassar os 22 %.

Tabela 9: Resultado teste de absorção

Identificação	Massa seca	Massa saturada	% Absorção	Média % Absor
AF-1	2767,5	3282,7	18,62	
AF-2	2756,6	3307,1	19,97	18,90
AF-3	2827,4	3339,8	18,12	
AG-8	2872,6	3374,9	17,49	
AG-9	2880,3	3428,3	19,03	18,50
AG-10	2844,8	3385,1	18,99	

Fonte: Pesquisador

Como já demonstrado na Tabela 9, os resultados obtidos para cada traço utilizando a norma 8492:2012 mostram que a média dos valores de absorção é inferior a 20%, e nenhum valor individual ultrapassa os 22%. Esses resultados estão em conformidade com as diretrizes estabelecidas na norma 8491:2012. Portanto, podemos concluir que o teste de absorção foi bem-sucedido e atende aos requisitos especificados.

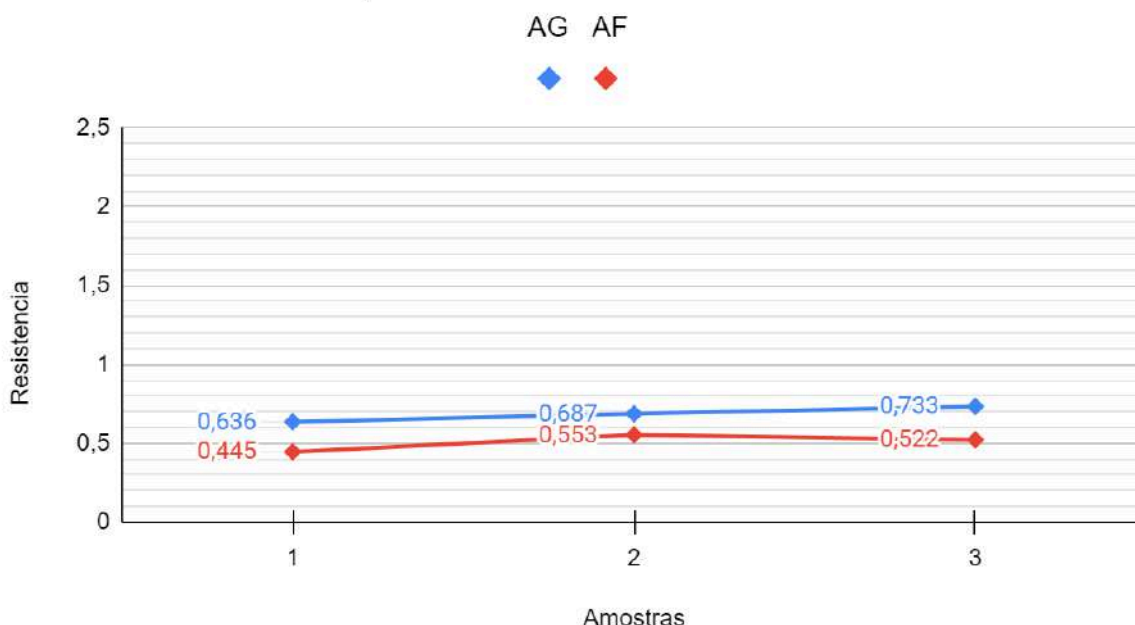
4.5.3 Ensaio de compressão

Os valores individuais de resistência à compressão, expressos em MPa, foram obtidos dividindo-se a carga máxima (em quilograma-força), observada durante o ensaio, pela área do tijolo ecológico sem descontar o furo e as reentrâncias, assim como prescrito na norma regente NBR 8492:2012. Os valores obtidos no ensaio estão representados no gráfico abaixo(Gráfico 3).

Como os resultados estavam muito abaixo do esperado decidimos então romper apenas 3 corpos de prova de cada traço, rompendo eles com idade de 12 dias, a idade mínima exigida pela norma NBR 8491:2012 é de 7 dias. Deixando 4 corpos de prova para romper aos 28 dias, dia 12/07/2023 para ver se há alguma melhora em relação a resistência dos tijolos.

Gráfico 3: Resistência à compressão

Resistencia a compressão encontrada



Fonte: Pesquisador

A análise dos resultados obtidos identificou uma tendência ao não atendimento das exigências da NBR 8491:2012. Segundo a norma, a resistência à compressão para tijolos de solo-cimento não deve ser inferior a 2,0 MPa para valores médios e 1,7 MPa para valores individuais. Os resultados encontrados para a resistência média foram de aproximadamente 0,685 MPa para o traço AG e 0,507 MPa para o traço AF, mostrando-se totalmente inadequado.

A qualidade das matérias-primas empregadas bem como as quantidades são fundamentais para alcançar os requisitos técnicos exigidos, principalmente a resistência mecânica. Os solos mais apropriados para serem utilizados nas misturas de solo-cimento são aqueles de constituição, predominantemente, arenosa (ABCP, 1985; ABCP, 1989).

Pissato e Soares (2006) adicionaram finos de pedreira ao solo superficial com o intuito de corrigir, granulometricamente a mistura e melhorar as características do solo argiloso e, assim preparar o solo-cimento de forma, economicamente viável, utilizando menores quantidades de cimento para estabilização, como proposta da Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (1985). Concluíram ainda que a quantidade acrescentada de finos de pedreira levou a um aumento proporcional na resistência da mistura de solo-cimento, apontando que quanto maior for a quantia de

finos, menor será o teor de cimento necessário para a estabilização, demonstrando que a utilização dos finos de pedreira na adição ao solo-cimento é uma alternativa viável e pode permitir a sua aplicação em locais com solos predominantemente argilosos.

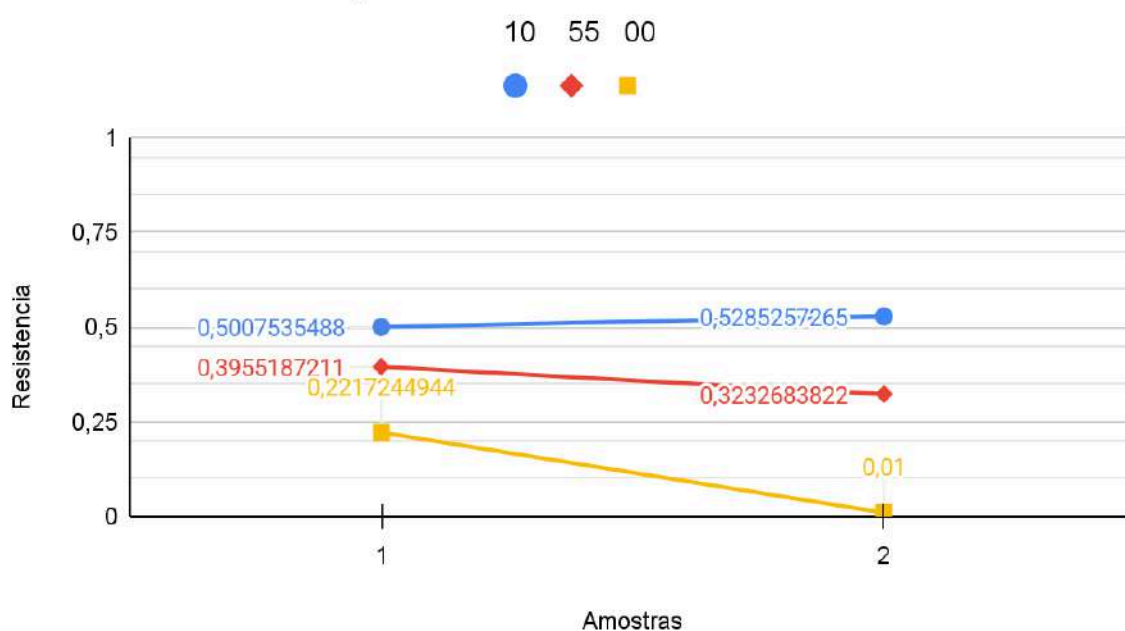
De acordo com Cristelo (2001), a estabilização de solos com cal produz melhorias significativas na textura e estrutura do solo, reduzindo a plasticidade e originando aumentos na resistência mecânica. Por outro lado, o aumento de resistência desenvolvido na mistura solo-cal está diretamente associado à redução substancial do seu potencial de deformação.

5.1 Novos testes feito a partir de julho 2023

Foi feito um novo teste para a verificação das exigência da norma regente, foi mantido um traço 10 % de cimento para 55% areia e 45% solo (círculo em azul no gráfico)(Gráfico 4), 5% cal e 5 % cimento para 55% areia e 45% solo (traço em vermelho no gráfico)(Gráfico 4) e feito um traço de 55 % solo e 45 % areia (traço em amarelo no gráfico) (Gráfico 4).

Gráfico 4: Resistência à compressão, Novos testes

Resistencia a compressão encontrada

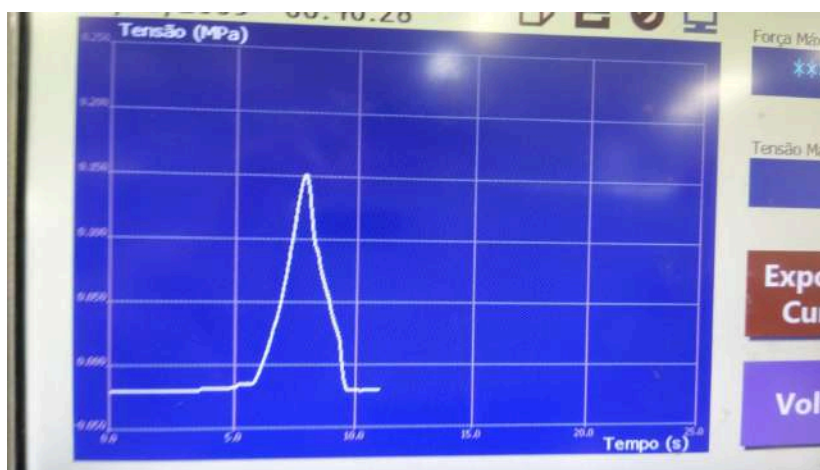


Fonte: Pesquisador

Para a construção do gráfico foi usado os maiores valores obtidos para o rompimento de 3 amostras em 28 dias e 4 amostras(amostras que foram feitas a partir das normas regulamentadoras já demonstradas no documento) em 91 dias tempo então esperado para ver se o solo argiloso/siltoso fizesse a reação química com a cal, processo que demanda um tempo um pouco maior e pode então ocorrer em até 91 dias como observado em pesquisas (LOPES JUNIOR 2007, 2011; DALLA ROSA, 2009; SILVANI, 2013, 2017) onde relatam que para períodos de cura elevados o aumento do teor de cal aumenta a resistência à compressão não confinada linearmente.

Análise dos resultados obtidos identificou uma tendência ao não atendimento das exigências da NBR 8491:2012. Esses que possivelmente houve algum problema no capeamento ou na prensagem dos tijolos, visto que a resistência ao longo do tempo, no traço da cal perdeu resistência. O traço com 55 % de solo também aos 91 dias não foi possível prensar um dos tijolos, e os que conseguimos prensar demonstraram resultados quase nulos, tensão que chegou a 0.15 MPa.Como demonstrado na figura a seguir:

Figura 65: Gráfico de Tensão



Fonte: Pesquisador

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados dos ensaios preliminares, ficou evidente que os tijolos ecológicos avaliados não atendem aos requisitos de qualidade estabelecidos pela norma NBR 8491:2012. A resistência obtida nos primeiros corpos de prova rompidos foi baixa e mesmo os corpos de prova que serão rompidos aos 28 dias de idade não alcançarão a resistência necessária de acordo com a norma(Os corpos rompidos aos 28 dias alcançaram uma resistência de 1,3 Mpa). Portanto, é necessário revisar as proporções dos materiais e investigar possíveis melhorias ou aditivos que possam aumentar a resistência dos tijolos.

Deve ser investigado também a prensa utilizada para a fabricação dos tijolos visto que sempre que nos utilizamos, tínhamos que ficar mudando a pressão que ela exercia para conseguir fazer a prensagem ou para desmoldar os tijolos, isso podendo gerar uma falta de constância nos corpos de prova e também tendo uma perda de resistência quando não prensado com a máxima tensão, podendo deixar micro-vazios nos tijolos.

Além disso, o teste do mínimo teor de cimento para a máxima estabilização revelou que é necessário utilizar pelo menos 18% de cimento para alcançar a estabilização máxima do solo palmitense(esse que por meio de pesquisas estudadas podem ser corrigidos com a adição de finos de pedreira como mostrado nos estudos futuros). No entanto, essa quantidade pode encarecer significativamente os tijolos, o que nos leva a considerar a viabilidade de traços com uma maior porcentagem de cimento.

A demanda por produtos sustentáveis cresce constantemente, seja por pressão da sociedade, que cada vez mais se torna mais consciente, seja por exigências da legislação ou pela necessidade de inovações que possam solucionar os problemas relacionados à escassez de recursos. A utilização de tijolos ecológicos reforça este conceito, no entanto, há a necessidade de controles de qualidade que possam garantir a confiabilidade destes produtos, assim devem ser observadas medidas rigorosas na especificação, normalização e utilização daqueles materiais, oportunizando as mais diversas utilizações na construção civil com a segurança necessária para a população.

5.2 Estudos futuros

Para estudos futuros, é recomendado explorar as possíveis melhorias que a adição de cal e finos de pedreira podem trazer aos blocos de terra comprimida. Vários autores relatam exemplos em que esses materiais foram utilizados com sucesso para melhorar as propriedades dos tijolos ecológicos.

A adição de cal ao solo pode auxiliar na estabilização, uma vez que a cal reage com componentes argilosos presentes no solo, promovendo a formação de compostos químicos que aumentam a resistência e a durabilidade dos tijolos. Além disso, a cal também pode contribuir para reduzir a retração e melhorar a trabalhabilidade do material durante a produção dos tijolos.

Já os finos de pedreira, quando adicionados à mistura de solo, podem aumentar a coesão e melhorar as propriedades mecânicas dos tijolos. Esses finos são geralmente compostos por partículas menores, como areia fina e silte, e sua inclusão pode preencher os vazios entre as partículas maiores de solo, aumentando assim a densidade e a resistência do material final.

Portanto, estudos futuros devem ser realizados para avaliar a viabilidade e os benefícios da adição de cal e finos de pedreira aos tijolos ecológicos. Essas melhorias podem ajudar a alcançar os requisitos de qualidade necessários, ao mesmo tempo em que proporcionam maior resistência e durabilidade aos tijolos, tornando-os mais adequados para uso na construção civil sustentável.

REFERÊNCIAS

AMARAL SOARES, Marília. Ensaio para a caracterização de solos com diferentes graus de intemperismo. Julho de 2017. Disponível em: https://www.puc-rio.br/ensinopesq/ccpg/pibic/relatorio_resumo2017/relatorios_pdf/ctc/CIV/CIV-Mar%C3%ADlia%20do%20Amaral%20Soares.pdf. Acesso em 01 dez. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10833: FABRICAÇÃO DE TIJOLOS E BLOCOS DE SOLO-CIMENTO COM A UTILIZAÇÃO DE PRENSA MANUAL OU HIDRÁULICA - PROCEDIMENTOS. 12/2012 - Publicada nova edição. Acesso em: 04 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10834: BLOCO DE SOLO-CIMENTO SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL — REQUISITOS. 12/2012 - Publicada nova edição. Acesso em: 04 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: AMOSTRAS DE SOLO — PREPARAÇÃO PARA ENSAIOS DE COMPACTAÇÃO E ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO. 07/2016 - Publicada nova edição. Acesso em: 04 nov. 2022.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. NM 248: AGREGADOS - DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA. 4/2001. Acesso em 01 dez. 2022.

CALDAS, L. R.; TOLEDO FILHO, R. D. Avaliação ambiental do sistema construtivo de alvenaria de blocos de solo-cimento considerando diferentes especificações de projeto. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 149-172, 2021. DOI: 10.11606/gtp.v16i2.161978. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/161978>. Acesso em: 20 nov. 2022.

DA INFRAESTRUTURA, M.; DE PLANEJAMENTO, D.; PESQUISA, E. Pavimentação – Solo-Cimento – Dosagem físico- química de solo-cimento – Método de ensaio. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/metodo-de-ensaio-me/dnit_414_2019_me-2.pdf>.

Acesso em: 01 jun. 2023.

EUPHROSINO, C. A.; JACINTHO, A. E. P. G. A.; PIMENTEL, L. L., et al. Revista Matéria, v.27, n.1, 2022. Tijolos de solo-cimento usados para Habitação de Interesse Social (HIS) em mutirão: estudo de caso em olaria comunitária. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/D8XXF4S3Wt8DYr8kkFrmHr/?format=pdf&lang=pt>.

Acesso em 20 nov 2022.

FERRARI, Juliano Ferrari. As barreiras de entrada de uma inovação sustentável no setor da construção civil de Caxias do Sul: Um ensaio exploratório sobre o bloco de concreto fabricado com areia descartada de fundição. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/149280/001004909.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 20 nov. 2022.

LIBRELOTTO, Lisiane Ilha; FERROLI, Paulo Cesar Machado. Alvenaria de bloco de solo-cimento. UFSC. Última atualização do site foi em 13 de abril 2023. Acessado em:

<https://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/alvenaria-de-bloco-de-solo-cimento/#:~:text=Para%20a%20produ%C3%A7%C3%A3o%20dos%20blocos,compromete%20a%20resist%C3%A2ncia%20dos%20blocos>.

OLIVEIRA, Claudio. A construção modular com blocos de concreto. 04 Fev, 2022. Disponível em: <https://digital.concreteshow.com.br/produtos/construo-modular-com-blocos-de-concreto>. Acessado em 04 nov 2022.

OLIVEIRA, Diego Nogueira. Análise da viabilidade do tijolo ecológico de solo-cimento na construção civil: uma revisão de literatura. Disponível em: <https://monografias.brasilecola.uol.com.br/engenharia/analise-da-viabilidade-do-tijolo-ecologico-de-solo-cimento-na-construcao-civil-uma-revisao-de-literatura.htm#indic>e_10. Acesso em: 04 nov. 2022.

ROCHA, Gisele Souza, Efeito da cal na resposta mecânica de um solo residual maduro: análise da resistência à compressão não confinada, permeabilidade, compressibilidade e efeito da cura acelerada na resistência mecânica. Viçosa, MG, 2018. acesso em 30 out 2023

ROSSE CALDAS, L.; TOLEDO FILHO, R. D. Avaliação ambiental do sistema construtivo de alvenaria de blocos de solo-cimento considerando diferentes especificações de projeto. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 149-172, 2021. DOI: 10.11606/gtp.v16i2.161978. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/161978>. Acesso em: 20 nov. 2022.

SOUSA, Thiago Augusto Corrêa; NUNES, Grécia Aparecida; SOARES, Juzelma Marinho; QUEIROZ, Marluce Teixeira Andrade. Análise preliminar da resistência à compressão de tijolos ecológicos fabricados no município de Ipaba. *IJIE – Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, Florianópolis, SC, v. 3, n. 1, p. 48-61, julho, 2011. Artigo recebido em 01/06/2011 e aceito para publicação em 05/07/2011. Disponível em: <https://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/issue/view/315>.

TEIXEIRA, Paulo César; DONAGEMMA, Guilherme Kangussu; FONTANA, Ademir; TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes (Editores Técnicos). Manual de Métodos de Análise de Solo. EMBRAPA. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acesso em 15 mai 2023. – Brasília, DF: Embrapa, 2017, 574p.

WEBER, Eduardo; CAMPOS, Roger Francisco Ferreira de; BORGA, Tiago. Análise da Eficiência do Tijolo Ecológico Solo-Cimento na Construção Civil. *Ignis*, Caçador, v. 6, n. 2, p. 18-34, maio/ago. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reeducacao/issue/view/1232>. Acesso em 15 mai 2023.

