

Arlen Lizeth Gutiérrez Zúniga

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo  
e bagaço de cana-de-açúcar para blocos construtivos



**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia  
Departamento de Engenharia Civil

Arlen Lizeth Gutiérrez Zúniga

**Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e  
bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos**

Mestrado Construção e Reabilitação Sustentáveis

Trabalho realizado sob a orientação da  
**Professora Doutora Rute Maria Gonçalves Eires**

Dezembro 2022

## DIREITOS DE AUTOR

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



**Atribuição-NãoComercial-SemDerivações**

**CC BY-NC-ND**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## AGRADECIMENTOS

Ao meu Senhor que abriu as portas.

À minha mãe, Lizeth Zúniga, a minha mão segura que me dá encorajamento para os meus sonhos.

À minha mãe Esperança e ao meu pai Victor, os meus exemplos de autoaperfeiçoamento.

Aos meus irmãos, cunhadas, sobrinhas e sobrinhos, que me incluem em suas famílias. À minha família em Portugal Jorge, Anita, Yeneisy, Pamela, Nathalia, Xochilth, Adriana, Norma obrigada!

Aos meus amigos da Nicarágua e de Portugal que me acompanharam nesta aventura, obrigada pelo vosso encorajamento nos momentos mais difíceis, Keyla Calero, Rosa Lugo, Samuel Gutiérrez, Lesbia Ocampo, Marvin Zepeda, Sedis Castellón, Juan Diaz e Giovanna Vega.

Aos meus professores, da minha formação anterior na Nicarágua, que continuam a orientar-me e a encorajar-me no meu processo de formação; Arq. Maria Auxiliadora Reyes, Arq. Roberto Solis, Msc. Martha Navas, Msc. Mario Caldera, Lic. Sérgio Santamaria, Msc. Lizeth Zuniga e Msc. Yasser Gutiérrez.

À grupo de professores reformados da Universidade Nacional de Engenharia.

À superintendente de Cultivos do Engenho de Açúcar Montelimar eng. Leonidas Manuel Natareno Ranero, à eng. José Miguel Urbina e Arq. Edwin Carballo.

À Prof. Dr<sup>a</sup> Rute, por me apoiar e orientar neste novo mundo de investigação experimental, por me permitir experimentar com as minhas próprias mãos!

À Prof. Dr<sup>a</sup> Helena P. Felgueiras, do Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil, por mostrar-me um mundo de seres mais pequenos, e à Prof. Dr<sup>a</sup> Vitória Araújo Maciel, do CEB, obrigada pelo vosso apoio.

À eng. Carlos Gonçalves e equipa do Laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, pela disposição em partilhar os seus conhecimentos e criatividade.

Dedico este esforço com amor ao meu papá Victor, que espero estar me vendo!

## DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

- **RESUMO**

O “betão de cânhamo industrial”, muito estudado nos últimos anos, tem se tornado uma alternativa viável para as demandas atuais, sendo um material de construção com bom isolamento térmico e acústico e oferecendo a vantagem de ser uma opção mais sustentável do que o betão convencional. No entanto, uma de suas principais limitações ainda é a ausência de um traço padrão internacional que permita a sua utilização, o que acaba por afetar a sua utilização a larga escala.

O bagaço de cana-de-açúcar é um resíduo agrícola disponível em grande abundância mundialmente (são produzidas cerca de 1.890.000.000 Ton./ano de cana-de-açúcar). A cana processada gera, em massa, de 25 a 30% de bagaço de cana-de-açúcar, o que perfaz cerca de 470 milhões de toneladas por ano. Propõe-se, então, a combinação do “betão de cânhamo” com o bagaço de cana-de-açúcar, resultando num compósito híbrido.

Este estudo teve como objetivo testar diferentes formulações para avaliar o seu desempenho em função das propriedades mecânicas e confirmar a integridade do novo compósito, em quanto a durabilidade, com adição de aglutinantes como a cal hidratada, o pó de tijolo e a cinza de bagaço de cana-de-açúcar. A mistura das duas fibras incrementou num 16.28% a resistência mecânica do material, verificando-se que o bagaço de cana preenche os espaços vazios entre as aparas de cânhamo. Relativamente à quantidade de ligante, também se confirma os resultados de outros estudos apenas com cânhamo, de melhores rendimentos com proporção 70 a 75%, em massa, na composição.

As misturas com presença de BCA-CIBCA (bagaço de cana de açúcar-cinza de bagaço de cana de açúcar) numa proporção do 25% tiveram melhor desempenho nos ensaio de durabilidade como simulação de chuva, gelo e degelo. No caso da degradação biológica as mistura com ligantes de Cal hidratada e só em combinação com CIBCA foram resistente ao a degradação por fungos comum para madeira como o *Penicillium chrysogenum*

Palavras-chave: Betão de Cânhamo - Bagaço de Cana-de-Açúcar - Cinza de Bagaço de Cana-de-Açúcar - Durabilidade

## ABSTRACT

Industrial hemp concrete has been increasingly studied in recent years. It is becoming a viable alternative to meet current demands as a building material with good thermal and acoustic insulation that offers the advantage of being more sustainable than conventional concrete. Nevertheless, the absence of an international standard trace is still one of the main limitations to its use on a large scale.

Sugarcane bagasse is an agricultural residue available in great abundance worldwide (about 1,890,000,000 tons/year of sugarcane are produced). The processed sugarcane generates, in mass, from 25 to 30% of sugarcane bagasse, which makes up about 470 million tons per year. It is therefore proposed, in this study, the combination of industrial hemp concrete with sugarcane bagasse, resulting in a hybrid composite.

The objective of this study is to test different formulations and confirm the integrity of this hybrid composite by evaluating its mechanical performance with the addition of binding agents such as hydrated lime, brick dust and sugarcane bagasse ash. The mixture of hemp and sugarcane fibers increased the mechanical strength of the material by 16.28%, as sugarcane bagasse fibers fill the voids between the hemp shavings. Regarding the amount of binding agents, the proportion of 70 to 75% by mass showed better performance, confirming the results of other studies.

The mixtures with presence of BCA-CIBCA (sugar cane bagasse-sugar cane bagasse ash) in a proportion of 25% had better performance in the durability tests as rain, ice and thawing simulation. In the case of biological degradation, the mixtures with hydrated lime binder and only in combination with CIBCA were resistant to degradation by common wood fungi such as *Penicillium chrysogenum*

Keywords: hemp concrete - sugarcane bagasse - sugarcane bagasse ash - durability

## ÍNDICE

•	<b>RESUMO.....</b>	<b>IV</b>
<b>1</b>	<b>CAPITULO I: Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento .....	1
1.2	Estrutura da dissertação.....	3
1.3	Metodologia da pesquisa .....	3
1.3.1	Metodologia experimental .....	3
1.3.2	Pergunta da pesquisa .....	4
1.3.3	Apresentação da hipóteses .....	4
1.3.4	Interpretação e análise de resultados.....	5
<b>2</b>	<b>CAPITULO II: Estado da Arte.....</b>	<b>6</b>
2.1	Enquadramento e evolução do materiais .....	6
2.1.1	Cânhamo .....	6
2.1.2	Bagaço de cana-de-açúcar .....	14
2.1.3	Cinza de bagaço de cana-de-açúcar .....	17
2.1.4	Pó de tijolo .....	24
2.1.5	Óleo de coco .....	24
2.1.6	Conclusões do estudo da arte para o estudo.....	24
<b>3</b>	<b>CAPITULO III: Investigação Experimental .....</b>	<b>26</b>
3.1	Materiais utilizados.....	26
3.2	Metodologia e composição da mistura .....	28
3.2.1	Composição das misturas.....	28
3.2.2	Primeira campanha .....	29
3.2.3	Seleção de misturas para segunda campanha .....	33
3.3	Ensaio realizados métodos e normas .....	34
3.4	Desempenho mecânico.....	34
3.4.1	Resistência a flexão .....	34
3.4.2	Resistência a compressão .....	35

3.5	Ensaio de condutibilidade térmica .....	35
3.6	Ensaio de durabilidade .....	36
3.6.1	Coeficiente de absorção de água por capilaridade .....	36
3.6.2	Resistência gelo-desgelos .....	37
3.6.3	Degradação por exposição à simulação de chuva .....	38
3.6.4	Exposição a sais .....	39
3.7	Ensaio de degradação biológica .....	39
3.7.1	Exposição a câmara húmida, .....	40
3.7.2	Exposição a bactérias .....	40
3.7.3	Exposição a fungos.....	41
3.8	Resultados .....	42
3.8.1	Desempenho mecânico .....	42
3.8.2	Ensaio de condutibilidade térmica.....	45
3.8.3	Ensaio de durabilidade.....	48
3.8.4	Ensaio de degradação biológica .....	56
<b>4</b>	<b>CAPITULO IV: Conclusões e recomendações .....</b>	<b>74</b>
4.1	Condições observadas nas misturas no estado fresco .....	74
4.2	Desempenho a mecânico .....	74
4.3	Desempenho a nível térmico .....	75
4.4	Desempenho a nível de durabilidade .....	75
4.5	Desempenho a nível de degradação biológica .....	75
4.6	Conclusões finais .....	75
4.7	Recomendações de pesquisa .....	78
<b>5</b>	<b>Referências .....</b>	<b>79</b>

## LISTA DE ABREVIÇÕES, FIGURAS E TABELAS

### LISTA DE ABREVIÇÕES

A	Alumínio
AAB	Aglutinantes ativados por álcalis
AWA	Resíduos agrícolas
BCA	Bagaço de cana-de-açúcar
BLA	Folha de cinza de bambu
CASH	Hidrato de silicato de cálcio e alumínio
CCA	Cinza de espiga de Milho
CCI	Índice de condutividade do cloruro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CFUs	Colony forming units /unidades formadoras de colónias
CPA	Cinza da casca da mandioca
CSA	Cinza de casca de coco
CSEB	Blocos estabilizados com bagaço de cana-de-açúcar
C-S-H	Silicato cálcico hidratado
EDTA	Ácido etilenodiaminotetracético
EGA	Cinza de capim elefante
ESP	Pó de casca de ovo
F	Óxido férrico
GGBS	Escoria de alto forno
GHA	Cinza de casca de amendoim
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico
HCl	Ácido clorídrico
IC	Cânhamo Industrial
LCA	Life Cycle Assesment/Avaliação do ciclo de vida
LOI	Perda de Ignição
MgO	Óxido de magnésio
MgSO <sub>4</sub>	Sulfato de magnésio
MOC	Cimento de oxiclureto de magnésio
MOS	Oxissulfato de magnésio
MPC	Cimento de fosfato de magnésio
NaCl	Clureto de sódio
OPC	Betão com Portland comum
POFA	Cinza de combustível de óleo de palma
RHA	Cinza da casca de arroz
RSA	Cinza de palha de arroz
S	Sílica
SBF	Fibra de Bagaço de cana-de-açúcar
SCBA	Cinza do bagaço de cana-de-açúcar
SCSA	Cinza de palha de cana-de-açúcar
SBA	Cinza de bagaço de cana-de-açúcar
SBAS	Areia de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar
SEM	Microscopia eletrónica de varredura

TA	Cinza de tabaco
THC	Tetrahydrocannabinol
WA	Cinza de madeira
WSA	Cinza de palha de trigo
ZEB	Zero Energy Building

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Principais países produtores de cana-de-açúcar ( <a href="https://www.atlasbig.com/es-mx">https://www.atlasbig.com/es-mx</a> ).....	2
Figura 2-Metodologia quantitativa-experimental .....	4
Figura 3- Secção transversal de micrografia ótica do tronco de cânhamo (Vignon té al, 1995).....	7
Figura 4- Microestrutura de SCBA (Castardelli et al. 2016) .....	17
Figura 5 (a) Teor de sílica; (b) Teor de alumina; (c) Soma do teor de sílica, alumina e óxido de ferro das cinzas; (d) Perda por ignição de cinzas de resíduos agrícolas (Charitha et al., 2021).....	18
Figura 6- a. Cânhamo, b. cal, c. bagaço de cana-de-açúcar, d. pó de tijolo, e. cinza de bagaço de cana-de-açúcar .....	26
Figura 7-Mistura CBCA CIBCACAL P1, onde as fibras ficam cobertas com a mistura de cal e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar .....	30
Figura 8- Óleo de coco mais adição de cânhamo industrial.....	30
Figura 9-Processo de moldagem segundo ensaios aplicados .....	34
Figura 10-Resistência a flexão das misturas da fase 1 .....	42
Figura 11-Resistência a compressão de CCA-CBCACA da fase 1.....	43
Figura 12- Resistência a compressão das misturas .....	44
Figura 13- Condutibilidade térmica das misturas .....	46
Figura 14-Resistência térmica das misturas .....	47
Figura 15 Vista do ensaio de absorção por capilaridade - amostras sobre oásis .....	48
Figura 16-Coefficiente de absorção de água por capilaridade.....	49
Figura 17-Absorção de água pelas amostras no decorrer do tempo .....	50
Figura 18- a. Início e fim de ensaio b. Amostras CAA-1 e CBACA-1 no fim do ensaio.....	51
Figura 19-a. CBCAZ-1C b. CBCAZ-2C c. CBCAZ-3C d. CBCA-CCIBCA-P1 (No fim do ensaio).....	51
Figura 20-Início e fim do ensaio b. CBCACBCA-1 no fim do ensaio. ....	52
Figura 21-a. Início e fim do ensaio de gelo/desgelo; b. CBCA PT-1 no fim do ensaio.....	52
Figura 22- Aplicação de acabamento nas amostras para ensaio de degradação por simulação de chuva .....	53
Figura 23- Processo de ensaio de degradação por simulação de chuva .....	53
Figura 24- Processo de preparação de vapor de sais .....	54
Figura 25- Comparativo do ensaio de resistência a compressão com amostras expostas a sais.....	56

Figura 26- a. Amostras na câmara com humidade e RH controlada; b/c. Registo fotográfico e pesagem em 19/09/2022; d. Registo fotográfico em 3/10/2022. ....	57
Figura 27 a. Preparação do recipiente com água destilada; b. nível de pH c. pesagem das amostras; d/e. preparação das amostras e câmara a 25°C .....	58
Figura 28- Fisherbrand medição do pH; b. avaliação do nível de água; c/d. misturas sobre a tina com água e amostras na câmara Heraeus a 25°C .....	58
Figura 29- a. Câmara incubadora com agitação orbital de balões de Erlenmeyer com bactérias e nutrientes. b/c. Preparação de placas de agar com bactérias. d. Início do ensaio com as amostras sobre o meio inócuo. ....	60
Figura 30- Início do teste de fungos, a. <i>Cladosporium herbarium</i> , b. <i>Penicillium chrysogenum</i> .....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Composição do Cânhamo H. (Vignon et al., 1995, Evrard, 2008, Thomsen y col., 2005) .....	7
Tabela 2-Estudos realizados da resistência à compressão .....	8
Tabela 3-Propriedades físicas das Fibras BCA .....	14
Tabela 4- Composição típica do BCA (Adaptada de Lenço, 2010) .....	15
Tabela 5- Dosagem e Tratamento da Fibra de BCA.....	15
Tabela 6- Gravidade Específica de Cinza BCA.....	19
Tabela 7- Dosagem e Tratamento da Cinza de Bagaço de Cana-de-Açúcar.....	19
Tabela 8 - Propriedades físicas da apara .....	26
Tabela 9- Composição química da apara.....	27
Tabela 10 Composição química dos materiais .....	28
Tabela 11- Misturas realizadas.....	29
Tabela 12-Resultados de observação das misturas no estado fresco.....	31
Tabela 13- Composição das misturas seleccionadas para segunda campanha .....	34
Tabela 14- Resultados de ensaio de resistência a compressão por fases .....	45
Tabela 15- Valores das propriedades térmicas das misturas .....	45
Tabela 16- Peso, média e máxima percentual ao longo do ensaio de absorção por capilaridade.....	48
Tabela 17- Densidade das misturas antes e depois do ensaio de gelo/desgelo .....	50
Tabela 18-Resultados obtidos após o ensaio de degradação por .....	54
Tabela 19- Registo de densidade durante o ensaio de exposição de vapor de sais.....	55
Tabela 20- Peso das amostras de referência para ensaio degradação biológica .....	56
Tabela 21- Registo de peso das amostras do ensaio exposição à câmara húmida .....	59
Tabela 22-Resultados das misturas com a bactéria <i>Bacillus subtilis</i> .....	61
Tabela 23- Resultados das misturas com a bactéria <i>Micrococcus luteus</i> .....	64
Tabela 24-Efeito do fungo <i>Cladosporium herbarium</i> .....	67

Tabela 25-Controle de peso efeito do fungo <i>Cladosporium herbarium</i> .....	70
Tabela 26-Efeito do fungo <i>Penicillium chrysogenum</i> .....	71
Tabela 27-Controle de peso efeito do fungo <i>Penicillium chrysogenum</i> .....	73
Tabela 28-Avaliação geral das misturas segundo os ensaios aplicados .....	77

## CAPITULO I: Introdução

### 1.1 Enquadramento

Nos esforços estabelecidos pela ONU para combater o aquecimento global, fica claro que a indústria da construção civil é responsável por cerca de 40% das emissões de CO<sub>2</sub> produzidas por todas as atividades relacionadas ao processo construtivo (Janet L. et al., 2018). sendo necessário apresentar alternativas baseadas em princípios de sustentabilidade para a construção civil: Conservar e minimizar o consumo de recursos naturais; maximizar a reutilização de recursos; e Renovar/Reciclar desperdícios, valorizando-os em novos usos.

Essas alternativas devem contemplar não só o projeto de edificações ecológicas incorporando tecnologias passivas e ativas, mas também a redução do uso de materiais de construção convencionais que, segundo a sua avaliação de ciclo de vida, são prejudiciais ao meio ambiente. Dessa forma, materiais de base biológica são opções a serem consideradas.

Dentre essas opções, o betão de cânhamo industrial (IC), definido como um “betão agregado de celulose que utiliza o cânhamo como agregado e um aglutinante à base de cal, que pode ser chamado betão agregado de celulose” (Jami et al., 2019), é um material amplamente estudado na construção civil, classificado como um material versátil que pode ser adaptado a uma grande variedade de aplicações. No entanto, apenas pequenas alterações na sua composição e processo de fabricação causam muitas variações no resultado do produto, o que dificulta a sua apropriação, somando-se a isso a preocupação do setor da construção civil em relação à sua durabilidade ao longo do tempo e à sua resistência a variações extremas de temperatura, exposições salinas e ataques biológicos.

Este estudo tem por motivação a busca da potencialização do uso de materiais de origem natural como uma resposta sustentável à demanda urgente do setor da construção civil para reduzir a poluição emitida em todos os seus processos, tendo os materiais um contributo importante na emissão de CO<sub>2</sub>.

Na procura de melhorar as propriedades mecânicas deste compósito, estudou-se a combinação deste material com bagaço de cana-de-açúcar (BCA), seguindo o princípio de reciclagem de um material que é resíduo agrícola e dando continuidade à linha de pesquisa da dissertação sobre "Compósitos de bagaço de cana-de-açúcar para blocos construtivos", da Universidade do Minho, onde foram feitas misturas de cana-de-açúcar com cal, cinzas de cana-de-açúcar e/ou solo Patrícia Peixoto L. S., (2021) em que se obteve, com adição de cal, 0.495 MPa de resistência máxima à compressão e 0.76 MPa à flexão.

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Pretende-se otimizar as propriedades de cada um dos materiais CI/BCA, num compósito híbrido onde um tem fibra curta (CI) e outro é fibra longa, mas de menor diâmetro (BCA), ver Figura 6 a e c, respetivamente.

Também foi considerada a alta disponibilidade desse recurso para a produção de açúcar e os seus derivados, presente em diversos países, Figura 1 com produção média anual de 1,889,268.880 toneladas, onde o principal produtor mundial é o Brasil, e Nicarágua produz 7,351,391.58 TM de açúcar e 1,940,767.38 TM de resíduos (CNPA-NIC 2021-2022). Esta indústria gera uma abundância de resíduos, o bagaço de cana, está sendo geralmente utilizado para a produção de energia a partir do vapor da queima do bagaço de cana, com o qual se obtém um segundo subproduto, a cinza do bagaço de açúcar.

Esta cinza foi também usada como elemento pozolânico neste compósito híbrido. selecionado foi o óleo de coco, para avaliar o seu desempenho contra microrganismos que se possam desenvolver neste tipo de materiais vegetais em ambientes com elevada humidade, uma vez que este material tem grandes propriedades fungicidas e bactericidas e também está disponível em países tropicais como a Nicarágua.

Assim, o foco deste estudo é a combinação do “betão de cânhamo” com o bagaço de cana-de-açúcar, resultando num compósito híbrido. Realizaram-se diferentes formulações com adição de aglutinantes como a cal hidratada, o pó de tijolo e a cinza de bagaço de cana-de-açúcar para avaliar o seu desempenho em função das propriedades mecânicas, comportamento térmico e durabilidade.

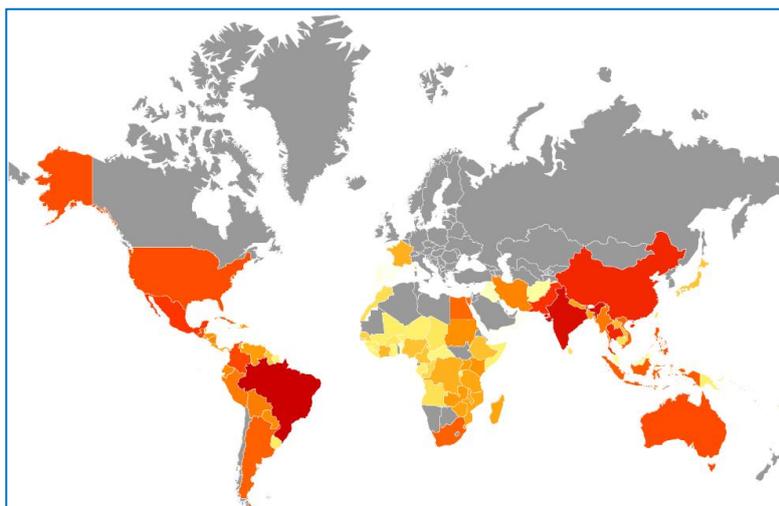


Figura 1-Principais países produtores de cana-de-açúcar  
(<https://www.atlasbig.com/es-mx>)

## Objetivo

- Objetivo Geral

Melhorar a durabilidade do betão de cânhamo industrial (CI), desenvolvendo um compósito híbrido cânhamo industrial e com bagaço de cana-de-açúcar (BCA) e aditivos de origem natural, como a cinza de bagaço de cana-de-açúcar, para a construção de paredes não estruturais.

- Objetivos Específicos:

Verificar o efeito de diferentes fatores na durabilidade do betão de CI/BCA à base de cal:

- Ligantes e aditivos;
- Degradação pelo ambiente; Chuva, sais, baixas e altas temperaturas;
- Degradação biológica.

## 1.2 Estrutura da dissertação

O presente estudo está dividido em 4 capítulos. O capítulo I apresenta o enquadramento, os objetivos e a estrutura da dissertação.

O capítulo II apresenta o estado da arte para contextualizar os materiais escolhidos e os estudos realizados até 2021, estabelecendo uma referência inicial e um comparativo para os ensaios e avaliações realizadas neste estudo. O capítulo III apresenta a fase experimental dividida em duas partes, a primeira referente a normativas e metodologias implementadas, e a segunda referente à aplicação nos ensaios e à análise dos resultados. Finalmente, o capítulo IV contém as conclusões do estudo.

## 1.3 Metodologia da pesquisa

### 1.3.1 Metodologia experimental

A metodologia que foi aplicada é do tipo Experimental Quantitativa, em que é feita a manipulação das variáveis principais de forma independente, para que se possa medir as variáveis dependentes, ver Figura 2. São analisados os resultados da fase experimental, combinando as variáveis selecionadas para cumprir o objetivo do estudo, de acordo com as condições estabelecidas no desenho metodológico, como o fator tempo e o processo de gestão de amostras e testes comparativos, para posteriormente analisar os resultados e compará-los com os indicadores determinados (Sampieri et al., 2006).

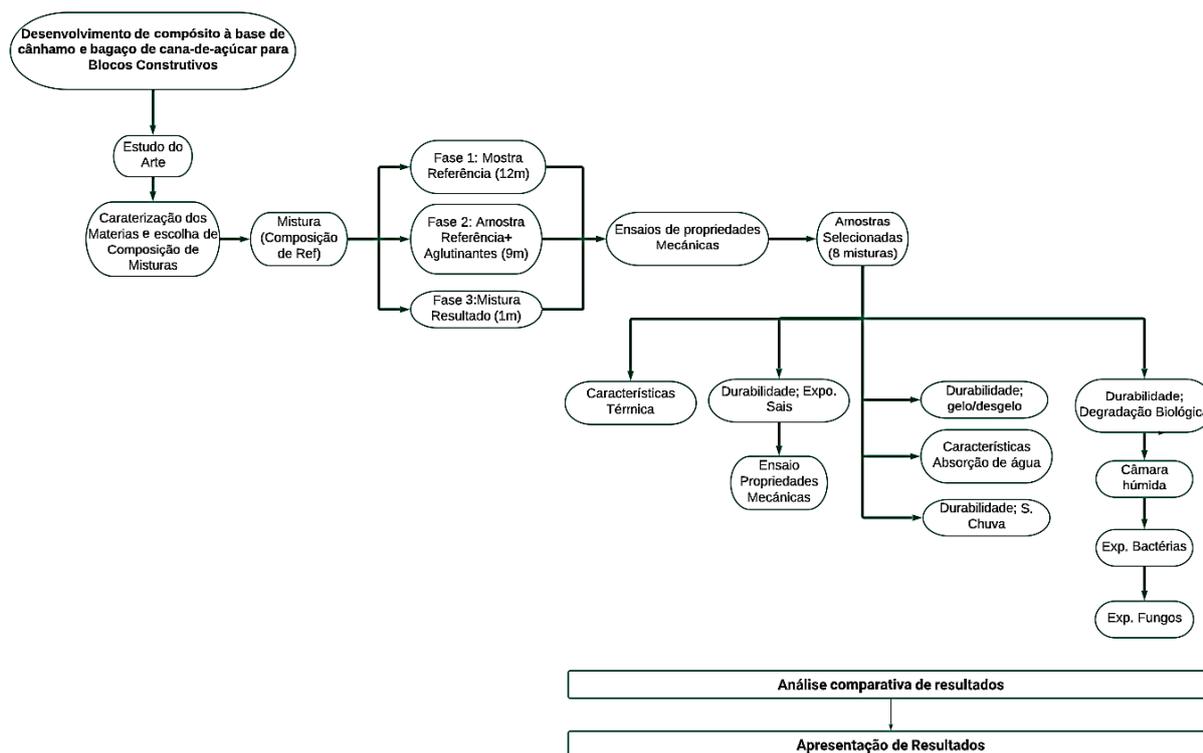


Figura 2-Metodologia quantitativa-experimental

Inicialmente, foram preparadas amostras de referência do betão de cânhamo comum com diferentes percentagens da cal como único ligante, para a análise comparativa com as novas misturas do estudo. Em tais misturas, é feita a adição da fibra proposta, o BCA, e a substituição parcial da cal por pó de tijolo e cinza de bagaço de cana-de-açúcar, respetivamente resíduos de processos de construção e industrial, em diferentes percentagens.

Subsequentemente, as misturas foram submetidas a testes mecânicos e as de melhor desempenho foram seleccionadas para os testes de durabilidade e degradação biológica. A comparação de resultados gerou as conclusões

### 1.3.2 Pergunta da pesquisa

Conforme o objetivo do estudo, as perguntas a que se pretende responder depois de concluídas as fases experimental e de análise comparativa são

- Como podemos melhorar as propriedades de durabilidade do compósito de cânhamo industrial (CI) com bagaço de cana-de-açúcar (BCA)?
- Quais aditivos naturais podem melhorar a resistência mecânica e durabilidade?

### 1.3.3 Apresentação da hipóteses

Na fabricação do compósito de cânhamo industrial com bagaço de cana-de-açúcar como agregado (CI/BCA), adicionando-se cal aérea hidratada como ligante, pretende-se testar como aditivo natural que

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos permita obter um efeito pozolânico a cinza de bagaço-de-cana-de-açúcar, que poderá melhorar sua durabilidade através do aumento de resistência, e ainda testar o óleo de coco como aditivo natural para a prevenção do aparecimento de fungos e um possível ataque por insetos xilófagos.

#### **1.3.4 Interpretação e análise de resultados**

A partir do registo sistemático dos resultados dos ensaios que foram aplicados, procedeu-se a uma análise comparativa dos resultados, tendo como referência os parâmetros definidos conforme a literatura e as normativas aplicáveis aos materiais do estudo. Os ensaios tinham como objetivo avaliar as propriedades mecânicas, térmicas, de durabilidade e de resistência biológica.

## **CAPITULO II: Estado da Arte**

### **2.1 Enquadramento e evolução do materiais**

Seguindo o método Prisma, para a análise da informação, se estabeleceu o objetivo da pesquisa, de acordo com o tema da dissertação: aditivos naturais para melhorar a durabilidade de materiais compósitos de Cânhamo-Bagaço de cana-de-açúcar para blocos construtivos.

Utilizando-se as bases de dados científicas, Scopus e Elsevier, foram feitas pesquisas com as palavras chaves: 'Betão Cânhamo'; 'durabilidade para o material de cânhamo', no caso do bagaço de cana-de-açúcar; são as palavras utilizadas foram: 'construção'; 'engenharia'; 'bagaço de cana-de-açúcar' e 'durabilidade'.

Dentro da revisão sistemática foram definidos 139 artigos no total, avaliados 78, dos quais 37 artigos cumpriram com os objetivos da pesquisa, para os dois materiais, especificamente sobre a caracterização geral dos materiais no uso da construção e as propriedades mecânicas com foco na durabilidade.

#### **2.1.1 Cânhamo**

Foram analisados os artigos que caracterizam o betão de cânhamo desde diferentes temáticas considerando as propriedades térmicas, eficiência energética, avaliação do ciclo de vida, localização geográfica, e um artigo que fazem uma compilação de estudos feitos até 2019 sobre o material. Um total de 11 artigos analisados para fazer uma caracterização geral do material. Os 12 artigos restantes têm o foco nas propriedades mecânicas e a durabilidade, porque ambas estão ligadas, desde composição na mistura do material com os ligantes até a parte dos testes que são precisos aplicar para avaliar a durabilidade do material.

##### **2.1.1.1 Característica gerais do betão de cânhamo**

"O betão de cânhamo é composto de fibras vegetais mais um ligante na sua composição mais básica. O nome botânico do cânhamo é *Canábis sativa* L., que também consiste em três subespécies: *Canábis sativa* (cânhamo industrial e fonte de fibras técnicas), *Canábis ruderalis*cânhamo selvagem e *Canábis indica* L. (contém abundantes de tetrahydrocannabinol (THC), uma dos principais canabinoides que induzem efeitos narcóticos", Jami et al., (2019) refere-se a Chabbert et al. (2013) e Bocsa e Karus,(1997).

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Ele também descreve que as partes mais utilizadas do caule do cânhamo são a epiderme e as camadas do floema: "As fibras primárias da planta originam-se da camada do floema e são longas. As camadas adjacentes à camada de Cambium são chamadas fibras secundárias. As fibras primárias e secundárias, uma vez extraídas das plantas e agrupadas, são chamadas fibras técnicas. (Chabbert et al., 2013). Normalmente, os canhões / faca de cânhamo, usados para fazer betão de cânhamo, são derivados da camada de Cambium e abaixo dela. As fibras de cânhamo são porosas e contêm vazios interconectados o suficiente para absorver grandes quantidades de água", indica Jami et al (2019). Pode se ver la Figura 3 a estrutura do tronco de cânhamo

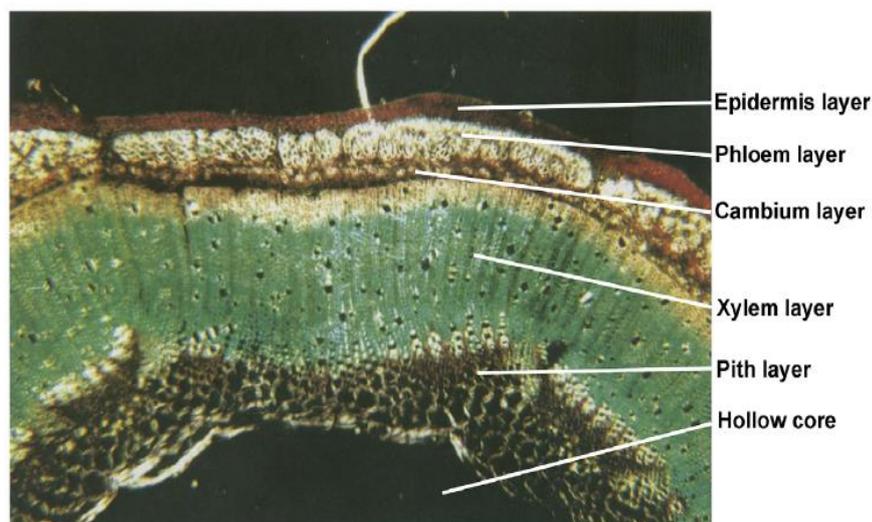


Figura 3- Secção transversal de micrografia ótica do tronco de cânhamo (Vignon té al, 1995)

Tabela 1-Composição do Cânhamo H. (Vignon et al., 1995, Evrard, 2008, Thomsen y col., 2005)

Autores	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Pectina	Cera	Proteína	Cinzas
Vignon et al., (1995)	44%	18%	28%	4%	1%	3%	-
Evrard, (2008)	50mi60%	15mi20%	20mi30%	-	-	-	4mi5%
Thomsen y col., (2005)	34mi44%	31mi37%	19mi28%	4%	1%	-	1mi2%

Na Tabela 1, de acordo com os diferentes autores, a maior composição do betão de cânhamo é a celulose que contribuem com a melhora da resistência e a lignina que melhora a trabalhabilidade e plasticidade do betão. Algumas das principais características do betão de cânhamo são que ele é negativo em carbono, leve, tem baixa densidade, excelente capacidade de absorção de humidade, baixa condutividade térmica e isolamento acústico

### 2.1.1.2 Aglutinantes

Em relação aos possíveis ligantes do betão de cânhamo, Jami et al, indica que “devido à sua estrutura celular e natureza porosa, a apara é muito hidrofílica. Essa afinidade pela água interfere muito no

processo de pega dos ligantes hidráulicos, afetando a integridade estrutural das unidades de betão de cânhamo. Mas, ligantes hidráulicos demonstraram ter melhor desempenho mecânico devido à formação de silicato cálcico hidratado (C-S-H), portanto, é importante desenvolver ligantes/aditivos que melhorem as propriedades de pega do betão de cânhamo. "(2019), também, no mesmo estudo Jámi et al. concluem que a escória de alto forno granulada moída (GGBS), e metaculino são as melhores opções para preparação de um ligante de cal/pozolana, pela alta reatividade com a cal e disponibilidade no mercado. (2019)

Um pré-requisito importante para ligantes de betão de cânhamo é que eles não podem ser completamente hidráulicos. Na literatura os ligantes à base de óxido de magnésio (MgO) mostraram grande promessa, utilizando por exemplo cimento de oxissulfato de magnésio (MOS), cimento de fosfato de magnésio (MPC) e cimento de oxiclreto de magnésio (MOC). "Os ligantes MPC e MOC exibiram resistência à compressão de três a quatro vezes maior em densidades semelhantes em comparação com os ligantes de cal hidráulica tradicionalmente usada, devido à biocompatibilidade do MgO e à maior resistência geral e inicial das argamassas MPC e MOC" (Sinka et al., 2018) o estudo conclui que o uso do magnésio é viável, mas tem que ser de boa qualidade e com a proporção correta, a quantidade de magnésio faz a diferença para alcançar melhor resistência mecânica. O uso de MPC não é recomendado para a alta demanda por fósforo, que não é ambientalmente amigável, a cal ainda deve ser considerada devido ao seu baixo impacto ambiental.

Na Tabela 2 apresenta diferentes estudos com resultados a resistência mecânica do betão de cânhamo, com a fórmula comum, cânhamo-cal. As composições estudadas pelos autores foram a base de partida para definir a composição do betão de cânhamo de referência para este estudo.

**Tabela 2-Estudos realizados da resistência à compressão**

Autor	Amostra	Peso (kg/m <sup>3</sup> )	Cânhamo (%)	Cal Hidratada (%)	Aglutinante (75% cal aireada+15%cal hidráulica+10% pozolana)	Prova de Flexão (Mpa)	Prova de Compressão (Mpa)
Elisabete Fernandes Araújo (2015)	1	113	30.00	70.00			0.60
	2	45.9	40.00	60.00			0.32
	3	57.3	35.00	65.00			0.54
	4	71	30.00	70.00			0.23
Niyigena et al (2018) Cilindro de 22 cm.	C8	250	17.92		37.31		0.99
Elfordy, S., Lucas, F., Tancret, F., Scudeller, Y., Goudet,( 2008)	1		75.00	25.00		1.2	

Autor	Amostra	Peso (kg/m <sup>3</sup> )	Cânhamo (%)	Cal Hidratada (%)	Aglutinante (75% cal aireada+15%cal hidraulica+10% pozolana)	Prova de Flexão (Mpa)	Prova de Compressão (Mpa)
Benfratello et al (2013)	4-20-C	607	20.00	16.00			0.46
Gross & Walker, (2014)(48.5%de água)	1	275 (seco)	19.50	32.00			0.35-0.45

### 2.1.1.3 Densidade

"Conforme a revisão da literatura, o betão de cânhamo continua a ser um material leve. Em casos ocasionais, o material era de densidade média. Verificou-se que a entrada e saída de água pouco afeta a densidade do material. Além disso, foi estabelecido que a densidade do betão de cânhamo desempenha um papel importante nas suas propriedades mecânicas e térmicas". (Jami et al., 2019), em outro estudo de Elfordy et al. estabeleceram um relacionamento direto entre a densidade-resistência a compressão e compactação, uma mistura com maior densidade tem maiores resistência a compressão e uma alta densidade está ligada ao maior nível de compactação (Elfordy, S., Lucas, F., Tancret, F., Scudeller, Y., Goudet, 2008)

### 2.1.1.4 Propriedade mecânica; resistência à compressão e à flexão

"A literatura apresenta valores altamente variáveis devido à grande variação na composição nos processos de fabricação e nas características físicas das matérias-primas. A principal diferença entre o ganho de resistência à flexão e à compressão é que a resistência à compressão aumenta com o aumento do conteúdo de ligante, enquanto a resistência à flexão atingiu o pico com 50% do conteúdo de cânhamo". (Jami et al., 2019)

O estudo conclui que "as resistências à flexão e à compressão também compartilham várias semelhanças, incluindo a sua dependência da composição do aglutinante, conteúdo de cânhamo e grau de compactação". (Jami et al., 2019)

"A taxa de aumento de resistência varia muito à medida que a quantidade do aglutinante muda. A estabilidade dimensional também é uma preocupação com o betão de cânhamo. Com baixos valores de resistência à compressão, a deformação lateral geralmente excede 7,5%. Isso ocorre porque as fibras de cânhamo são relativamente dúcteis e o aglutinante à base de cal permite a reorganização desta entre si. Com os seus valores atuais de resistência, o cânhamo é mais adequado como material isolante do que como material de parede isoladamente" (Jami et al., 2019).

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Stevulova et al., abordam alguns aspectos da durabilidade de compósitos endurecidos à base de aparas de cânhamo quimicamente modificado em três soluções e compósitos de referência com cimento MgO como ligante após armazenamento. O maior valor de resistência à compressão é encontrado no composto preparado com aparas de cânhamo tratadas com EDTA. O ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) é um ácido aminopolicarboxílico e um sólido incolor e solúvel em água (2013).

#### **2.1.1.5 Propriedades acústicas e resistência ao fogo**

Foram encontradas poucas pesquisas sobre as propriedades de isolamento acústico e resistência ao fogo, Jami et al., indica que "o betão de cânhamo também apresenta boas propriedades acústicas e resistência ao fogo". Até agora os estudos indicam que "o betão de cânhamo não pode competir diretamente com outros materiais de isolamento acústico, no entanto, pode ajudar no desempenho do isolamento acústico, reduzindo a quantidade de isolamento necessária. Além disso, embora o cânhamo, individualmente, seja inflamável, o betão de cânhamo atende aos requisitos de teste de incêndio, europeus, deve a sua resistência ao fogo ao aglutinante" (2019).

#### **2.1.1.6 Durabilidade**

Uma vez que a durabilidade do betão de cânhamo, é objeto do presente estudo, é importante conhecer os avanços alcançados em estudos anteriores, pois ao garantir um bom desempenho do material ao longo do tempo, aumenta-se a sua aceitação no mercado da construção civil, e isto se traduz em rentabilidade.

Walker et al. investigaram o efeito de ligantes na resistência mecânica e na durabilidade por um período de dois anos, tendo concluído que a "resistência ao congelamento/ descongelamento de betão de cânhamo é função da hidráulica ligante: os ligantes hidráulicos: os ligantes hidráulicos superiores (comerciais e de fabricante) têm uma resistência superior ao congelamento/descongelamento apesar de ter mais poros. Isso sugere que a resistência mecânica superior de hidratos substitui as características da estrutura de poros do aglutinante no que diz respeito à resistência ao congelamento/descongelamento.

Betões com a maior quantidade de aglutinantes hidráulicos também podem se beneficiar de menor absorção de água, resultando em menos água disponível para induzir danos por congelamento-descongelamento. Também verificaram que os retentores de água aumentam a resistência ao gelo/degelo da mistura de cal/pozolana: aglutinante de pozolana".(Walker et al., 2014)

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Relativamente à exposição ao sal, "apesar da alta porosidade do betão (que garantiu condições próximas à saturação durante os ensaios) e do crescimento salino determinado por SEM, (Microscopia eletrônica de varredura) os betões não sofreram deterioração significativa em ambiente salino após 1 mês de exposição. A falta de dano salino no betão de cânhamo-cal é atribuída em parte à alta ductilidade das paredes dos poros que se adaptam às pressões expansivas da cristalização do sal. A cristalização do sal foi maior em ligantes com poros menores". (Walker et al., 2014)

Em relação à bio deterioração a resistência a repetidas inoculações microbianas intensas indica que o betão de cânhamo é resistente à biodegradação em condições ambientais próximas às do local do estudo. Walker et al mostram no seu estudo de sete meses que a alcalinidade da cal, a falta de nutrição para inoculações microbianas prosperarem, "e / ou condutos ambientais inadequados" foram a razão para a resistência do betão de cânhamo ao ataque microbiano,(2014).

Jami et al., indicam que "o betão de cânhamo apresentou baixa resistência ao congelamento-descongelamento devido à lavagem em massa durante o ciclo de gelo-desgelo, levando a uma redução na resistência à compressão; betões de cânhamo tiveram boa resistência à exposição ao sódio sal de cloreto, pois os poros grandes não eram adequados para a cristalização; e a deterioração biológica também não existia devido à ausência de nutrientes para suportar o crescimento de microrganismos, apesar das repetidas e intensas inoculações microbianas"(2019).

Na revisão de Jami et al., "verificou-se que as aparas de cânhamo não se decompõem totalmente no composto devido à mineralização, que ocorre como resultado da precipitação do carbonato de cálcio nas fibras elementares individuais, seguindo um mecanismo de degradação alcalina. Estas partículas de cânhamo mineralizadas tornam-se inertes no composto, mas também quebradiças, menos porosas e fracas em tensão (Marceau e Delannoy, 2017). Em outros testes de envelhecimento, como os ciclos de humedecimento e secagem, e os ciclos de imersão e secagem total, verificou-se, principalmente com os ligantes cálcio-cal, que o ligante é lixiviado e a massa é reduzida, levando a uma redução da resistência à compressão. No caso de ligantes hidráulicos, humedecimento e secagem cíclicos melhoraram a resistência à compressão do composto (Marceau e Delannoy, 2017)". (2019).

O estudo de Arizzi et al., avalia a durabilidade em condições climáticas tropicais, mediterrâneas e semiáridas, demonstrando a versatilidade do material, "não causam alterações macroscópicas significativas nos gessos de cal-cânhamo. A massa, o volume e a aparência do material permanecem quase inalterados, com apenas ligeiras diferenças notáveis após fortes chuvas (absorção massiva) e em amostras feitas com cal do ar (amarelecimento da superfície)". (2016). Embora o estudo seja sobre

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

acabamento em paredes, é uma base para presente estudo quanto à durabilidade de longo prazo, principalmente por se tratar de condições tropicais, como as condições climáticas da Nicarágua. Também é importante destacar as categorias dos ligantes utilizados que mostram quais agem melhor ante as mudanças climáticas, variações como húmido e seco, e ter em conta a propriedade higroscópica natural do cânhamo.

"O intemperismo do sal devido ao cloreto de sódio (NaCl) não induz a degradação dos rebocos de cal e cânhamo em nenhuma das condições climáticas aqui reproduzidas. A principal razão é que o NaCl precipita na superfície e é facilmente lixiviado do material, especialmente quando as chuvas são abundantes e frequentes (como em áreas tropicais). Em condições de baixa precipitação, típicas do clima semi-árido, mais sal é absorvido, mas nenhum dano ao material foi observado" (Arizzi et al., 2016).

"O intemperismo salino mais intenso de misturas de cânhamo-cal pode ser esperado em áreas desérticas costeiras nebulosas, devido aos frequentes ciclos húmido-seco associados a eventos de neblina que induzem numerosos ciclos de cristalização de dissolução de cloreto de sódio (Goudie e Parker, 1998). No entanto, a natureza higroscópica do cânhamo garante que a humidade seja retida por mais tempo no material, com o resultado de que o intemperismo do sal devido aos ciclos naturais de secagem húmida pode ser menos agressivo do que outros materiais porosos inorgânicos (como pedra e argamassa)". (Arizzi et al., 2016)

#### **2.1.1.7 Desempenho térmico e higrotérmico**

"Vários pesquisadores mostraram que o betão de cânhamo possui características de materiais de mudança de fase, como aquecimento latente, baixa condutividade térmica e alta massa térmica. No entanto, verificou-se que houve maior economia de energia quando o betão de cânhamo foi usado em vez de betão leve. Isso ocorre porque o betão de cânhamo também permite a permeabilidade ao vapor de água e a transferência de humidade, à vez a regulação da humidade relativa interna, limitando grandes variações. Como a temperatura ambiente depende da humidade relativa, a temperatura interna também é regulada, reduzindo a necessidade de aquecimento ou resfriamento artificial" (Jami et al., 2019)

#### **2.1.1.8 Análise do ciclo de vida**

Os resultados dos estudos de LCA (Life Cycle Assessment) dependem muito dos componentes dos materiais envolvidos no processo de fabricação do cânhamo, que até agora são muito variados. Mesmo

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

assim, em geral, segundo Jami et al., "Embora os estudos iniciais sejam muito promissores, é necessária uma análise do ciclo de vida mais abrangente e de longo prazo de um edifício completo de betão de cânhamo para determinar as emissões finais de carbono no final da vida útil. Seria interessante seguir uma abordagem do berço à tumba para futuros estudos de LCA, para determinar o impacto contínuo no clima. Como o betão de cânhamo usa muito pouco material virgem e uma quantidade considerável de resíduos pozolânicos, os edifícios feitos com o produto podem ser facilmente chamados verdes"(2019)

#### **2.1.1.9 Aplicações de construção**

"Entre todas as aplicações exploradas de betão de cânhamo, os blocos de betão de cânhamo para aplicações em paredes são as mais favorecidas. Para uso em estruturas de vários andares e edifícios altos, o produto deve ter boa resistência e rigidez. A estabilidade dimensional é um aspeto importante quando o uso pretendido para o cânhamo é como paredes independentes sem o apoio de postes de madeira. Argamassa de cânhamo é aplicada para reduzir a transmitância térmica de paredes convencionais.

No entanto, os rebocos de betão de cânhamo podem ser grossos, reduzindo o espaço útil dentro de um edifício. Todavia, a baixa condutividade térmica do betão de cânhamo a torna uma escolha atraente para reboco, argamassa, isolamento sob a laje, isolamento de vãos e isolamento de coberturas. Outras aplicações de nicho podem incluir painéis de cânhamo pré-fabricados para paredes divisórias ou paredes não estruturais; e painéis compostos de betão de cânhamo pré-projetados para fins estruturais".(Jami et al., 2019)

#### **2.1.1.10 Degradação biológica**

No estudo feito por Walker et al., tem a conclusão que "Nenhum dos betões apresentou sinais de deterioração, apesar da forte inoculação de microrganismos e repetidas inoculações após a morte das populações. Isso se deve à insuficiência de nutrientes disponíveis para crescimento e/ou condições ambientais inadequadas. Esses resultados iniciais sugerem que o concreto de cânhamo é resistente à deterioração quando a alta humidade inicial alterna com períodos de secagem, condições relacionadas bem com os do site na Europa". ( 2014)

Pelo que a avaliação de este estudo será com as novas condições de um novo compósito, submetendo a misturas ao efeitos de bactérias e a fungos comum nos materiais a base de fibras naturais como a

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Madeira, as escolhidas são *Micrococcus luteus* e *Bacillus subtilis* e os fungos *Cladosporium herbarium* e *Penicillium chrysogenum*

## 2.1.2 Bagaço de cana-de-açúcar

Procurou-se na literatura sobre bagaço de cana-de-açúcar, dos artigos encontrados o material é considerado resíduo agrícola, as cinzas de bagaço de cana são utilizadas como substituto do cimento num percentual para betão comum. Em menor número foram encontrados artigos onde o bagaço de cana em forma de fibra é um agregado para materiais de construção sustentáveis auxiliando nas suas estabilidades e resistências, tanto para as cinzas, quanto para as fibras foram aplicados testes mecânicos e de durabilidade, cujo objetivo final foi avaliar como o bagaço de cana afetou a durabilidade dos materiais.

### 2.1.2.1 BCA apresentação como fibra

Kumar & Barbato, utilizaram o bagaço de cana-de-açúcar produzido por uma usina em Alma Plantation, Lakeland, LA para estabilizar blocos de terra estabilizados comprimidos (CSEB) que possuem algumas limitações inerentes, como baixa resistência à tração, comportamento frágil e baixa durabilidade contra humidade. As fibras de bagaço de cana-de-açúcar (SCBF) têm recebido atenção especial por sua utilização na construção de terra devido à sua abundância em todo o mundo. (2022)

"O objetivo de adicionar aditivos de resíduos, obtidos de plantas e animais, à mistura do solo é melhorar as propriedades mecânicas dos tijolos, criando uma rede de fibras, que reduzem a retração e melhoram a resistência e a rigidez". (Salih et al., 2020). Na Tabela 3 mostra as propriedades físicas apresentadas no em diversos estudos

**Tabela 3-Propriedades físicas das Fibras BCA**

Autores	Fibra	Longitude ideal (mm)	Diâmetro (µmetro)	Aspeto Proporção	Densidade (gramas / cm <sup>3</sup> )	Absorção da água % (depois de 24 h)
Kumar & Barbato	SCBF	55-0.2	0.00	0.00	0.00	0.00
Salih et al.	SBF	15	40	0.004	0.13	0.79

Patrícia Peixoto L.S. indica na caracterização do bagaço da cana-de-açúcar para cogeração de energia, Lenço (2010) encontrou uma complexa mistura de celulose, hemicelulose e lignina que compõe as células das paredes dos feixes vasculares da cana-de-açúcar. (2021) Na Tabela 4, apresenta-se a composição típica do bagaço de cana de acordo com autores citados.

**Tabela 4- Composição típica do BCA (Adaptada de Lenço, 2010)**

Autores	Bagaço	Celulose (%)	Lignina (%)	Hemicelulose (%)	Cinza (%)
Purchase, 1995	integral	40	22	33	5
	integral	51,2	20,6	24,1	2,6
Bernar, 1992	fibra	52	19,4	24,7	1,4
	integral	46,2	21,6	24,1	5,4
	integral	46,6	20,7	25,2	2,6
Trina et al., 1990	fibra	47	19,5	25,1	1,4
	integral	41,2	21,7	26	5,4
Nassar et al., 1996	integral	33,6	18,5	33,6	

Na Tabela 5 mostra a percentagem de fibra aplicada na mistura e o tratamento recebido pelo material antes da sua adição.

**Tabela 5- Dosagem e Tratamento da Fibra de BCA**

Autores	Fibra	% de Mistura	Cimento	% de Mistura	Composição Ideal	Tratamento para Aplicação na Mistura
Kumar & Barbato	SCBF	0%, 0,5% y 1,0% em peso	cimento Portland Tipo II	0%, 6% y 12% em peso	0,5% a 1,0% em peso de SCBF/ com 12% em peso de cimento + Solo	Foi submerso em água fria por um dia para remover impurezas e serragem de aparência branca antes de ser usado. Não é necessário remover o açúcar do SCBF para fazer CSEBs reforçados, pois o açúcar presente no SCBF forma polissacarídeos, conhecidos por ligar as partículas do solo.
Salih et al.	SBF	1%, 3%, 5%, 7%, 9% y 11% em peso	0.00	0.00	5% em peso de SBF+ Solo	Deixaram-se secar naturalmente à temperatura ambiente até atingir peso constante. As fibras foram cortadas com tesoura em quatro diferentes comprimentos de fibra; 5, 10, 15 e 20 mm sendo incluídos aleatoriamente nos tubos de ensaios de teste.

### 2.1.2.2 Propriedade Mecânicas

Em ambos os estudos escolhidos, tiveram uma notável melhora nas propriedades mecânicas, "o SBF melhorou a resistência à tração à flexão em comparação com tijolos sem fibras de reforço. A 5% SBF, tanto a resistência à compressão quanto a resistência à tração, à flexão melhoraram em 78,7% e 65,0%, respectivamente, em 14 dias. Esses valores concordam com a especificação britânica para tijolos de piso". (Salih et al., 2020)

No mesmo estudo de Salih et al. "O aumento do comprimento das fibras resulta numa melhoria nas propriedades de resistência à tração e compressão do solo. Isso se deve ao aumento da área de

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

contacto com o solo, o que resulta numa melhora na resistência e rigidez do composto. Este comportamento é observado até certo limite de comprimento da fibra e além do qual a resistência é reduzida em parte. As fibras de 15 mm de comprimento têm a maior resistência à compressão, sugerindo que o seu comprimento embutido é suficiente para desenvolver a capacidade de resistência total. Portanto, o comprimento das fibras desempenha um papel importante na melhoria da resistência à compressão dos tijolos de piso". (Salih et al., 2020)

### **2.1.2.3 Durabilidade**

Para o estudo de Kumar & Barbato, "a durabilidade foi examinada ao medir a perda de massa, densidade seca, absorção de água e resistência à compressão húmida após 12 ciclos de humedecimento/secagem". (2022).

"Os CSEBs que sobreviveram ao teste de durabilidade apresentaram aumento na perda de massa e absorção de água, com o aumento do teor de SCBF e teor de cimento constante; porém, as variações nas quantidades de SCBF não afetaram a densidade seca dos CSEBs. Os blocos de CSEBs contendo 0,5%, 1,0% e 12% em peso de SCBF tiveram um aumento de 11 a 26% na resistência à compressão húmida, um aumento de 11 a 17% no módulo de elasticidade húmido e uma redução de 3 a 23% no índice de tenacidade à compressão húmida, portanto, esses CSEBs reforçados com SCBF representam uma solução promissora para a construção de moradias baixas, ecológicas e acessíveis" (Kumar & Barbato, 2022)

Um dos testes realizados para avaliar a durabilidade do material foi a capacidade de absorção de água, no caso de Salih et al., que combina duas fibras, uma animal e uma vegetal, "foi realizado o teste de absorção de água para obter a quantidade de água absorvida pelas amostras e estabelecer a durabilidade dos tijolos de solo em ambiente húmido.

A quantidade de água absorvida aumenta com o aumento do teor de fibra. Com uma adição de fibra de 11% aos 14 dias, há um aumento de 45,8% (17,5) e 36,7% (16,4) na absorção de água das amostras reforçadas com CFF e SBF respetivamente, em relação à amostra controle. Com base nos resultados do teste, os valores máximos de absorção de água para todas as misturas reforçadas foi de 17,5% estão no limite aceitável para tijolos de piso de 18,0% por ASTM C20-00. A absorção de água registada neste estudo é adequada para a construção de terrenos residenciais". (2020)

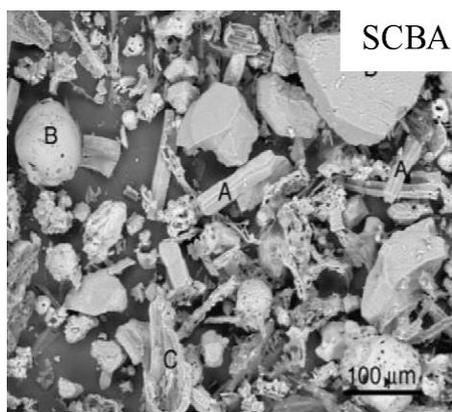
### 2.1.3 Cinza de bagaço de cana-de-açúcar

No caso da cinza do bagaço de cana, a literatura selecionada baseia-se na análise da sua composição e as suas reações à combinação do betão, estudando a sua capacidade pozolânica. Avaliando as suas propriedades mecânicas e durabilidade do material quanto à sua capacidade de substituição numa percentagem de cimento

#### 2.1.3.1 Propriedade gerais

Charitha et al fazem uma indicação da composição química da cinza está diretamente relacionada à sua reatividade. "A composição percentual de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , perda ao fogo em materiais pozolânicos naturais deve ser superior a 70% de acordo com ASTM C618. Dependendo do teor de sílica, as cinzas podem ser agrupadas em alta ( $\text{SiO}_2$  superior a 70%), média ( $40 < \text{SiO}_2$  inferior a 70%) e baixa ( $\text{SiO}_2$  inferior a 40%). A quantidade média de teor de sílica presente no SCBA é de 72%, porém, esta cinza pode ser classificada como cinza de resíduo agrícola com alto teor de silício.

Outra composição química importante que deve ser controlada é o teor de alumina. A presença de teor de alumina em resíduos agrícolas pode contribuir para a formação de hidrato de silicato de cálcio e alumínio (CASH) durante a hidratação. Como resultado, a presença de alumina aumenta a força da mistura". (Charitha et al., 2021) Na Figura 4 pode se ver a microestrutura de SBCA do Castardelli et al. (2016)



**Figura 4- Microestrutura de SCBA (Castardelli et al. 2016)**

De acordo ao estudo de Charitha et al, se pode observa na Figura 5 que SCBA está entre 72 e 90%. "a composição de S (Sílica) + A (Alumínio) + F (óxido férrico) em materiais pozolânicos naturais deve ser superior a 70%. No caso de Perda de Ignição (LOI) o SCBA for 10% superior do limite permitido.

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

conforme a ASTM, o valor LOI das pozolanas naturais deve ser inferior a 10%. Em geral, LOI representa a quantidade de carbono não queimado no AWA (Resíduos agrícolas), uma alta quantidade de LOI em AWA leva à diminuição da gravidade específica, portanto, para melhor desempenho, a presença de carbono não queimado no AWA deve ser reduzida a usar um método de processamento apropriado para mantê-lo no limite permitido" (Charitha et al., 2021).

No estudo de Charitha et al. também fazem uma caracterização da microestrutura do SCBA "possui diferentes categorias de partículas na sua microestrutura, como prismáticas, esféricas e fibrosas, conforme mostrado na Figura 5. A adição de cinzas de resíduos agrícolas diminui o valor de assentamento devido à natureza porosa e o consequente aumento da demanda hídrica.

A gravidade específica dos elementos no betão influência muito o seu desempenho, principalmente a trabalhabilidade. É evidente que a gravidade específica é menor que o peso específico do cimento (~3,15) devido à sua natureza porosa. No entanto, a gravidade específica aumentou com as técnicas de processamento adequadas". (Charitha et al., 2021).

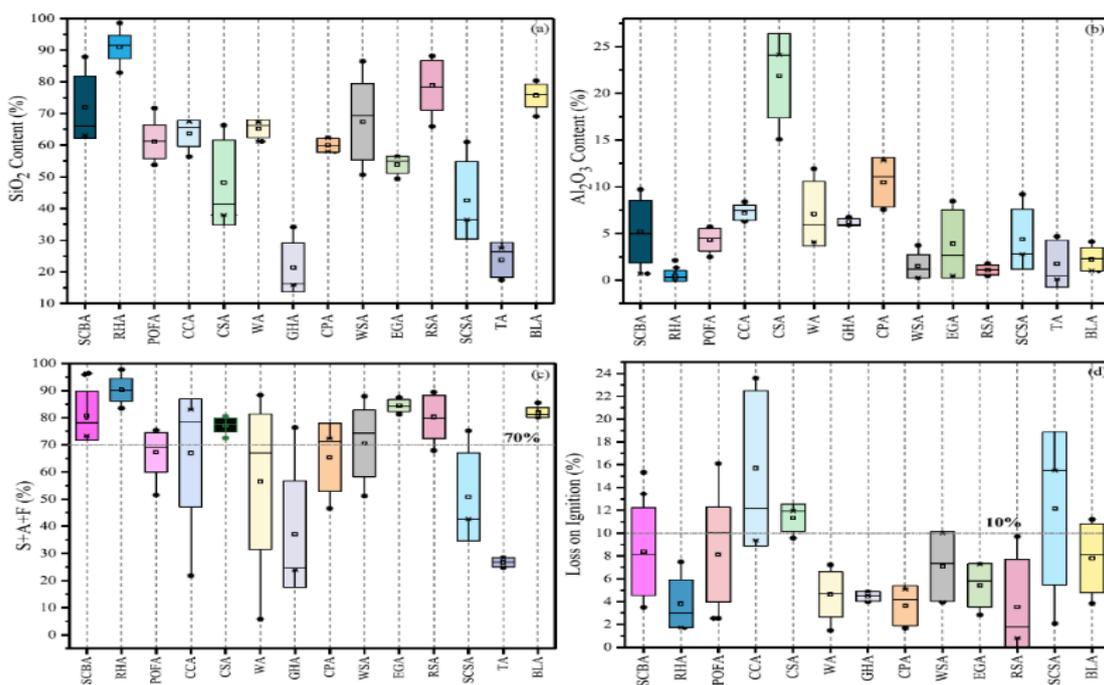


Figura 5 (a) Teor de sílica; (b) Teor de alumina; (c) Soma do teor de sílica, alumina e óxido de ferro das cinzas; (d) Perda por ignição de cinzas de resíduos agrícolas (Charitha et al., 2021)

Nas Tabela 6 e a Tabela 7 a seguir apresentam as características físicas e químicas da cinza de BCA da literatura estudada e tratamento realizado às cinzas.

**Tabela 6- Gravidade Específica de Cinza BCA**

Referência	Gravidade Específica	Finura (m <sub>2</sub> /grama)
Murugesan et al. (2020)	2.16	0.30 B
Praveenkumar y col., (2020)	2.2	0.51B
Adeso y col., (2018)	2.2	-
Sua-lam y Makul (2012)	2.35	-
Katare, V.D., Madurwar, M.V. (2016)	1.99	-
Bahurudeen, A., Santhanam, M. (2014)	2.12	300
Chandrasekhar Reddy, K. (2021)	1.82	440
Almeida, F.C.R., Sales, A., Moretti, J.P., Mendes, P.C.D. (2019)	2.57	-

**Tabela 7- Dosagem e Tratamento da Cinza de Bagaço de Cana-de-Açúcar**

Autores	Cinza de Bagaço de Cana A.	% de Mistura/ Substituição	Tratamento para Aplicação na Mistura	Outro Materiais	% de Mistura	Composição Ideal
Charitha, V., Athira, V.S., Jittin, V., Bahurudeen, A., Nanthagopalan, P. (2021)	SCBA	5, 10, 15 y 20%	Não especificado	Cimento Portland Ordinário	95,90,85 y 80 %	10a 20% de SCBA, 80 % cimento
Athira, V.S., Charitha, V., Athira, G., Bahurudeen, A. (2021)	BA	0,20, 25,40%	Substância alcalina ativadora, hidróxido de sódio (NH) + silicato de sódio (SS)	Escoria	100,80,75 y60 %	25 A 40%, Substituição, 75% a 60% de escoria
Dineshkumar, R., Balamurugan, P. (2021)	SCBA	10,20 y 30%	A propriedade pozolânica da cinza é conseguida a moer a cinza num tamanho fino.	Cimento (grado OPC 53), cinza volantes e fumo de sílice	90, 80, y 70%	30% SCBA, 70 % Cimento
Katare, V.D., Madurwar, M.V. (2021)	SCBA=TA +GGBS	25% (15% TA+10% GGBS), 45%(35% TA+10% GGBS) y 50%(35% SCBA+15% GGBS)	Cinza tratada, foi seco em estufa à temperatura de 100±10C por 24 h para remover a humidade, tratamento mecânico, o tamanho das partículas foi reduzido ao nível micro.	Cimento (grado OPC 53)	75, 55 y 50%	25 % (TA+GGBS)+75 % Cimento
Kazmi, S.M.S., Abbas, S., Munir, M.J., Khitab, A. (2016)	SBA	5% do peso da argila	Não especificado	Argila	100%	SBA 5 % do peso da argila+100% argila+RHA 5 % do peso da argila
Kazmi, S.M.S., Abbas, S., Saleem, M.A., Munir, M.J., Khitab, A. (2016)	SBA	5%,10%,15%	Não especificado	Argila	100%	SBA 5 % do peso da argila+100% Argila+RHA 5 % do peso da argila

Autores	Cinza de Bagaço de Cana A.	% de Mistura/ Substituição	Tratamento para Aplicação na Mistura	Outro Materiais	% de Mistura	Composição Ideal
Bahurudeen, A., Santhanam, M. (2014)	SCBA	10, 15 y 20%	Limpa por peneiração, de 300 µm, levando à separação completa de partículas finas queimadas ricas em sílica de partículas fibrosas (300-320 m <sup>2</sup> /kg)	Cimento Portland ordinário (OPC)	90,85 y 80 %	15 y 20% de Substituição do cimento, 85 y 80% de cimento
Chandrasekhar Reddy, K. (2021)	SCBA	0,5,10,15,20 y 25%	O resíduo foi moído, é queimado no forno a uma temperatura de 800 °C por três horas e depois esfriar. As amostras esfriadas são completamente pulverizadas e peneiradas a 45 µm	Cimento (grado OPC 43)	90,80,70,60 y 50%	3% de casca de ovo constante (ESP), mesmo percentual de substituição 0 a 25% de cinza combustível de óleo de palma (POFA)
Berenguer, R., Lima, N., Valdés, A.C., Medeiros, M.H.F., Lima, N.B.D., Delgado, J.M.P.Q., Silva, (2020)	SCBA	15 a 25%	Secadas a 105 °C e passadas por peneiração de 0,075 mm por 20 minutos a uma velocidade de 70 rpm.	Portland CP II F-32	85 a 75%	15%SCBA+85% Cimento
Almeida, F.C.R., Sales, A., Moretti, J.P., Mendes, P.C.D. (2019)	SBAS	0, 30 y 50%	Peneiração n° 4,8 mm e moagem por 3 min em moinho mecânico.	Cimento Portland+ 34%, em peso, de escoria de Alto Forno	100, 70 y 50%	30% SBAS+70% Cimento

SCBA/SBA=Cinza de bagaço de cana-de-açúcar

SBAS =Areia de cinzas de bagaço de cana-de-açúcar

### 2.1.3.2 Propriedade mecânicas

Charitha et al avalia que "a adição de Resíduos Agrícolas (AWA) melhorou a resistência à compressão para um nível de substituição ideal, a adição de SCBA (cinza de bagaço de cana-de-açúcar) em bruto diminuiu a resistência à tração, enquanto a adição de SCBA processado em betão misto levou a uma melhora na resistência à flexão. As resistências à compressão normalizadas do betão misturado com RHA (cinza de casca de arroz) e SCBA foram maiores que as do betão controle, cerca de 1,2 vezes mais. O teor de sílica em SCBA e RHA melhorou principalmente o desempenho pozolânico e as propriedades do betão misto." (Charitha et al., 2021)

Na mesma pesquisa "a resistência à compressão aumenta com o aumento da molaridade de SCBA, RHA, cinza volante e escória. A cura ambiente é melhor para amostras AAB (aglutinantes ativados por

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

álcalis) baseadas em SCBA. Amostras de AAB à base de cinzas de resíduos agrícolas mostraram melhor desempenho em temperaturas elevadas em comparação com AAB à base de escória. A substituição parcial da escória com 15% e 25% de SCBA resulta em resistência à compressão marginalmente maior do que as amostras de controle AAB (100% de escória) em 7 dias de cura. Afirma-se que em níveis de substituição de 25% e 40% da escória por SCBA, a resistência à tração dos espécimes AAB é melhorada em 11% e 6% em conformidade". (Athira et al., 2021)

As misturas que deram bons resultados mecânicos para os diferentes requisitos de betão comum, estandar e de alta resistência no estudo de Katare & Madurwar; "Até 25% do cimento Portland comum pode ser substituído de maneira ideal por SBA (cinza de bagaço de cana-de-açúcar) tratado (TA) na fabricação de betão comum e estandar. O betão de alto volume comum e padrão misturado com SBA pode ser formado a mistura-lo com GGBS (escoria de alto forno). 50TA\*: OC (35% TA e 15% GGBS) e 45TA: SC (35% TA e 10% GGBS) foram as razões de mistura ótimas para betão comum e padrão, respetivamente. Considerando que, para betão de alta resistência, a fração ótima de substituição do cimento por TA foi de 15%. Uma maior taxa de substituição, ou seja, 25% (15% TA e 10% GGBS) resultou na mistura ideal para betão de alta resistência". (2021)

No estudo de Kazmi et al., observaram que para "tijolos incorporando RHA e SBA, a resistência à compressão diminuiu em comparação com as amostras controle. Por exemplo, a resistência à compressão foi reduzida de 8,38 MPa para 5,10 MPa. Isso pode ser devido ao aumento da porosidade após a incorporação de RHA e SBA. Porém, uma redução na resistência foi alcançada com a incorporação de RHA e SBA em tijolos de barro; no entanto, ainda atendeu à resistência à compressão mínima conforme os padrões paquistaneses para tijolos de construção" (2016).

Combinando cinza de bagaço de cana, cinza de casca de arroz mais argila, resultados semelhantes são obtidos no estudo de Kazmi et al. feito ao final do 2016, "a resistências à compressão e flexão diminuíram com o aumento das proporções de RHA e SBA. No entanto, as amostras de tijolos incorporando 5% em peso de RHA e argila SBA apresentaram resistência à compressão de 6,62 MPa e 7,18 MPa, respetivamente". (2016)

De acordo com o estudo de Chandrasekhar Reddy "a resistência à compressão é acrescentada na proporção da mistura de S4 de cerca de 25% aos 28 dias de cura, 29% aos 56 dias de cura e 33,3% aos 90 dias de cura, respetivamente. A seguir, vem com uma descrição adicional do S5 (25% POFA + 25% SBA + 3% ESP) em comparação com o betão OPC (Betão com Portland comum). A designação de

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

mistura S4 (20% POFA + 20% SBA + 3% ESP) resultou em 30,5% maior resistência à tração, 9,5% maior resistência à flexão". (Chandrasekhar Reddy, 2021)

### 2.1.3.3 Durabilidade

Apresentam-se os resultados dos ensaios de durabilidade realizados pelos diferentes estudos condicionados pelas combinações realizadas;

Uma redução na retração por secagem é descrita para betões misturados com SCBA no estudo de Charitha et al. "uma alta resistência à penetração de cloretos é observada para betões à base de SCBA, nos seus respetivos níveis ótimos de substituição. O percentual de absorção de água está diretamente relacionado à permeabilidade e porosidade da amostra. A adição de SCBA melhorou o desempenho reduzindo a absorção de água para um nível de reposição ideal (20%) devido à formação de uma microestrutura densa no betão misturado. Também se verificou que o SCBA no respetivo nível de substituição ideal melhorou a resistência à entrada de cloreto na amostra de concreto.". (Charitha et al., 2021)

Relativamente à absorção de água e porosidade no mesmo estudo de Charitha et al. observou-se" a sorptividade relativa (aos 28 dias) e a porosidade relativa (aos 28 dias e aos 90 dias) devido ao desempenho pozolânico do SCBA, a sua adição ao betão diminuiu a capacidade de absorção e a porosidade. Além disso, a redução da porosidade foi proeminente em 90 dias em comparação com 28 dias.(Charitha et al., 2021)

Em relação a resistência ao ataque de ácido observou-se que "a adição de 20% de SCBA reduziu a resistência à compressão da amostra de betão quando exposta a 5M HCl, (5M de ácido clorídrico), o betão misto SCBA teve melhor desempenho em comparação ao betão controle contra-ataque ácido. A pozolanicidade e o subsequente refinamento dos poros no betão levam a uma redução na permeabilidade do betão misturado com SCBA, bem como no nível de deterioração devido ao ataque ácido". (Charitha et al., 2021)

Relativamente à resistência ao ataque de sulfato investigaram a perda de massa do concreto misturado com SCBA após exposição a 5% MgSO<sub>4</sub> por 6 dias, verificando que a resistência à compressão foi 7% maior para o concreto misturado com SCBA em comparação com o betão controle (Athira et al., 2021)

Athira et al referem que com " o aumento do período de imersão em soluções ácidas e de sulfato, todas as amostras de AAB (aglutinantes ativadas por álcalis) à base de cinzas de resíduos agrícolas apresentaram maior perda de resistência à compressão em comparação às amostras de controle. No

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

mesmo estudo à avaliar retração por secagem para betão misturado com 20% de SCBA é menor em todas as idades em comparação com amostras de controle. Isso se deve a efeitos de preenchimento, bem como reações pozolânicas de SCBAs finos".(2021).

Relativamente à permeabilidade à água, Katare & Madurwar referem que a incorporação de TA e GGBS reduziu substancialmente a permeabilidade à água e melhorou a resistência à permeabilidade ao íon cloreto melhora a resistência mecânica e a durabilidade do cimento. (Katare & Madurwar, 2021).

Os Testes de durabilidade aplicados em combinação com argila para fabricação de tijolos não são encorajadores, no estudo de Kazmi, Abbas, Munir, et al., teve um aumento na absorção de água, com a incorporação de RHA e SBA, cerca de 17% e 21%, respetivamente, devido à maior porosidade dos tijolos. Para as provas de gelo/degelo ou perda de peso não foram observadas fissuras tanto no controle quanto nos tijolos com RHA e SBA após 50 ciclos, no entanto, as amostras de tijolo testadas apresentaram perda de peso superior a 3% após 30 ciclos, o que significa que podem ser usadas em áreas de clima moderado (temperatura acima do ponto de congelamento) em vez de condições climáticas severas.

No teste de imersão em sulfato, os cristais de sulfato preenchem os poros e as microfissuras causam ganho de peso. Além disso, a cristalização de sais de sulfato gera pressão nos poros que leva a microfissuras e redução da resistência à compressão. Observou-se que os tijolos testados com RHA e SBA apresentaram redução na resistência à compressão; enquanto, o peso aumentou com a incorporação de RHA e SBA". (2016)

Quanto a combinação das cinzas com o cimento, em busca de um percentual de substituição, Bahurudeen & Santhanam, nos testes de resistência à permeabilidade à água, "verificou-se que a incorporação de SCBA no influenciou marcadamente a resistência à penetração de água. Relativamente à índice de condutividade de cloreto (CCI) comparado ao betão de controle, foram observadas reduções no índice de condutividade de 23, 48 e 54. % para amostras substituídas por 10, 15, e 20% SCBA, respetivamente, após 56 dias de cura. Conforme a classificação qualitativa sugerida por Alexander, Mackechnie e Ballim (1999), os betões com 15 e 20% de SCBA atingiram uma condição "excelente" após 56 dias". (2014)

No estudo de Chandrasekhar Reddy, as contribuições para a durabilidade com a combinação com casca de ovo em pó (ESP) "com todas as proporções de mistura mostraram uma alta resistência a ácidos ( $H_2SO_4$ ) e revelam que a matriz de betão endurecido é mais densa e impermeável em

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

comparação com o cimento Portland comum. Maior teor de cinzas (25% POFA e 25% SBA) também levou a uma menor resistência nas misturas. (2021)

#### **2.1.4 Pó de tijolo**

Serão utilizados, para aplicação nos testes, resíduos de tijolo triturados no laboratório. "Considera-se uma pozolana que contém  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Fe que passa por um processo de calcinação de mais de  $900^\circ\text{C}$  outorgando-lhe propriedades cimentícias"(Jr. Rincon & Mor, 2018).

#### **2.1.5 Óleo de coco**

Tendo em consideração que este estudo está focado na durabilidade do compósito, este aditivo, o óleo de coco tem como finalidade o controlo ou o impedimento do desenvolvimento de microrganismos que geram uma biodegradação nos materiais, encurtando o tempo de uso do material, no estudo de Dayrit, indica que " o principal ácido graxo no óleo coco é o ácido láurico, que está presente em uma proporção aproximada de 45-53%. As propriedades metabólicas e fisiológicas do ácido láurico explicam muitas das propriedades do óleo de coco. O ácido láurico e a monolaurina têm atividade antimicrobiana demonstrável contra bactérias gram-positivas e vários fungos e vírus. Hoje existem muitos produtos comerciais que utilizam ácido láurico e monolaurina como agentes antimicrobianos. ( 2015)

#### **2.1.6 Conclusões do estudo da arte para o estudo**

- De acordo a literatura o uso de cal é considerado mais viável devido ao baixo impacto ambiental, considerando à carbonatação que ocorre na mistura, absorvendo dióxido de carbono preenchendo os poros da betão de cânhamo.
- Se seleciona a proporção de 25% agregado e 75% de aglutinantes, como a formula com melhores resistência mecânica para uma composição básica de betão de cânhamo.
- Deve-se considerar a capacidade de absorção da água da cinza de bagaço de cana-de-açúcar na mistura com o cânhamo, especificamente o dosagem para conseguir um bom rendimento nas provas.
- Reduzir o teor de fibra com o correspondente aumento de ligante com objetivo de aumentar a resistência à compressão e favorecer um comportamento estrutural, igual com o cânhamo, tem que ser no controlo para não afetar o seu rendimento térmico.
- O dosagem do bagaço de cana, como fibra, é importante, pois afeta diretamente as propriedades mecânicas, mas no caso quando combinado com cimento, devido à capacidade

de absorção de água da fibra, pela natureza porosa e pelo vazio espaços nas amostras reforçadas tem bons resultados.

- O tamanho é essencial para ter um bom desempenho, pois o aumento da superfície de contacto com o ligante melhora a resistência e rigidez, portanto, o tamanho médio do bagaço nos testes é de 15 a 21 mm.
- Os melhores resultados foram obtidos nos ensaios de durabilidade para as misturas que tiveram a presença de elemento pozolânico, neste caso no cimento, até 12% em peso com o bagaço de cana-de-açúcar.

### CAPITULO III: Investigação Experimental

#### 3.1 Materiais utilizados

Os materiais utilizados na investigação experimental são os componentes do betão de cânhamo tradicional, Cânhamo-Cal mais a adição do bagaço de cana-de-açúcar, com diferentes percentagens de materiais pozolânicos pó de tijolo e cinza de bagaço de cana-de-açúcar conforme se observam na

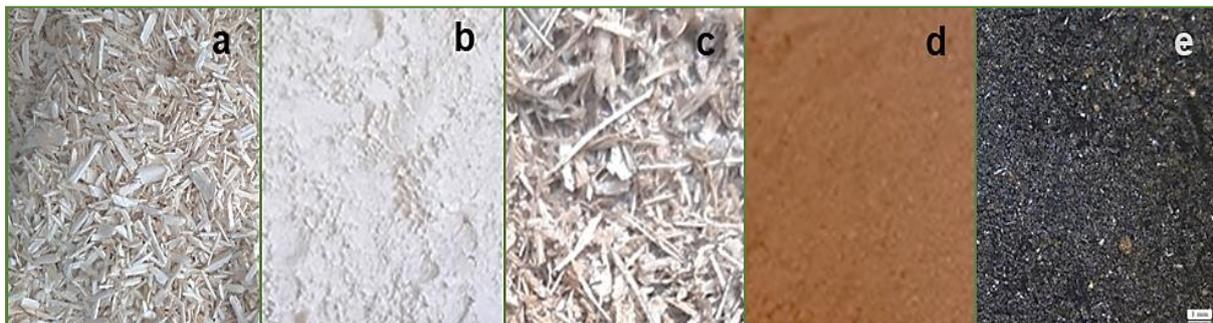


Figura 6- a. Cânhamo, b. cal, c. bagaço de cana-de-açúcar, d. pó de tijolo, e. cinza de bagaço de cana-de-açúcar  
Figura 6.

O cânhamo utilizado é da marca KANABAT, cultivado e processado na França (uma vez que ainda não há cânhamo cultivado e processado em Portugal até ao momento), pela companhia Chanvrière de l'Aube (LCDA), não tem nenhum tratamento. Segundo a documentação técnica da empresa, as características do cânhamo utilizado são as que se encontram na Tabela 8 e Tabela 9.

**Tabela 8 - Propriedades físicas da apara**

Característica	Medição
Densidade	100 to 110 kg/m <sup>3</sup> (dependendo da humidade relativa), frouxamente embalado, não comprimido
Absorção de água	198%
Absorção de água de elementos minerais	24 mEq per 100g de matéria-prima
Valor calórico	3804 cal/g
Condutividade térmica (10° C em estado seco)	0.0486 W/m.K

LCDA apud (Kropidłowska, 2019)

**Tabela 9- Composição química da apara**

Água	9 à 13%
Material seco	85 à 90% dos quais
Material orgânico total	97.5% numa base seca da qual:
Celulose líquida:	52%
Lignina:	18%
Hemicelulose:	9%
	Cálcio: 1% numa base seca
	Magnésio: 0,03% numa base seca
	Fósforo: 9mg/100g
	Potássio: 0,8% numa base seca
Minerals	Azoto total: 0,4 a 1% numa base seca
	Carbono total: 496 g/kg numa base seca
	C/N: 87
	Cinzas: 2%
	PH em suspensão a 10%: 6.7

(Kropidłowska, 2019)

O bagaço de cana-de-açúcar, da variedade Yuba, é proveniente da ilha de Madeira, obtido pela moagem em engenho de 3 cilindros e não lavado. Ainda assim, nunca exalou odor de fermentação e nem apresentou sabor doce. . O material encontrava-se armazenado em contentor fechado, mas foi seco previamente ao ar, dentro do laboratório. Dentro dos ligantes considerados, utilizou-se a cal aérea hidratada para a construção Lusical H100 (CL 90-S ), para aplicações ou materiais de construção e engenharia civil.

Em complemento, utilizou-se como pozolana a cinza de bagaço de cana-de-açúcar. A cinza utilizada neste estudo é produzida pela Corporação Montelimar que processa cana-de-açúcar para a produção de açúcar e mel e através da sua central de cogeração Green Power S.A., gera eletricidade limpa a partir de biomassa, tem como resíduos a cinza de bagaço cana-de-açúcar. E também se utilizou pó de tijolo usado, sendo um resíduo da construção, já processado e disponível no Laboratório de Materiais de Construção, da Universidade de Minho.

O pó de tijolo utilizado é um resíduo de construção que encontrava-se disponível no Laboratório de Materiais da Universidade do Minho, como parte de outro estudo sobre pastas ativadas alcalinamente com cinza volantes e incorporação de resíduos de construção, realizado em Julho de 2021.

Na Tabela 10 é possível verificar a composição química dos ligantes usados neste estudo (cinza de BCA, pó de tijolo e cal hidratada CL90) e valores de referência de cinzas de BCA referidas em outros estudos SBA, CSBA, SBA,SBAS.

**Tabela 10 Composição química dos materiais**

Autores	Katare, V.D., Madurwar, M.V. (2014)	Bahurudeen, A., Santhanam, M. (2014)	Chandrasekhar Reddy, K. (2021)	Almeida, F.C.R., Sais alt. (2019)	Universidade de Minho 2022 (FRX)	Pó de Tijolo Universidade de Minho 2021 (EDS)	Lusical H100 (Lhoist-Comercial)
Componentes	SBA	CSBA	SBA	SBAS	BCA	Tijolo	Cal Hidrat.
SiO <sub>2</sub> (%)	38.48	75.67	51.7	80.8	54.13	58.83	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	0.66	1.52	9.33	2.5	10.61	25.39	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	1.15	2.29	-	5.8	12.553	7.92	
CaO (%)	2.14	6.62	1.01	1.6	10.852	0.50	
MgO (%)	0.07	1.87	24.00	1.5	0.324	1.59	≤ 5
TiO <sub>2</sub> (%)		-	-	1.3	0.919	1.22	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	1.9	-	-	1.4	3.606		
SO <sub>3</sub> (%)		-	6.7	0.1			≤ 2
MnO (%)		-	-	0.1	0.324		
Na <sub>2</sub> O (%)	0.07	0.12	4.1	0.2		0.42	
K <sub>2</sub> O (%)		9.59	3.15	3.9	6.292	4.13	
Cu					0.04		
Zn					0.052		
Sr					0.155		
LOI (%)	49.67	-	-	0.7			
CO <sub>2</sub>							≤ 4
Cal Livre							≥ 80
CaO+MgO							≥ 90%

### 3.2 Metodologia e composição da mistura

#### 3.2.1 Composição das misturas

Para selecionar as misturas de referência do betão de cânhamo, consideram-se os diferentes estudos que indicaram melhores resultados mecânicos com o uso da cal, numa proporção cânhamo-cal de 25-75% até 30-70%, em massa, respetivamente. Além disso, considerou-se a tentativa de utilizar uma menor quantidade da cal, numa proporção 35-65%.

A tabela 2 descreve a composição das misturas para o novo compósito de cânhamo com bagaço de cana-de-açúcar. Na primeira fase são utilizadas as mesmas percentagens da mistura de referência, porém variando-se, separadamente, a percentagem dos agregados e dos ligantes, nomeadamente, o pó de tijolo e a cinza do bagaço de cana-de-açúcar.

Na segunda fase, realizaram-se misturas com os três ligantes combinados e, por fim, apenas com cal e cinzas. Também nesta fase, foi ainda adicionado um aditivo antifúngico e antibacteriano, o óleo de coco, que segundo algumas referências tem a função de reduzir a propagação deste micro-organismos em materiais naturais (Dayrit, 2015). Nesta fase foram escolhidas as misturas que têm menor quantidade de cal, com a intenção de se direcionar o estudo ao menor uso da cal e, por outro lado, aproveitar as cinzas do BCA e o pó de tijolo.

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Na terceira e última fase, realizou-se uma mistura adicional apenas com cal, cinza e óleo de coco, no sentido de otimizar as resistências de acordo com os resultados obtidos anteriormente.

**Tabela 11- Misturas realizadas**

Fase	Mistura	Agregados (%)	Percentagem de Agregados		Aglutinante (%)	Percentagem de Aglutinantes			Aditivo (%) Óleo de Coco
			Cânhamo (%)	BCA (%)		Cal Hidratada	Pó de Tijolo	Cinza BCA	
Fase 1	REF CCA-1	25	25		75	75			
	REF 2 CCA -2	30	30		70	70			
	REF 3CCA-3	35	35		65	65			
	CBCACA-1	25	75	25	75	75			
	CBCACA-2	30	50	50	70	70			
	CBCACA-3	35	25	75	65	65			
	CBCAPT-1	25	75	25	75		75		
	CBCAPT-2	30	50	50	70		70		
	CBCAPT-3	35	25	75	65		65		
	CBCA-CIBCA-1	25	75	25	75			75	
	CBCA-CIBCA-2	30	50	50	70			70	
	CBCA-CIBCA-3	35	25	75	65			65	
	Fase 2	CBCAZ-1A	30	75	25	70 (90/10)	90	5	5
CBCAZ-1B		30	75	25	70 (70/30)	70	15	15	5
CBCAZ-1C		30	75	25	70 (50/50)	50	25	25	5
CBCAZ-2A		30	50	50	70 (90/10)	90	5	5	5
CBCAZ-2B		30	50	50	70 (70/30)	70	15	15	5
CBCAZ-2C		30	50	50	70 (50/50)	50	25	25	5
CBCAZ-3A		30	25	75	70 (90/10)	90	5	5	5
Fase 3	CBCAZ-3B	30	25	75	70 (70/30)	70	15	15	5
	CBCAZ-3C	30	25	75	70 (50/50)	50	25	25	5
	CBCA-CCBCA-P1	25	75	25	75(75/25)	75		25	5

Nota; A proporção de água utilizada em cada mistura é equivalente a 125% da percentagem de cal.

### 3.2.2 Primeira campanha

Na Tabela 12 descreve-se as características observadas em cada mistura no estado fresco. Na composição de base do betão do cânhamo, ou seja, apenas com cal, pode-se observar a aderência da cal hidratada e o preenchimento dos espaços entre as aparas, tornando a mistura mais coesiva. Na formação do novo compósito, as aparas do BCA ficaram a preencher e unir as aparas do cânhamo, criando uma rede entre os espaços que, no betão de cânhamo comum, estavam preenchidos somente pela pasta da cal.

As misturas com maior coesão são CCA-1 e CBCACA-1, mas dentro da nova proposta a CBCA-CCBCA-P1, combinação de cal e cinza de bagaço de cana-de-açúcar, foi igual o melhor coesa, nesta mistura as aparas do cânhamo ficam totalmente cobertas, e pode-se perceber que a mistura de cal com as cinzas fica a cobrir ambas as fibras, como se pode ver na Figura 7.



**Figura 7-Mistura CBCA CIBCACAL P1, onde as fibras ficam cobertas com a mistura de cal e cinzas de bagaço de cana-de-açúcar**

Nas mistura das fase 2 e 3 foi adicionado o 5% de ligantes para calculo do peso do óleo de coco para avaliar as propriedades anti fungicida dele na mistura, o óleo foi misturado com o cânhamo antes de ser misturados com os demais ligantes e agregados. Ver Figura 8.



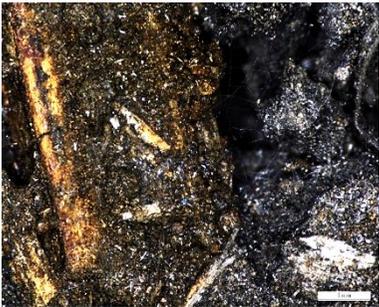
**Figura 8- Óleo de coco mais adição de cânhamo industrial**

Observou-se que algumas aparas ficaram mais cobertas do óleo que outras, e limitava a adesão dos ligantes na aparas do cânhamo de do bagaço de cana de açúcar na mistura, quando eram agregados todos os materiais.

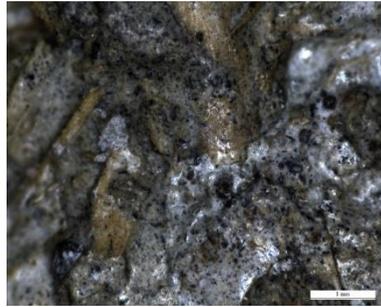
Tabela 12-Resultados de observação das misturas no estado fresco

Fase	Espécimenes	Água Adic. (%)	Tempo de Mistura	Tempo de vibração	Imagem geral	Observações
Fase 1	REF CCA-1	6.78	00:07:03	00:00:34		Maior coesão da mistura, as aparas ficaram totalmente cobertas e os espaços entre elas preenchidos pela pasta de cal. A média do tamanho da aparta é de 10.08 mm e a média dos vazios é de 0.39 mm. A percentagem média da adição de água foi de 9.28%.
	REF 2 CCA -2	10.49	00:07:54	00:00:53		
	REF 3CCA-3	10.56	00:04:15	00:00:54		
	CBCACA-1	2	00:05:02	00:00:27		As aparas do BCA ficam a preencher os espaços e a criar uma trama com as aparas do cânhamo. A pasta da cal fica a cobrir ambas as aparas. O tamanho médio das aparas de cânhamo é de 6.88mm e das de BCA é de 3.74 mm, sendo a média dos vazios de 1.34 mm. Nesta mistura foi adicionada uma média de 12.25% de água.
	CBCACA-2	6.3	00:05:14	00:00:48		
	CBCACA-3	28.44	00:10:18	00:00:39		
	CBCAPT-1	5.12	00:05:44	00:00:38		Esta mistura foi menos coesiva comparada com as misturas com cal. O pó de tijolo não consegue uma aderência uniforme nas aparas, fica em pequenas concentrações independentes, como pedras dentro da mistura. Aos 28 dias, surgiram fungos, em forma de fios brancos e coloração preta no provete, visíveis ao olho A adição média da água foi de 16.69%. O tamanho das aparas do cânhamo foi de 7.95 mm, das aparas de CBA 5.16 mm, e a média dos vazios foi de 0.98 mm.
	CBCAPT-2	21.3	00:06:23	00:00:46		
	CBCAPT-3	23.66	00:05:42	00:00:31		

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Fase	Espécimenes	Água Adic. (%)	Tempo de Mistura	Tempo de vibração	Imagem geral	Observações
	CBCACIBCA-1	9.29	00:05:44	00:00:39		Esta mistura com cinzas teve resultado idêntico à mistura de pó de tijolo, sendo pouco coesiva, seca e porosa. Aos 28 dias, surgiram fungos em forma de fios brancos, visíveis ao nível do microscópio. A adição média de água foi de 16.37%. O tamanho médio da apara do cânhamo é de 4.85mm, a apara do BCA é de 4.29mm e o tamanho médio dos vazios é de 0.711 mm.
	CBCACIBCA-2	15.55	00:02:28	00:00:31		
	CBCACIBCA-3	24.26	00:02:10	00:00:30		
Fase 2	CBCAZ-1 <sup>a</sup>	39.68	00:05:44	00:00:36		Na mistura pode-se ver uma separação mais marcada entre as fibras, vazios. O pó de tijolo ficou em pequenas concentrações independentes, as cinzas de BCA misturaram-se com a cal, a unir todos os materiais. A média de adição de água foi de 45.29%. O tamanho médio de apara do cânhamo é de 7.37 mm, a apara de BCA é de 4.82 mm e a média dos vazios é de 0.69 mm.
	CBCAZ-1B	55.61	00:06:02	00:00:40		
	CBCAZ-1C	40.56	00:04:17	00:00:42		
	CBCAZ-2 <sup>a</sup>	17.86	00:05:20	00:00:35		A proporção dos agregados foi de 50% para ambos, mas o BCA fica a preencher mais os espaços vazios, pois em volume é muito maior que a fibra do cânhamo. O pó de tijolo ficou em pequenas concentrações independentes, a cinza de BCA ficou misturada com a cal. A média de adição de água foi de 27.48%. A média do tamanho do cânhamo é de 8.34 mm, a apara de CBA 8.06 mm e a média dos vazios é de 0.55mm.
	CBCAZ-2B	17.14	00:05:03	00:00:38		
	CBCAZ-2C	47.45	00:05:11	00:00:42		

## Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Fase	Espécimenes	Água Adic. (%)	Tempo de Mistura	Tempo de vibração	Imagem geral	Observações
	CBCAZ-3 <sup>a</sup>	13.33	00:03:42	00:00:32		A mistura fica mais compacta com a apara de BCA. O pó de tijolo ficou em pequenas concentrações independentes, a cinza de BCA ficou misturada com a cal, a quantidade da cal ficou em menor proporção, resultando em uma mistura mais seca e porosa. O tamanho médio da apara do cânhamo é de 5.84 mm, da apara de BCA 4.45 mm, e a média dos vazios é de 1.066 mm.
	CBCAZ-3B	22.96	00:04:55	00:00:33		
	CBCAZ-3C	24.87	00:05:32	00:00:39		
Fase 3	BCA CIBCACAL P1	24.65	00:06:11	00:00:27		Uma boa mistura da pasta da cal com a cinza, com boa coesão, que ficou a cobrir completamente ambas as aparas, mantendo a características do betão de cânhamo, mas preenchendo os espaços com aparas de BCA. A média de adição da água foi de 24.65% para conseguir a trabalhabilidade da mistura. O tamanho médio da apara do cânhamo é de 6.8 mm, da apara do BCA 3.82 mm e a média dos vazios 0.58 mm.

### 3.2.3 Seleção de misturas para segunda campanha

Na Tabela 13 apresenta-se as misturas que foram selecionada para a segunda campanha para avaliação da durabilidades, caracterização térmica e degradação biológica. Foram selecionados de acordo com os seguintes critérios;

- Maior resistência mecânica à compressão
- A percentagem mais baixa permitida de utilização de cal nas misturas
- A melhor percentagem de BCA nas misturas

**Tabela 13- Composição das misturas selecionadas para segunda campanha**

Fase	Mistura	Agregados (%)	Percentagem Agregados		Aglutinante (%)	Percentagem de Aglutinantes e			Aditivo (%) Óleo de Coco
			Cânhamo (%)	BCA (%)		Cal Hidratada	Pó de Tijolo	Cinza BCA	
Misturas Selecionadas	REF CCA-1	25	25		75	75			
	CBCACA-1	25	75	25	75	75			
	CBCAPT-1	25	75	25	75		75		
	CBCA-CIBCA-1	25	75	25	75			75	
	CBCAZ-1C	30	75	25	70 (50/50)	50	25	25	5
	CBCAZ-2C	30	50	50	70 (50/50)	50	25	25	5
	CBCAZ-3C	30	25	75	70 (50/50)	50	25	25	5
	CBCA-CCBCA-P1	25	75	25	75(75/25)	75		25	5

Nota; A proporção de água utilizada em cada mistura é equivalente a 125% da percentagem de cal.

Uma vez definidas as misturas a avaliar com os diferentes ensaios, as amostras foram preparadas com as dimensões necessárias para os diferentes ensaios, especialmente o formato 150x150x5mm, para os ensaios de erosão e caracterização térmica, e 10x10x10mm para os ensaios de degradação biológica, ver a Figura 9 o processo de moldagem das amostras.



**Figura 9-Processo de moldagem segundo ensaios aplicados**

### 3.3 Ensaios realizados métodos e normas

### 3.4 Desempenho mecânico

#### 3.4.1 Resistência a flexão

A avaliação da resistência a flexão seguiu a normativa BS EN 1015-11 2019 (Flexão) ajustada às condições do material de origem natural, com a aplicação de 20N/s e a considerar o deslocamento da força aplicada sobre o provete como limite do teste, até a rutura do provete.

$$f = 1,5 \text{ Feu/bd}^2$$

(1)

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Onde

F é a carga máxima aplicada ao corpo de prova, em newtons;

eu é a distância entre os rolos de suporte, em milímetros;

b é a largura do corpo de prova, em milímetros;

d é a profundidade do corpo de prova, em milímetros.

Na primeira campanha, foram testados 6 provetes de dimensões de 40mmx40mmx160mm por mistura, no 28 dia de cura.

### 3.4.2 Resistência a compressão

O betão do cânhamo não tem normativas para o processo de avaliação das forças aplicadas, mas, para efeito deste estudo, seguiu-se a normativa BS EN 1015-11 2019 (compressão), ajustada às condições do material de origem natural, com a aplicação de 20N/s e a considerar o deslocamento da força aplicada sobre o provete como limite do teste, ainda que não se produz a rutura do provete.

$$f = F/b \cdot d \quad (2)$$

F é a carga máxima aplicada ao corpo de prova, em newtons;

b é a largura do corpo de prova, em milímetros;

d é a profundidade do corpo de prova, em milímetro.

Na primeira campanha, foram testados 6 provetes de dimensões 40mmx40mmx160mm por mistura, no 28 dia de cura

### 3.5 Ensaio de condutibilidade térmica

Para avaliação das propriedades térmicas do novo compósito, utilizou-se o protótipo Prototherm. A metodologia seguida para este ensaio foi o procedimento interno do LMC (Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho), adaptado a partir da norma ISO-9869-1994. (Gomes F, 2021).

O ensaio consiste na localização de uma fonte de calor e um dissipador no extremo trapezoidal, na direção de uma seção retangular com uma largura de 60 cm. Foram dispostos sensores de temperatura para medir as temperaturas do ambiente, da fonte de calor, do dissipador, do canal interno Input antes da amostra ser testada, e do canal interno Output depois de a amostra ser testada. Nas amostras das diferentes misturas foi instalado um controlador de fluxo de calor.

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Neste ensaio, a fonte de calor foi ajustada em 200 °C, para se obter uma temperatura do canal interno Input em média de 39-40 °C constante durante 24 horas, de forma a obter essa temperatura média em ambos os canais durante um intervalo de tempo onde haja estabilização do fluxo de calor. Para o cálculo desse parâmetro aplicaram-se as seguintes equações:

Neste ensaio, a fonte de calor foi ajustada em 200 °C, para se obter uma temperatura do canal interno Input em média de 39-40 °C constante durante 24 horas, de forma a obter essa temperatura média em ambos os canais durante um intervalo de tempo onde haja estabilização do fluxo de calor. Para o cálculo desse parâmetro aplicaram-se as seguintes equações:

$$U=Q/\Delta T \quad (3)$$

Onde:

$U$  é o coeficiente de transmissão térmica, em  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ;

$Q$  é o fluxo de calor, em  $W/m^2$ ;

$\Delta T$  é a diferença de temperatura, em  $^\circ C$ .

$$U=1/R_{si}+\Sigma Rt+R_{si} \quad (4)$$

Onde:

$U$  é o coeficiente de transmissão térmica, em  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ;

$Rt$  é a resistência térmica, em  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ .

$R_{si}$  é a resistência térmica superficial interior, em  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ .

No cálculo da resistência térmica, seguiu-se a equação 5

$$Rt=e/\lambda \quad (5)$$

Onde:

$Rt$  é a resistência térmica, em  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ;

$e$  é a espessura do material, em metros (m);

$\lambda$  é a condutibilidade térmica, em  $W/m \cdot ^\circ C$ .

Para aplicação deste ensaio, foi testado um provete de dimensões 150mm x 150mm x 50mm por mistura, com um tempo de cura de 60 dias.

### 3.6 Ensaios de durabilidade

#### 3.6.1 Coeficiente de absorção de água por capilaridade

O ensaio de capilaridade foi realizado segundo as normativas BS EN 1015-18 para a determinação do coeficiente de absorção de água por ação capilar do betão endurecido e a normativa C 1585-04 para a

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Medição da taxa de absorção de água para betões hidráulicos, considerando-se as características do materiais deste estudo.

Após um período de secagem em estufa a 60 °C, de forma que as amostras atingissem uma massa constante, elas foram preparadas com uma cobertura de silicone nas faces laterais, deixando livres só as faces superior e inferior, sendo que esta última foi exposta a uma superfície húmida.

- Os provetes foram colocados na estufa à mesma temperatura de 60 °C e pesados novamente até apresentarem uma massa constante, com uma variação menor ou igual a 0.2%.
- Posteriormente, os provetes foram colocados num recipiente tampado, com a face descoberta em contacto direto com os oásis. O recipiente foi preparado com 60 mm de água com uma base feita de oásis de 70 mm de espessura, em contacto direto com a água. Os oásis foram preparados com 24 horas de antecedência, submergidos em água a temperatura ambiente para garantir a sua total saturação.
- Foi escolhida uma escala de tempo considerando a textura e natureza do material, para se fazer um registo durante 24 horas, atingindo valores constantes de controle de peso.
- A equação aplicada para obtenção do índice de capilaridade foi a seguinte:

$$I = m/a \cdot d \quad (6)$$

Em que:

I= Absorção

m=a variação de massa do espécime em gramas, no momento t

a=a área exposta do espécime, em mm<sup>2</sup>

d=densidade da água em g/mm<sup>3</sup>

- Para a aplicação de este ensaio, as dimensões das amostras são de 50mmx50mmx50mm para 5 misturas e 40mmx40mmx160mm para 3 misturas, com 3 provetes por mistura e tempo de cura de 90 dias.

### 3.6.2 Resistência gelo-desgelos

Para a avaliação da resistência a baixas temperaturas e ao processo de degelo, foi seguida a norma ASTM C 666/C 666M - 03. As 8 misturas selecionadas foram sujeitas a ciclos de gelo e degelo, de acordo com os seguintes procedimentos, devido às características dos materiais neste estudo:

- Após um período de cura de 28 dias, as misturas ficaram sujeitas a um controlo de massa para caracterizar as condições iniciais das amostras.

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

- Na câmara de gelo-desgelo foi colocada uma base de plástico com altura a evitar que as amostras ficassem submersas.
- As amostras estiveram em contacto com um nível de água de 15 mm, para se ter o efeito de absorção pelas fibras, considerando que a face estava diretamente exposta a variações climáticas.
- As amostras estiveram sujeitas a ciclos de gelo e degelo de 21600 segundos para cada ciclo, totalizando 10 ciclos, definidos conforme os materiais de estudo.
- Para aplicação deste ensaio, as dimensões das amostras são de 50mmx50mmx50mm para 5 misturas e 40mmx40mmx160mm para 3 misturas, sendo 3 provetes por mistura, com um tempo de cura de 60 dias.

### 3.6.3 Degradação por exposição à simulação de chuva.

Para avaliação das misturas à degradação por exposição a jato de água para simulação de chuva foi utilizada a proposta de ensaio acelerado de exposição a chuvas dirigidas de Rezende et al. (2019), considerando-se as características do materiais de este estudo.

O tempo de exposição foi calculado por meio da equação:

$$T=50.P.C.A^{-1} \quad (7)$$

Em que:

t = Tempo de exposição ao teste (min),

P = Precipitação média anual (litros.m<sup>-2</sup>),

C = Caudal (litros.min<sup>-1</sup>) e

A = Área da face do provete a ser ensaiado.

Após o ensaio, as amostras tiveram sua massa húmida registada e passaram por um processo de secagem até terem massa constante. Para o cálculo de perda de massa decorrente da degradação por exposição a chuva, aplicaram-se as equações seguintes:

$$Abch=(\mu - msf).\mu^{-1}.100 \quad (8)$$

$$Pch=(msi-msf).msi^{-1}.100 \quad (9)$$

Em que:

Abch = absorção por chuvas,

Pch = desgaste por erosão,

msi = massa seca inicial,

msf = massa seca final e

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

mu = massa húmida.

Os efeitos serão avaliados por ensaio de resistência mecânica a flexão, de acordo com a normativa BS EN 1015-11 2019 (Flexão), em comparação com uma amostra que não foi submetida a esta exposição, além de controle de peso antes e depois do ensaio. Para aplicação deste ensaio, as dimensões das amostras são de 150mmx150mmx50mm, com 3 provetes para cada uma das 8 misturas, com um tempo de cura de 56 dias.

#### **3.6.4 Exposição a sais**

O teste de exposição a sais foi realizado em conformidade com a norma BS 3900-F2 1973 para a determinação da resistência à humidade, e, para o teste de sal neutro, com a norma, ajustados os procedimentos ao material e às condições de laboratório

- As amostras testadas tinham 28 dias de cura.
- A preparação do meio líquido a ser aquecido para produzir vapor é de 1,5 de água potável mais 200 g aquecidos a 90 °C.
- Num recipiente com tampa, as amostras são colocadas sobre uma malha que permite a livre circulação do vapor.
- O intervalo de temperatura do experimento situa-se entre 24 e 48 °C, com ciclos de 24 horas para submeter as amostras ao vapor do meio líquido previamente preparado.
- A duração do teste é de 54 dias.
- O método para avaliar o efeito do vapor de sais é testar a resistência mecânica à compressão, retomando as normativas BS EN 1015-11 2019 (compressão), e comparar os resultados dos testes, aos 28 dias, com o das amostras sem nenhuma ação sobre elas. Adicionalmente, é feito o controle do peso no início e final do ensaio.
- Para a aplicação deste ensaio, as dimensões das amostras são de 50mmx50mmx50mm para 5 misturas e 40mmx40mmx160mm para 3 misturas, com 3 provetes por mistura e um tempo de cura de 28 dias.

#### **3.7 Ensaio de degradação biológica**

Os ensaios realizados procuram testar o processo de decomposição do compósito à base de cânhamo e bagaço de cana-de-açúcar com os ligantes selecionados, a saber: cal hidratada, cinza de bagaço de cana-de-açúcar e pó de tijolo.

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Os ensaios foram baseados na observação, promovendo as condições ideais ao crescimento de microrganismos de interesse (bactérias e fungos), nomeadamente os meios de cultura e a temperatura, seguindo as normas de segurança vigentes no Laboratório de Microbiologia do Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil da Universidade de Minho e a norma JIS L 1902:2008 para a determinação da resistência aos fungos de materiais isolantes e revestimentos.

O procedimento preliminar para a aplicação dos ensaios de degradação biológica foi o seguinte:

- a. Seleção das misturas com melhores resultados mecânicos, para elaboração de amostras de 1 cm<sup>3</sup>. Foram preparadas 168 amostras feitas em moldes de silicone.
- b. As amostras de 1cm<sup>3</sup> foram deixadas em repouso numa câmara com temperatura (T) controlada a 17 °C e humidade relativa (RH) de 75% por 28 dias (Arizzi, A., Viles, H., Martín-Sanchez, I., Cultrone, G., 2016), sendo este o tempo de cura para alcançar a resistência mecânica e evitar contaminações do ambiente.
- c. Para cada teste foram utilizadas 3 amostras de cada tipologia para efeito estatístico, deixando-se a mesma quantidade de amostras como referência. Estas amostras de referência foram mantidas numa câmara com ambiente controlado, onde foi feito um registo dos seus pesos.
- d. Os testes aplicados foram: exposição a câmara húmida, exposição a bactérias e exposição a fungos.

### **3.7.1 Exposição a câmara húmida,**

Para desenvolvimento de fungos aéreos que crescem a temperaturas entre 24 e 26 °C, as amostras foram incubadas numa estufa com T a 25 °C, em ambiente húmido garantido pela presença de um reservatório de água destilada, sobre o qual uma tela foi posicionada para a disposição das amostras, durante 4 semanas.

A cada 7 dias, a massa das amostras foi registado, acompanhado de um registo fotográfico do aspeto das amostras (com o intuito de identificar presença de microrganismos ou dos seus subprodutos), sempre à mesma hora do início do teste.

### **3.7.2 Exposição a bactérias**

O teste foi iniciado com a preparação das bactérias escolhidas, nomeadamente as bactérias Gram-positivas *Micrococcus luteus* e *Bacillus subtilis*, via produção de inóculos bacterianos em caldo de nutrientes (também conhecido como Nutrient Broth, o ideal para o crescimento destas duas bactérias). Para tal, duas ou três colónias bacterianas são recolhidas de placas de agar (repicagem bacteriana

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

previamente feita a partir de stocks a  $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e incubadas em 20 do meio de cultura a  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  e 120 rpm, por um período de 12 a 18 horas.

Após esse período, alíquotas de 200  $\mu\text{L}$  do inóculo bacteriano desenvolvido são colocadas em placas de agar de nutrientes (também conhecido como Nutrient Agar) e espalhadas com recurso a espalhador para cobrir completamente a superfície. As amostras são colocadas por cima do agar, na zona central, e incubadas por 24 e 72 h a  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  (sem agitação) para verificar se induzem ou inibem o crescimento bacteriano.

O controle do ensaio é visual (não é necessário controle de peso), feito após cada período de incubação, através da observação do comportamento das bactérias em contacto com as amostras, seguido de registo fotográfico e determinação da dimensão das zonas de inibição ("halos") se presentes — evidência de inibição de ação bacteriana.

### 3.7.3 Exposição a fungos

O procedimento aplicado para examinar o efeito nas amostras da exposição a fungos foi muito semelhante ao dos ensaios com bactérias, diferindo na concentração inicial, que neste caso não foi passível de determinação uma vez que o crescimento é iniciado a partir de esporos, na T de crescimento que consiste na temperatura ambiente, e no tempo de crescimento que é muito mais longo que o das bactérias (cerca de uma semana). Os fungos selecionados foram o *Cladosporium herbarium* e *Penicillium chrysogenum*, fungos comumente encontrados na madeira.

O crescimento dos fungos é iniciado a partir da recolha de esporos de placas de stock em caldo de sabouraud dextrose (também conhecido como Sabouraud Dextrose Broth) e incubadas à temperatura ambiente. Em seguida, alíquotas de 200  $\mu\text{L}$  são depositadas em placas de agar de sabouraud dextrose (também designado como Sabouraud Dextrose Agar) e espalhadas para cobrir toda a superfície com recurso a um espalhador. As amostras são, então, colocadas no centro das placas, armazenadas em recipientes plásticos, e incubadas a temperatura ambiente por 28 dias.

O controle do ensaio é visual, acompanhado pela quantificação dos pesos das amostras no início e final do ensaio. O registo fotográfico do comportamento dos fungos é feito a cada 7 dias, durante 4 semanas, recolhendo evidências do comportamento de indução ou inibição de crescimento dos fungos. Toda a manipulação dos fungos é realizada no interior de uma câmara de fluxo laminar, por forma a evitar o contato físico direto com as amostras, uma vez que os esporos emitidos pelos fungos podem ser prejudiciais às pessoas ou contaminar o ambiente laboratorial envolvente.

### 3.8 Resultados

#### 3.8.1 Desempenho mecânico

##### 3.8.1.1 Resistência a flexão

Na Figura 10, apresentam-se os resultados obtidos, onde se pode verificar que o betão de cânhamo perde resistência com a redução da quantidade de material ligante. Comparando resultados para a percentagens iguais de ligante, verifica-se que: relativamente à adição de BCA, quando a quantidade de ligante é 75% há apenas um ligeiro aumento (5,26%) da resistência com a adição de 25% de BCA; quando a quantidade de ligante é 70%, verifica-se um aumento considerável da resistência (50%) com a adição de 50% de BCA; e quando a quantidade de ligante é 65% verifica-se uma redução na resistência de 37,5% com a adição de 75% de BCA.

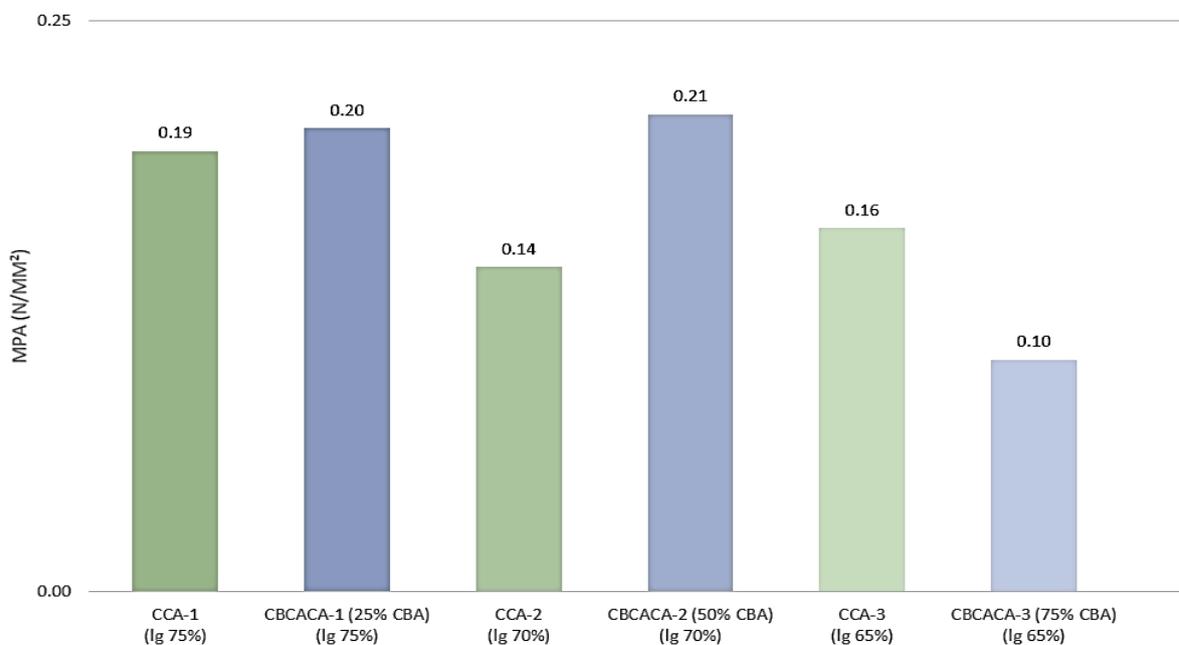


Figura 10-Resistência a flexão das misturas da fase 1

##### 3.8.1.2 Resistência a compressão

Como se observa na Figura 11, relativamente ao betão de cânhamo com diferente quantidade de ligante, os resultados obtidos não revelam a mesma tendência decrescente, mas este facto pode dever-se a alguma diferença durante a compactação.

Comparando resultados com a adição de BCA para a percentagens iguais de ligante, verifica-se que: quando a quantidade de ligante é 75% existe um acréscimo de 24,24% na resistência com a adição de 25% de BCA; quando a quantidade de ligante é 70% a resistência aumenta em 19,35% com a adição de 50% de BCA, mas quando a quantidade é de 65% de ligante, a adição de 75% de BCA reduz a resistência em 47,37%. Logo, verifica-se um comportamento semelhante ao observado na flexão, em que se verifica que a adição de 75% de BCA é prejudicial comparando com a mistura apenas com cânhamo.

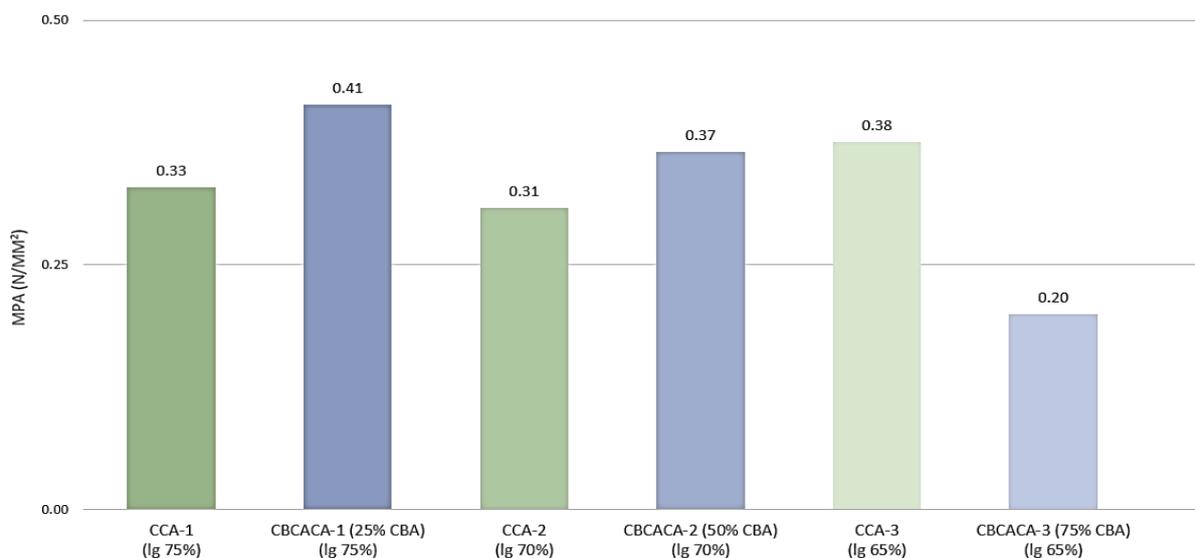


Figura 11-Resistência a compressão de CCA-CBCACA da fase 1

Na Tabela 14 apresentam-se os resultados das misturas por cada fase. Na fase 1, as misturas tendem a diminuir de força quando a quantidade de BCA é aumentada em 75% e a quantidade de aglutinante é reduzida para 65%.

Na fase 2, os resultados não variam consideravelmente entre eles porque se mantém a mesma percentagem de 30% agregada e 70% aglutinante, variando as quantidades de cada material de acordo com estas percentagens. Os melhores resultados são obtidos com misturas em que 75% dos agregados são cânhamo e 25% BCA, e no caso de aglomerantes, 70% cal, 15 cinzas e 15 poeiras.

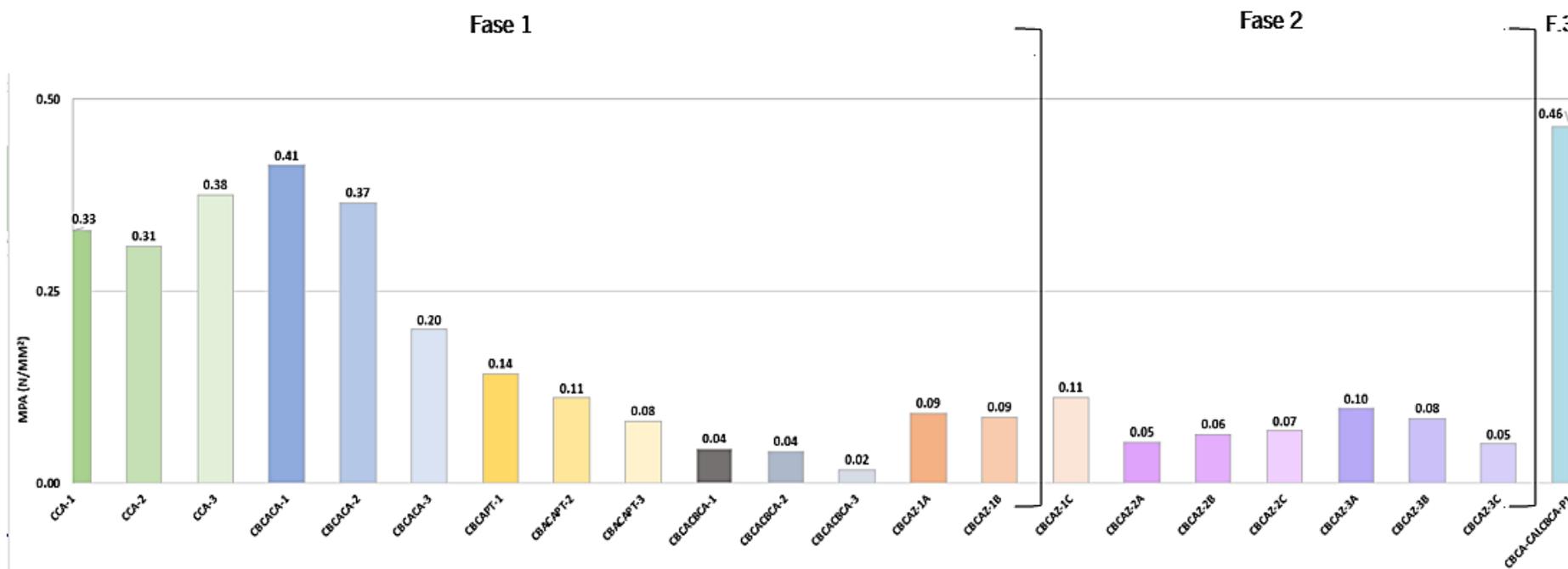


Figura 12- Resistência a compressão das misturas

Na fase 3, foi a mistura com melhor desempenho de todas as misturas produzidas, 25% de agregados, 25% de CBCA-75% de cânhamo, e 75% de ligantes, com 25% de cinza de BCA e 75% de cal com 0,46N/mm<sup>2</sup>.

**Tabela 14- Resultados de ensaio de resistência a compressão por fases**

Fase	Mostra	Mpa (N/mm <sup>2</sup> )
Fase 1	CCA-1	0.33
	CCA-2	0.31
	CCA-3	0.38
	CBCACA-1	0.41
	CBCACA-2	0.37
	CBCACA-3	0.20
	CBCAPT-1	0.14
	CBACAPT-2	0.11
	CBACAPT-3	0.08
	CBCACBCA-1	0.04
	CBCACBCA-2	0.04
	CBCACBCA-3	0.02
	Fase 2	CBCAZ-1A
CBCAZ-1B		0.09
CBCAZ-1C		0.11
CBCAZ-2A		0.05
CBCAZ-2B		0.06
CBCAZ-2C		0.07
CBCAZ-3A		0.10
CBCAZ-3B		0.08
CBCAZ-3C		0.05
Fase 3	CBCA-CALCBCA-P1	0.46

Pode-se confirmar na Figura 12 que o pó de tijolo não melhora as propriedades mecânicas do betão. Como concluído por Sinka & Sahmenko (2013) em seu estudo feito com compósitos de cânhamo com cal hidráulica e o tijolo moído como aditivo pozolânico, neste estudo o tijolo moído apresentou pouca atividade hidráulica e só poderia ser utilizado como substituto da cal para micro preenchimento, reduzindo custos, mas não para aumentar a resistência à compressão.

### 3.8.2 Ensaio de condutibilidade térmica

Para aplicação dos teste térmicos, foram utilizadas amostras de 15x15x5 cm das misturas selecionadas para a segunda campanha, com um peso médio de 598.35 g e tempo de cura de 56 dias.

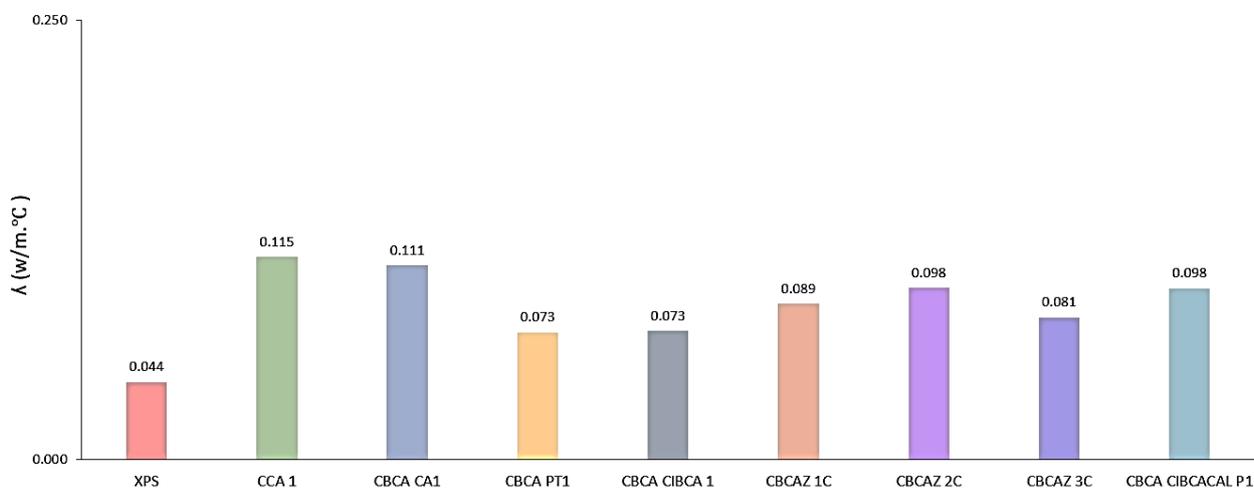
Para o efeito comparativo testou-se uma placa de poliestireno extrudido de 0.03 m, para verificar os resultados com o indicado na ITE50, na

Tabela 15 condutibilidades térmicas para isolantes térmicos, no caso do poliestireno extrudido é de 0.037, no caso do nosso ensaio foi 0.044 muito próximo ao indicado.

**Tabela 15- Valores das propriedades térmicas das misturas**

Material	Fluxo de calor (W/m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .°C)	$\lambda$ (W/m.°C)	Rt (m <sup>2</sup> .°C/W)	ITE50 - $\lambda$ (W/m.°C)	Espessura (m)
XPS	27.25	2.40	0.044	0.677	0.037	0.030
CCA 1	43.23	6.41	0.115	0.416		0.048
CBCA CA1	45.25	5.28	0.111	0.449		0.050
CBCA PT1	28.74	2.74	0.072	0.625		0.045
CBCA CIBCA 1	28.58	2.39	0.073	0.679		0.050
CBCAZ 1C	39.12	3.58	0.089	0.540		0.048
CBCAZ 2C	44.11	4.53	0.098	0.481		0.047
CBCAZ 3C	34.32	3.11	0.081	0.582		0.047
CBCA-CCIBCA-P1	43.93	4.36	0.098	0.489		0.048

Na Figura 13, a comparação dos resultados entre misturas, mostra que a mistura CBCA PT1, à base de pó de tijolo, tem a menor condutibilidade térmica, seguida da mistura à base de cinza de bagaço de cana-de-açúcar, CBCA CIBCA 1, com valores muito próximos, na média de 0.07 W/m.°C. As misturas de CBCAZ apresentam valores muito próximos entre si, na média de 0.089 W/m.°C, enquanto que a mistura a base somente de ligantes de cal e cinza de bagaço de cana-de-açúcar fica mais perto dos valores obtidos pelas misturas a base do ligante de cal, CCA1 e CBCA CA1, cujos resultados são compatíveis com os encontrados na literatura, entre 0.06-0.14 W/m°C (Abdellatef e Kavgic,2020).



**Figura 13- Condutibilidade térmica das misturas**

Nas Figura 13 pode ser observar que os resultados obtidos dos ensaios verificou-se que nenhum das misturas está dentro dos parâmetros para ser considerado material isolante térmico de acordo com o ITE50, para ser considerado isolante térmico, um material deve apresentar uma condutibilidade térmica inferior a 0.065 W/m°C e uma resistência térmica superior a 0.030 m<sup>2</sup>°C/W., relativamente à resistência térmica, na Figura 14 mostra que todas as misturas apresentam uma boa resistência

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

térmica, quando comparadas à amostra de referência (XPS), com resultados superiores a  $0.030\text{m}^2\text{C}/\text{W}$  e numa média de  $0.533\text{m}^2\text{C}/\text{W}$ .

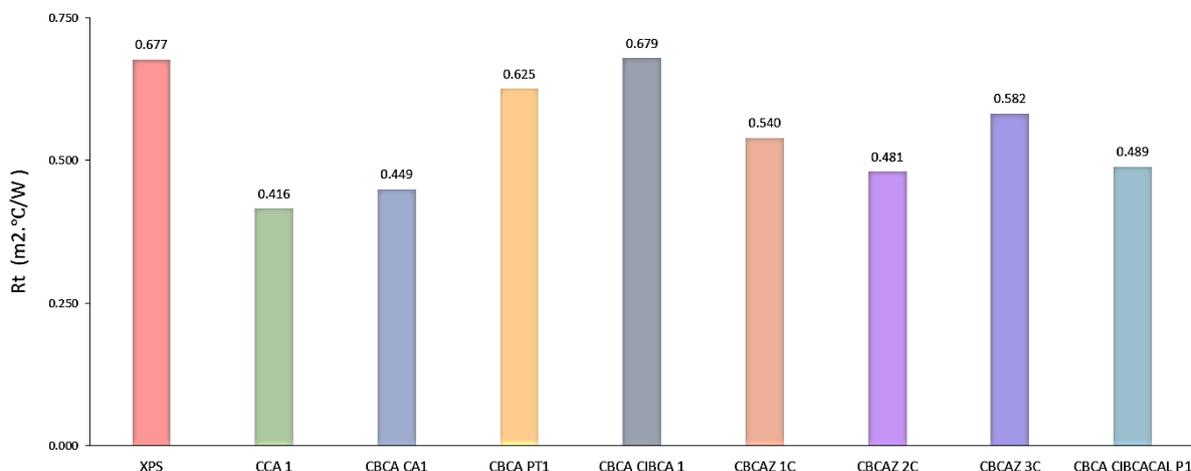


Figura 14-Resistência térmica das misturas

Comparando a mistura de BCA/Cal, (BC1) do estudo de Patrícia Leão de Sousa (2021), tem como resultado de coeficiente de condutibilidade  $0.12\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ , mantém-se próximos os valores obtido também com cal.

De acordo com os estudos realizados por Dhakal, “Os resultados experimentais destacam a influência significativa do ligante na densidade e condutividade térmica do material final. As medições de condutividade térmica variaram de  $0,074$  a  $0,103\text{W}/\text{mK}$ ” (Dhakal et al., 2017), comparável aos resultados do betão de cânhamo.

### 3.8.3 Ensaios de durabilidade

#### 3.8.3.1 Coeficiente de absorção de água por capilaridade

Na Figura 15 são vistas as amostras impermeabilizadas nas faces laterais, deixando descobertas as faces superior e inferior. Estas foram colocadas em contato direto com uma base de 4 oásis previamente preenchidos de água, no tempo exato para o início do ensaio.



Figura 15 Vista do ensaio de absorção por capilaridade - amostras sobre oásis

Na Tabela 16, apresentam-se os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade, nomeadamente a média de pesos das 3 amostras por mistura, e o incremento em percentagem pela absorção da água das 8 misturas escolhidas, com uma área de 0.0025m<sup>2</sup>.

Tabela 16- Peso, média e máxima percentual ao longo do ensaio de absorção por capilaridade

Mistura	Tempo (min)												Média %	Max %
	0.00 P(g)	5.00 P(g)	10.00 P(g)	15.00 P(g)	30.00 P(g)	60.00 P(g)	90.00 P(g)	120.00 P(g)	240.00 P(g)	360.00 P(g)	480.00 P(g)	1440.00 P(g)		
CAA-1	52.90	57.40	59.23	61.30	64.27	69.13	72.83	75.50	80.67	81.67	82.20	84.50	4.28	7.83
CBCACA-1	53.61	56.13	57.60	59.23	62.27	67.87	71.07	75.70	81.67	83.10	83.47	83.47	4.29	8.93
CBCAPT-1	51.70	53.10	54.63	55.60	57.83	62.17	65.60	69.70	79.33	84.10	86.40	90.80	4.95	12.15
CBCACBCA-1	37.00	43.30	47.23	51.73	59.67	69.33	73.57	76.17	82.20	84.37	85.90	93.83	7.90	15.94
CBCAZ-1C	62.50	62.57	62.57	62.63	62.67	62.67	62.67	62.67	62.77	62.83	63.07	63.77	0.09	0.36
CBCAZ-2C	61.00	61.03	61.10	61.10	61.13	61.20	61.23	61.40	61.50	61.70	61.83	62.40	0.14	0.38
CBCAZ-3C	59.00	59.07	59.03	59.13	59.13	59.20	59.23	59.27	59.30	59.47	59.47	60.10	0.08	0.28
CBCA-CCIBCA-P1	66.17	66.20	66.20	66.23	66.23	66.30	66.33	66.40	66.47	66.63	66.67	80.87	0.08	0.29

As misturas à base de ligantes com cal, CCA-1 e CBACACA-1, têm uma média de aumento de 4.29%, é ligeiramente maior com a adição de BCA, mas nada relevante, com valores máximos chegando até 8.93% no caso da mistura CBCACA-1.

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

A mistura CBCAPT-1, com ligante de pó de tijolo, apresenta características particulares, com um incremento de 4.95% pela absorção da água. No entanto, a mistura a base de cinza de bagaço de cana-de-açúcar foi a que apresentou o maior percentual de incremento, 7.90%, além de os seus provetes terem uma média de incremento de até 15.94% em um intervalo de 60 minutos.

No bloco das amostras com variações de ligantes, o percentual médio de peso foi mínimo, numa média de 0.10% e percentual máximo de 0.34%. Nota-se que o maior percentual é o da mistura com 50% de ambas as fibras, e que não há variação no caso 25-75%, tanto para o cânhamo como para o BCA, mantendo-se os mesmo indicadores do caso de CBCA-CCIBCA-P1, que tem a mesma percentagem de fibras. Essa condição se confirma com o cálculo de coeficiente por capilaridade, mostrado na Figura 16.

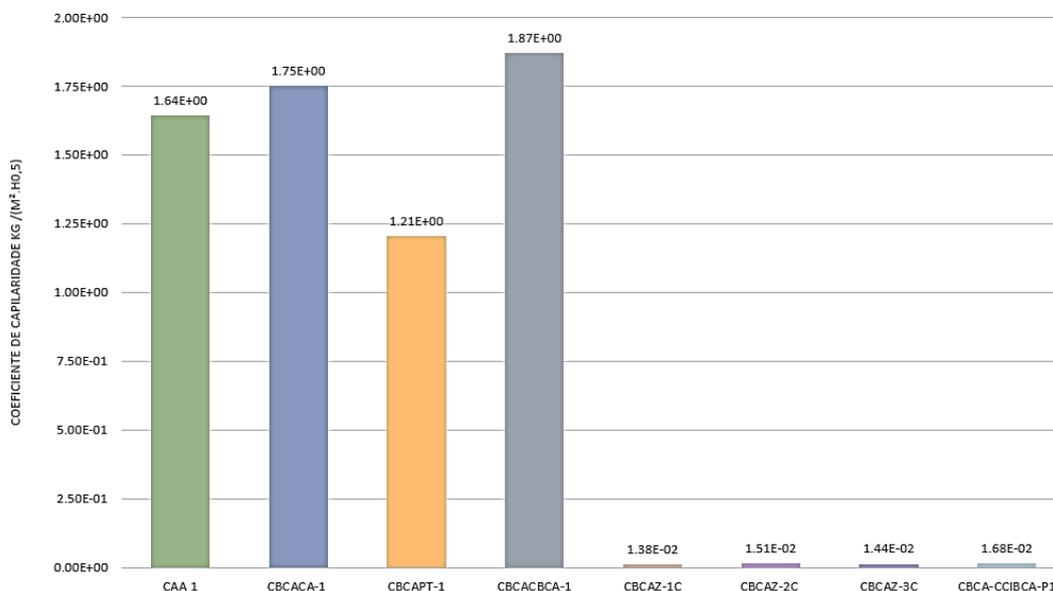


Figura 16-Coefficiente de absorção de água por capilaridade

Na Figura 17 observa-se o comportamento das amostras no tempo, em contacto com água, até alcançarem estabilidade. As amostras da fase 2 e 3 têm uma tendência linear, com uma variação imperceptível.

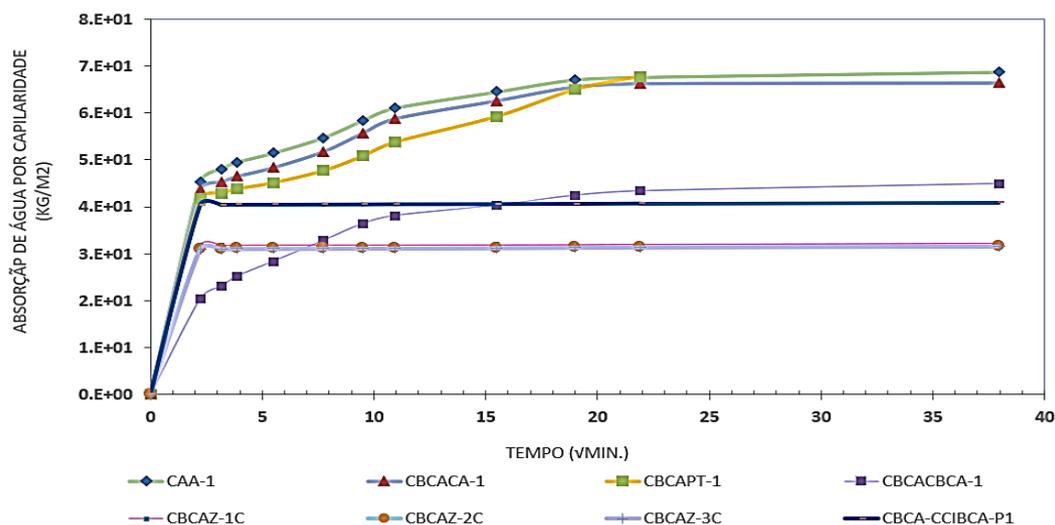


Figura 17-Absorção de água pelas amostras no decorrer do tempo

### 3.8.3.2 Gelo-desgelo

Na Tabela 17 apresentam-se as características das amostras antes e depois do ensaio de gelo/desgelo. Inicialmente estava prevista a realização de até 10 ciclos, seguindo a normativa para betões de baixa resistência, mas neste estudo optou-se por continuar os ciclos até que as amostras ficassem visivelmente danificadas.

Tabela 17- Densidade das misturas antes e depois do ensaio de gelo/desgelo

Mistura	P Inicial (g)	Densidade I (g/cm³)	P Final (g)	Densidade F (g/cm³)	P Seco (g)	Densidade S (g/cm³)	Perda de Densidade (%)	Desgelo (c)	Gelo (c)
CAA-1	140.37	0.53	235.17	0.867	132.19	0.487	8.93	4.05	3.00
CBCACA-1	138.50	0.58	248.60	0.994	137.09	0.548	6.09	4.05	3.00
CBCAPT-1	125.70	0.46	291.78	1.061	112.13	0.408	10.75	7.34	7
CBCACBCA-1	39.90	0.32	114.78	0.905	31.87	0.252	20.47	15.95	15.00
CBCAZ-1C	54.37	0.43	74.46	0.594	52.49	0.419	2.59	15.95	15.00
CBCAZ-2C	53.03	0.43	71.35	0.588	51.62	0.425	1.35	15.95	15.00
CBCAZ-3C	53.27	0.46	72.45	0.624	51.16	0.446	3.97	15.95	15.00
CBCA-CCIBCA-P1	67.80	0.55	94.21	0.765	66.42	0.539	1.59	15.95	15.00

As amostras foram agrupadas de acordo com os aglutinantes. As misturas CAA-1 e CBCACA-1 foram submetidas a 7 ciclos de gelo/desgelo e tiveram uma perda de densidade de 8.93% e 6.09% respetivamente. Na Figura 18 podem ser observados os efeitos dos ciclos nas amostras, que apresentaram fendas na altura do nível visível de absorção de água, entre 25 a 35mm.

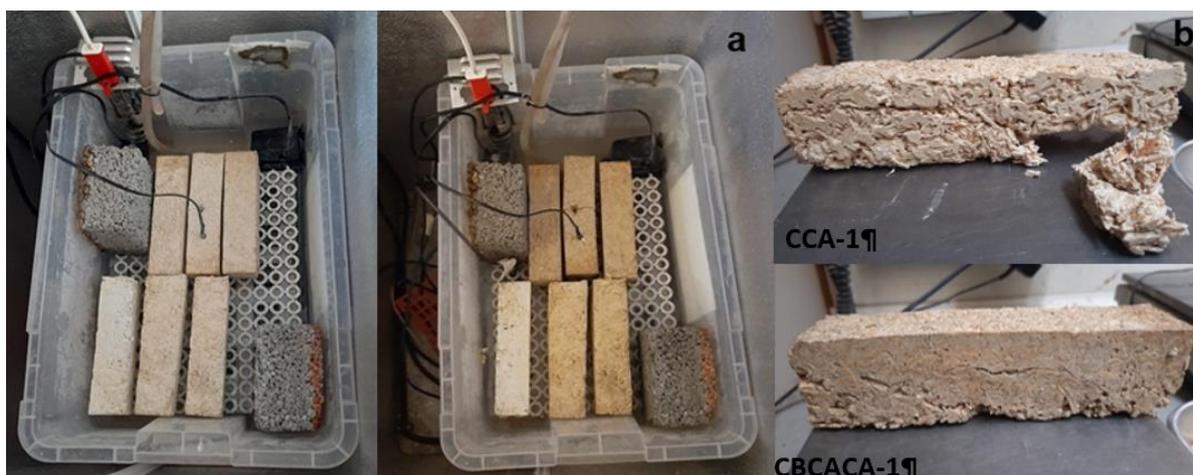


Figura 18- a. Início e fim de ensaio b. Amostras CAA-1 e CBACA-1 no fim do ensaio

A mistura de CCA-1 foi a mais danificada, perdendo a forma e parte do material, enquanto a CBCACA-1 manteve as dimensões e tinha fendas mais estreitas. Ambas as misturas apresentaram fendas na face superior e perderam o aglutinante em suas bases, deixando as aparas descobertas.

A Figura 19 mostra o nível de degradação depois dos ciclos de gelo/desgelo de 4 misturas. Pode-se observar que a amostra da mistura CBCA-CCIBCA-P1 manteve suas dimensões, mas ficou totalmente húmida em todas as faces. Nas outras misturas, o nível visível de água era em média de 23.86 mm, sendo que as bases das amostras acabaram sem qualquer cobertura dos aglutinantes e com as fibras descobertas. Em geral, as misturas conservaram as formas e resistiram aos ciclos, não apresentaram fendas, mas algumas amostras perderam área.

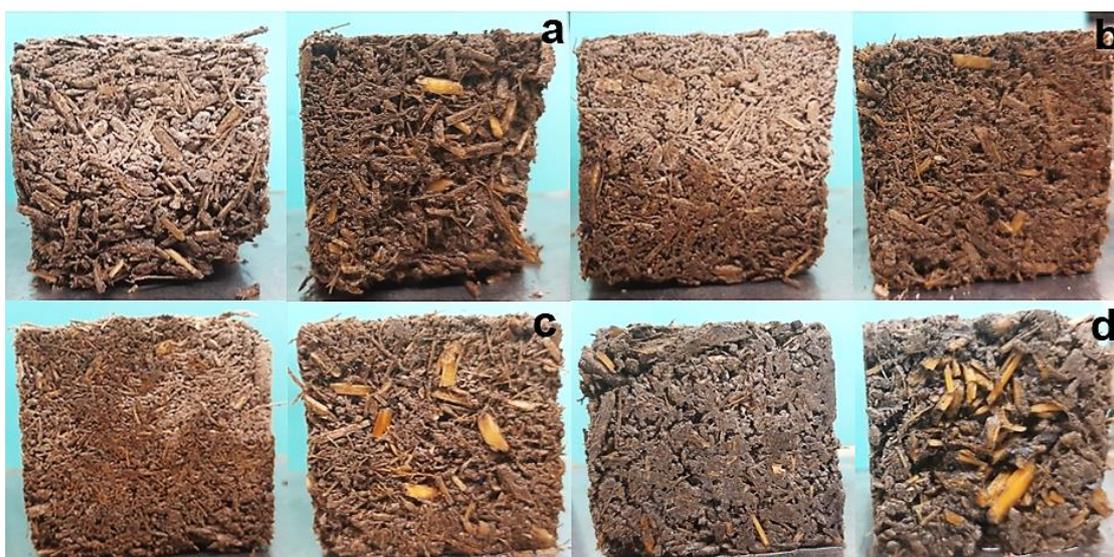


Figura 19-a. CBCAZ-1C b. CBCAZ-2C c. CBCAZ-3C d. CBCA-CCIBCA-P1 (No fim do ensaio)

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

As misturas com cinza de bagaço de cana-de-açúcar completaram 30.95 ciclos de gelo/ degelo e tiveram uma perda de densidade média de 2.37%. A mistura CBCACBCA-1 apresentou a maior perda de densidade (20.47%), chegando ao final do teste cheia de água e com áreas totalmente desintegradas, como se vê na Figura 20. A mistura CBCAZ-2C apresentou a menor perda (1.35%), com uma composição do 50% de CBCA como agregado.

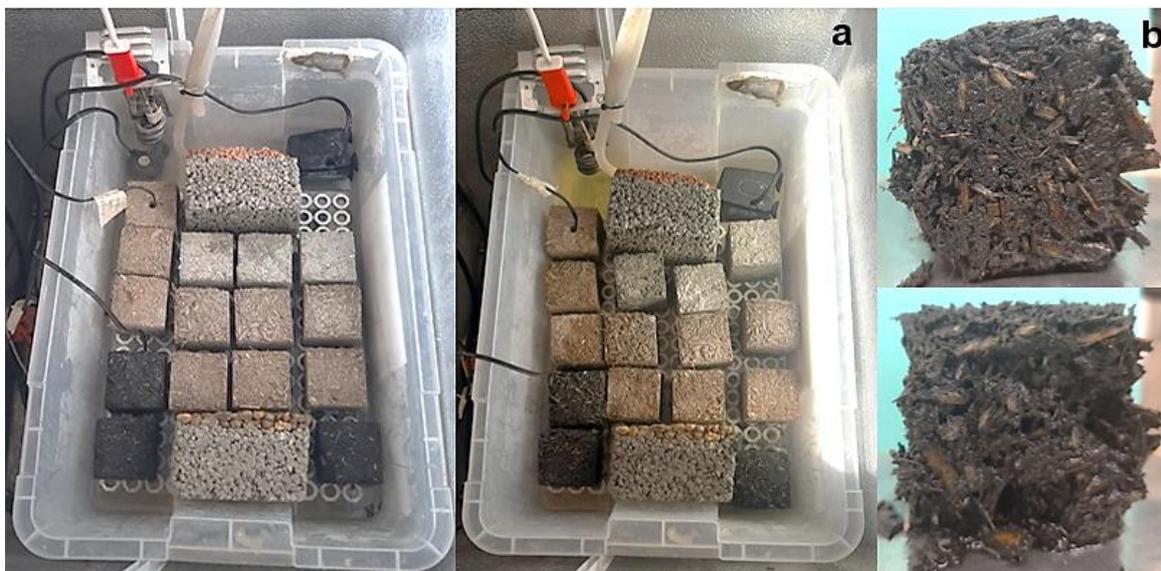


Figura 20-Início e fim do ensaio b. CBCACBCA-1 no fim do ensaio.

A Figura 21 mostra o início e o fim do ensaio de gelo/degelo para a mistura de CBCAC PT-1, feita em separado devido à sua composição. Pode-se observar que as amostras estavam totalmente preenchidas de água e, apesar de terem mantido a forma, tiveram alguma perda de material. Na Tabela 17, indica-se que esta mistura teve uma perda de densidade média de 10.75%.

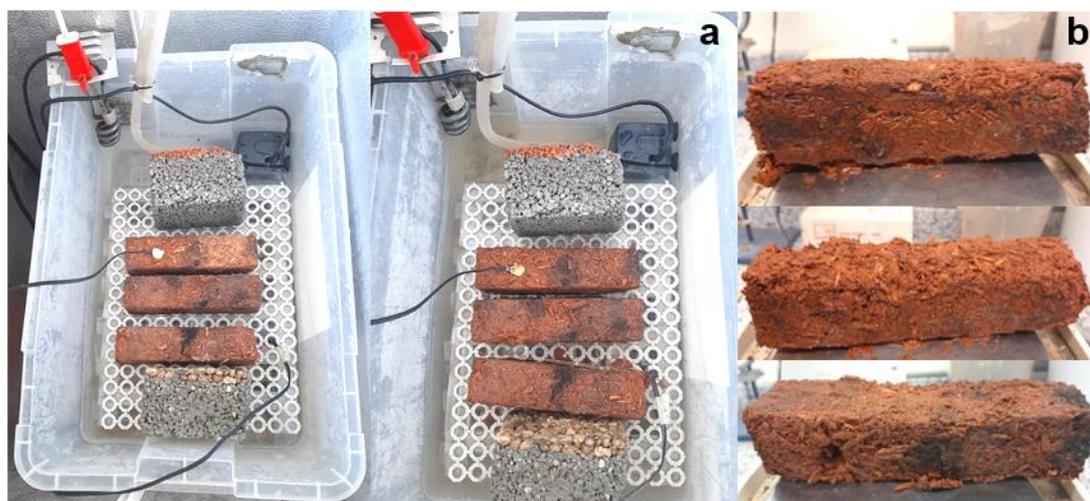


Figura 21-a. Início e fim do ensaio de gelo/degelo; b. CBCA PT-1 no fim do ensaio.

### 3.8.3.3 Degradação por exposição à simulação de chuva

Realizou-se o ensaio de degradação por exposição a erosão da chuva em amostras de 150mmx150mmx50mm, com aplicação de acabamento no 14º dia e 28 dias de cura,. O material aplicado como acabamento foi o REABILITA CAL RB, que é uma argamassa seca formulada exclusivamente a partir de cal hidráulica natural, como se pode ver na Figura 22.



Figura 22- Aplicação de acabamento nas amostras para ensaio de degradação por simulação de chuva

Posteriormente, 3 amostras por mistura foram pesadas e, ver Figura 23, dispostas no tanque simulador de chuva, de forma a garantir que todas fossem atingidas numa área igual e de forma semelhante, por um jato com a inclinação segundo o procedimento descrito por Rezende et al., (2019), numa distância adotada de 0.66m até a área impactada, por 5:10 h, o que equivale a 100 anos.



Figura 23- Processo de ensaio de degradação por simulação de chuva

Na Tabela 18 apresentam-se os resultados obtidos após os ensaios de degradação por exposição de chuva, comparando-os com os ensaios de resistência a flexão. Em geral, as misturas tiveram uma perda de massa de 5.35%, exceção da mistura CBCA PT-1, teve o maior percentual de absorção (42.80%), e a menor perda de massa (3.78%), no comparativo dos resultados das mistura submetida ao ensaio de chuva com as amostras que não foram ensaiadas não tiveram uma diferença significativa a resistência de flexão.

**Tabela 18-Resultados obtidos após o ensaio de degradação por exposição a chuva-erosão e comparação com os resultados de referência**

Mistura	Abch (%)	Pch (%)	RFch (Mpa)	RF (Mpa)
CAA-1	35.39	5.42	0.09	0.09
CBCACA-1	37.00	5.46	0.16	0.17
CBCAPT-1	42.80	3.78	0.05	0.04
CBCAZ-1C	9.36	4.84	0.22	0.25
CBCAZ-2C	12.56	6.22	0.26	0.27
CBCAZ-3C	12.50	5.12	0.17	0.24
CBCA-CCIBCA-P1	8.88	5.06	0.34	0.39

Ab<sub>ch</sub> = absorção por chuvas, P<sub>ch</sub> = desgaste por erosão, RF<sub>ch</sub>=resistência a flexão apos s. chuva, RF= resistência a flexão

Embora as misturas CBCAZ-1C, CBCAZ-3C e CBCA-CCIBCA-P1 tenham tido as maiores diferenças nos resultados dos testes de resistência a flexão, tiveram as menores percentagens de absorção visível no final de cada teste, indicando que a diferença está marcada pela composição da misturas.

Em geral, verifica-se que as cinzas de BCA e BCA diminuem a capacidade de absorção das misturas, o que, para a durabilidade do novo composto, reduz os efeitos de degradação causados pelo ambiente.

### 3.8.3.4 Exposição a Sais

Na Figura 24, pode-se observar o processo de preparação do vapor de sais, que consistiu no aquecimento de 200 g de sal marinho grosso VATEL a 100 °C, e a sua colocação em recipiente com tampa para a formação de vapor concentrado no ambiente interno, onde estavam 3 amostras de cada mistura.



**Figura 24- Processo de preparação de vapor de sais**

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Durante o ensaio, as amostras não apresentaram muita variações de densidade, embora a tendência fosse de acréscimo da densidade pela exposição a humidade. Como pode-se ver na Tabela 19, dentre as misturas com aglutinantes de pó de tijolo, a mistura CBCAPT-1 teve o aumento médio mais significativo (5.83%), enquanto a mistura com cinza de bagaço de cana-de-açúcar teve aumento acima da média geral, com 12.77%.

No caso das misturas CBCAZ-1C, CBCAZ-2C, CBCAZ-3C, o aumento de densidade médio foi de 3.58%, enquanto a mistura CBCA-CCIBCA-P1 teve aumento de densidade de apenas 1.82%.

**Tabela 19- Registo de densidade durante o ensaio de exposição de vapor de sais**

Mistura	P0 (g) 5/07/2022	D.0 (g/cm <sup>3</sup> )	P1 (g) 22/08/2022	D.1 (g/cm <sup>3</sup> )	P2 (g) 15/09/2022	D.2 (g/cm <sup>3</sup> )	P3 (g) 14/10/2022	D.F (g/cm <sup>3</sup> )	Aumento médio de Densidade (%)
CAA-1	263.40	1.04	138.98	0.55	139.84	0.55	140.90	0.58	2.43
CBCACA-1	259.27	1.09	137.21	0.58	141.67	0.59	146.78	0.61	3.24
CBCAPT-1	261.47	0.95	124.72	0.45	127.23	0.46	127.41	0.50	5.83
CBCACBC A-1	94.27	0.78	33.07	0.27	41.49	0.28	42.81	0.34	12.77
CBCAZ-1C	89.47	0.72	50.20	0.40	53.13	0.43	54.51	0.44	4.30
CBCAZ-2C	65.57	0.54	51.69	0.42	53.00	0.43	55.26	0.44	2.43
CBCAZ-3C	101.13	0.85	51.37	0.43	53.67	0.45	54.70	0.46	4.01
CBCA- CCIBCA- P1	101.13	0.82	69.31	0.56	71.07	0.58	71.68	0.58	1.82

Para se avaliar o efeito da exposição aos sais das amostras, pode-se ver na Figura 25 os resultados dos ensaios de resistência mecânica a compressão das amostras testadas comparados com os resultados das amostras com 28 dias de cura que não tivera nenhuma exposição aos sais.

Na Figura 25 apresentam melhora na resistência a compressão das misturas, Isto é atribuído à hidratação adicional devido à presença de água, igual que no estudo de Walker et al., ( 2014) que têm o mesmo intervalo de temperatura e tempo do teste de exposição ao sais, mostra um aumento significativo da resistência à compressão após a exposição ao sal e isto é atribuído à hidratação adicional devido à presença de água e ao aumento de peso devido à cristalização do sal dentro dos seus poros, sugerindo que os poros pequenos facilitam a cristalização do sal.

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaco de cana de açúcar para blocos construtivos

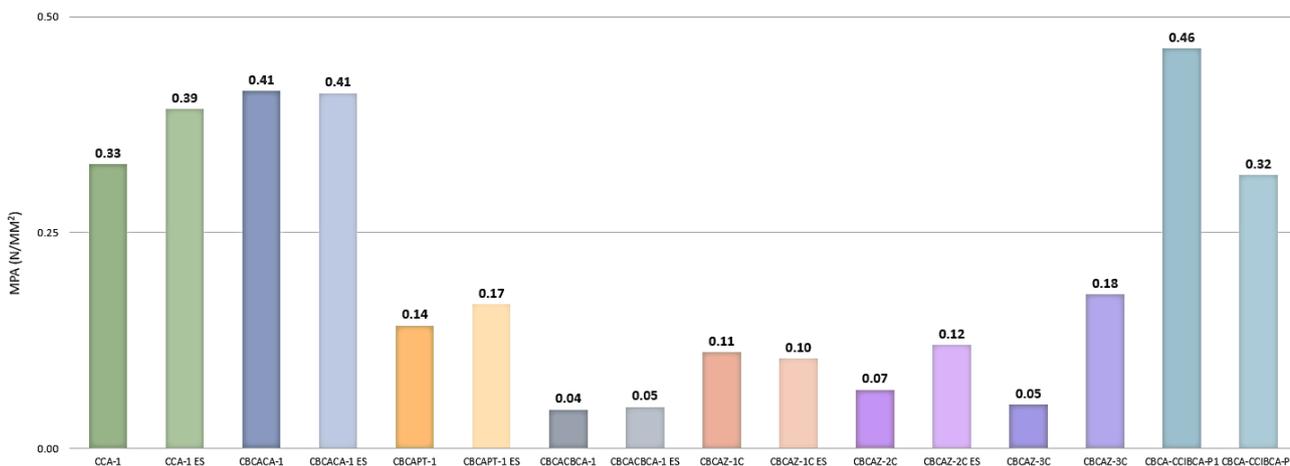


Figura 25- Comparativo do ensaio de resistência a compressão com amostras expostas a sais

### 3.8.4 Ensaios de degradação biológica

#### 3.8.4.1 Amostras de referência para ensaios de degradação biológica

Para a análise de degradação biológica, três amostras de cada mistura foram mantidas em câmara com ambiente e humidade relativa controlados. Na Tabela 20, pode ser observada a variação dos pesos de cada amostra. Ao longo do ensaio verificou-se que as amostras mantiveram a aparência inicial, sem nenhuma evidência de fungos ou bactérias.

Como se pode observar na Tabela 20, há pouca variação de peso entre as amostras, da mesma forma que, pela análise visual, não foi detetada nenhuma alteração no aspeto das amostras, como a aparição de fungos ou mofos. A amostra com redução de peso mais significativa foi a de CBCAPT-1, com uma média de redução de peso de até 2.49%, seguida da amostra de CBCA CIBCA-1, com 1.57%.

Tabela 20- Peso das amostras de referência para ensaio degradação biológica

Mistura	Amostra	P0	P1	P2	P3	P4
		05/09/2022	12/09/2022	19/09/2022	26/09/2022	03/10/2022
CAA-1	P1	0.9255	0.9172	0.9155	0.9189	0.9208
	P2	0.6948	0.7471	0.7522	0.7557	0.7566
	P3	0.6898	0.7334	0.7384	0.7423	0.7439
CBCACA-1	P1	0.6379	0.6375	0.666	0.6711	0.6728
	P2	0.5482	0.638	0.5748	0.6145	0.5789
	P3	0.6176	0.5415	0.7049	0.7246	0.7089
CBCAPT-1	P1	0.4987	0.4891	0.4687	0.453	0.4625
	P2	0.6387	0.6366	0.6141	0.6047	0.5826
	P3	0.3283	0.3277	0.3187	0.3005	0.286
CBCACBCA-1	P1	0.3991	0.4296	0.3814	0.3879	0.3806
	P2	0.362	0.3764	0.3503	0.3525	0.3229
	P3	0.365	0.3793	0.3543	0.3531	0.3482
CBCAZ-1C	P1	0.6997	0.7216	0.541	0.5439	0.5450
	P2	0.4161	0.4396	0.4891	0.4915	0.4924
	P3	0.5469	0.5668	0.5071	0.5098	0.5106

CBCAZ-2C	P1	0.5686	0.5891	0.5664	0.5671	0.5671
	P2	0.5391	0.5584	0.5623	0.5636	0.5646
	P3	0.3921	0.4120	0.3896	0.3906	0.3918
CBCAZ-3C	P1	0.4986	0.5014	0.4964	0.4974	0.4980
	P2	0.5811	0.5776	0.5789	0.5805	0.581
	P3	0.5658	0.5623	0.5372	0.5383	0.5394
CBCA-CCIBCA-P1	P1	0.6407	0.6502	0.6065	0.6733	0.6755
	P2	0.6824	0.6877	0.7007	0.7115	0.7137
	P3	0.6031	0.6082	0.6637	0.6113	0.6128

As amostras da mistura CBCAZ-1C,2C,3C tiveram uma tendência a manter o peso, com pouca variação entre 0,40 e 0,82%. Destaca-se que as amostras com maior quantidade de cal na sua composição tenderam a aumentar o peso constantemente em todo o período de controlo, nomeadamente as amostras CCA-1, CBCACA-1 e CBCA-CCIBCA-P1, com uma média de 1.68% de aumento de peso no período de teste.

Como pode ser observado na Figura 26, as amostras não evidenciaram qualquer presença de microrganismos ou aparente decomposição durante o tempo total que permaneceram na câmara.

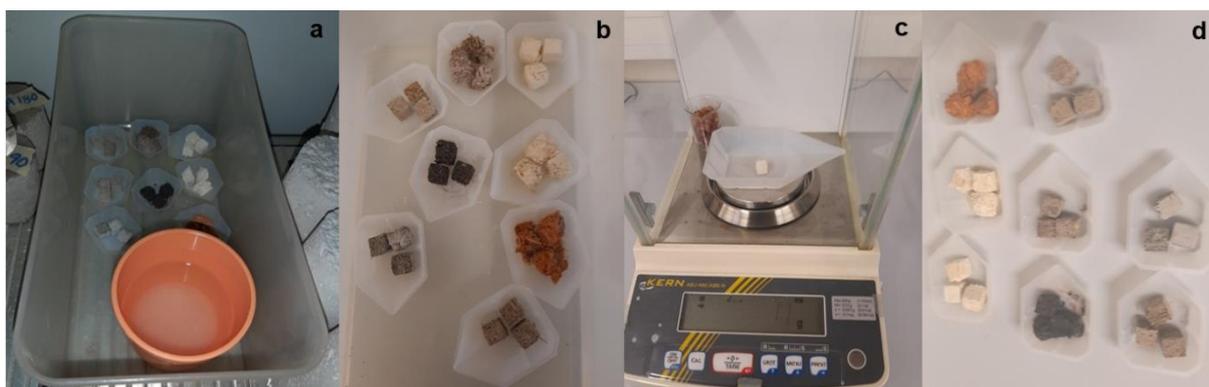


Figura 26- a. Amostras na câmara com humidade e RH controlada; b/c. Registo fotográfico e pesagem em 19/09/2022; d. Registo fotográfico em 3/10/2022.

#### 3.8.4.2 Exposição a câmara húmida

Este ensaio tem como objetivo criar o ambiente propício para o desenvolvimento de fungos aéreos nas amostras. Numa tina de vidro, foi colocado um litro de água desmineralizada da marca Tanto-Clorosol com pH 6, ou seja, um nível baixo de acidez. As amostras são dispostas em repouso sobre uma tela de apoio que impede o contacto direto com a água, Ver Figura 27. Para cada mistura foram testadas 3 amostras, as quais foram incubadas a 25 °C, pesadas no primeiro dia do ensaio e, posteriormente, a cada 7 dias durante 4 semanas.

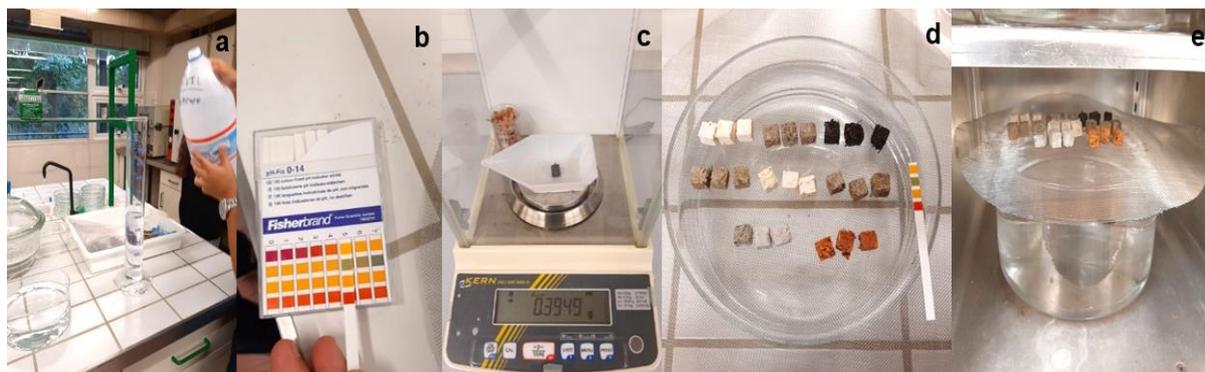


Figura 27 a. Preparação do recipiente com água destilada; b. nível de pH c. pesagem das amostras; d/e. preparação das amostras e câmara a 25°C

Em cada controlo de peso, o nível de água na tina foi completado com 500 mL, repondo deste modo o volume perdido durante cada período de incubação, e foi feita a avaliação do pH, que se manteve durante todo o ensaio, ver Figura 28.



Figura 28- Fisherbrand medição do pH; b. avaliação do nível de água; c/d. misturas sobre a tina com água e amostras na câmara Heraeus a 25°C

A Tabela 21 mostra a variação de pesos registada durante o tempo do ensaio. Nota-se que a maioria das misturas ganha peso constantemente, numa média de 2,11%, sendo que as amostras das misturas CBCAZ-1C, 2C e 3C reportam um ganho muito similar (média de 1,47%), enquanto a mistura CCA-1 apresenta um ganho de peso mais significativo, na ordem de 3,80%, seguida pela mistura CBCA-CCIBCA-P1 com um aumento de 2,93%. As misturas CBCAPT-1 e CBCACBCA-1, ao contrário das demais, têm menor variação de peso, com tendência a perder peso numa ordem de 0,25%, como as amostras de referência.

**Tabela 21- Registo de peso das amostras do ensaio exposição à câmara húmida**

Mistura	Amostra	P0	P1	P2	P3	P4
		05/09/2022	12/09/2022	19/09/2022	26/09/2022	03/10/2022
CAA-1	P1	0.7095	0.8011	0.8181	0.8186	0.8174
	P2	0.7627	0.8525	0.8751	0.8757	0.8752
	P3	0.6994	0.8011	0.8136	0.8157	0.815
CBCACA-1	P1	0.8226	0.8614	0.8680	0.8713	0.873
	P2	0.8238	0.8635	0.8702	0.8709	0.8727
	P3	0.8459	0.8999	0.9061	0.8984	0.8989
CBCAPT-1	P1	0.4493	0.4485	0.4397	0.4378	0.4381
	P2	0.5105	0.5113	0.5015	0.5009	0.4915
	P3	0.4896	0.5211	0.5097	0.4922	0.5009
CBCACBCA-1	P1	0.3949	0.3994	0.3923	0.3949	0.392
	P2	0.4126	0.4156	0.4080	0.4105	0.4082
	P3	0.3315	0.334	0.3256	0.3257	0.3237
CBCAZ-1C	P1	0.7295	0.7579	0.7711	0.7808	0.7784
	P2	0.7021	0.7349	0.7475	0.7609	0.7584
	P3	0.73	0.7553	0.7623	0.7744	0.7718
CBCAZ-2C	P1	0.6815	0.7209	0.7298	0.7313	0.7201
	P2	0.6816	0.7192	0.7311	0.7330	0.7283
	P3	0.6317	0.6743	0.6852	0.6863	0.6815
CBCAZ-3C	P1	0.5537	0.5779	0.5851	0.5872	0.5819
	P2	0.5157	0.5387	0.5407	0.5390	0.5342
	P3	0.6614	0.6943	0.6935	0.6911	0.6867
CBCA-CCIBCA-P1	P1	0.6304	0.6683	0.6819	0.6958	0.7281
	P2	0.6723	0.7226	0.7443	0.7644	0.7627
	P3	0.6463	0.6922	0.7101	0.7304	0.6933

No final do ensaio, pôde-se observar que não houve presença de fungos ou mofo nas misturas e, portanto, conclui-se que as misturas foram resistentes aos fungos aéreos, no período do ensaio, respondendo bem às condições que propiciam o seu desenvolvimento.

### 3.8.4.3 Exposição a bactérias

Para o ensaio de exposição a bactérias, foi feita uma preparação prévia para o desenvolvimento das bactérias, ver Figura 29. As bactérias utilizadas nos ensaios foram as *Bacillus subtilis* e *Micrococcus luteus*, de referência DSMZ 10 de 1790, cedidas pela Doutora Vitória Araújo Maciel, do CEB da Universidade do Minho. As concentrações bacterianas de partida foram estabelecidas em:

- $1.2 \times 10^7$  unidades formadoras de colónias (CFUs)/mL de *B. subtilis*
- $2.5 \times 10^7$  CFUs/mL de *M. luteus*



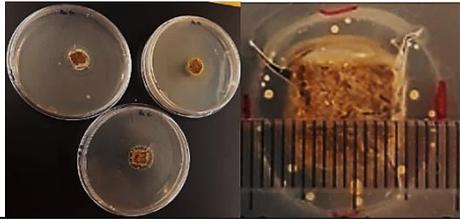
Figura 29- a. Câmara incubadora com agitação orbital de balões de Erlenmeyer com bactérias e nutrientes. b/c. Preparação de placas de agar com bactérias. d. Início do ensaio com as amostras sobre o meio inócuo.

Para o controlo do ensaio foram feitos registos fotográficos e, quando os resultados mostraram que as amostras inibiam a ação das bactérias pela deteção de zonas de inibição ("halos"), os diâmetros de separação foram medidos. Os resultados foram recolhidos após 24 e 72 h de incubação. Na Tabela 22 e Tabela 23 pode ser observado o comportamento das bactérias nas diferentes misturas, e a sua evolução conforme os dias de registo.

Tabela 22-Resultados das misturas com a bactéria *Bacillus subtilis*

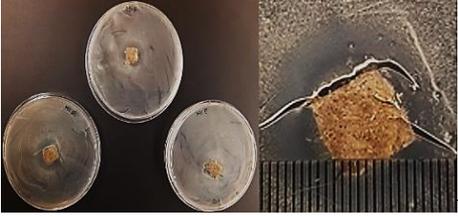
Mistura	Data de Controle	Observações
CAA-1	16/09/2022	<p>Na primeira data de controle, observa-se que a amostra rejeitou as bactérias a uma distância de 1,5 mm; na segunda data, a distância entre as amostras e as bactérias permanece a mesma, mas a linha é mais definida, de modo que as amostras rejeitam as bactérias, mas não são capazes de eliminá-las.</p>
	19/09/2022	
CBCACA-1	16/09/2022	
	19/09/2022	
CBCAPT-1	16/09/2022	<p>Pode-se ver que a amostra rejeitou as bactérias a uma distância de 1,5 mm; na segunda data, a distância entre as amostras e as bactérias permanece a mesma, mas a linha é mais definida, ou seja, as amostras inibiram adesão das bactérias, mas não são capazes de eliminá-las. Os microrganismos, ao deixarem as amostras, ocupam o espaço entre as bactérias e as amostras com pontos brancos.</p> <p>As amostras não inibiram as bactérias, mas as placas eram claras. Na segunda data, pode-se observar que os microrganismos estão a sair das amostras, mostrando que as amostras estavam contaminadas, as placas estão cheias de concentrações de fungos ou bactérias pré-existente sob a forma de pontos brancos.</p>
	19/09/2022	

Mistura	Data de Controle	Observações
	16/09/2022	
CBCACBCA-1		As amostras não inibiram as bactérias e as amostras mostram manchas brancas mesmo na face que não está em contacto direto com as bactérias. Na segunda data, pode-se observar que os microrganismos estão a sair das amostras, cobrindo-as completamente, indicando que as amostras tinham fungos ou bactérias pré-existentes
	19/09/2022	
	16/09/2022	
CBCAZ-1C		As amostras foram capazes de inibir as bactérias, com 1 mm de distância, mas na segunda data pelo menos duas amostras puderam ser vistas contaminadas com uma concentração de manchas brancas no espaço entre as amostras e as bactérias. O efeito do óleo de coco sobre esta bactéria não foi possível avaliar.
	19/09/2022	
	16/09/2022	
CBCAZ-2C		A mistura foi capaz de inibir e remover as bactérias, mantendo uma separação de 2 a 3mm, que permanece no segundo controlo (separação média de 2mm), embora apresente maior concentração de bactérias no halo (não é capaz de remover as bactérias mais eficazmente). Existem manchas brancas no espaço entre as amostras e as bactérias, o que significa que a amostra tem um nível de contaminação pré-existente. O efeito do óleo de coco sobre esta bactéria não foi possível avaliar.
	19/09/2022	

Mistura	Data de Controle	Observações
CBCAZ-3C	16/09/2022	<p>A mistura está a inibir a sua ação criando uma barreira protetora, daí uma maior concentração nos limites do halo; há uma separação de 3mm, que permanece no segundo controlo, embora apresente bactérias como pontos brancos entre as bactérias e as amostras, o que significa contaminação das amostras. Há uma concentração de bactérias nos limites, o que significa que não está a remover completamente as bactérias para o segundo controle. O efeito do óleo de coco sobre esta bactéria não foi possível avaliar.</p>
		
19/09/2022		
		
CBCA-CCIBCA-P1	16/09/2022	<p>Esta mistura consegue remover e inibir as bactérias a uma separação de 4mm. No segundo controlo, a separação permanece a uma média de 3mm e há uma maior concentração de bactérias no limite prévio.</p>
		
19/09/2022		
		

**Tabela 23- Resultados das misturas com a bactéria *Micrococcus luteus***

Mistura	Data de Controle	Observações
CAA-1	16/09/2022	<p>Na primeira data de controle, observou-se que a amostra rejeitou bactérias a uma distância de 1,5 mm, e foi capaz de eliminá-las.</p>
	19/09/2022	
CBCACA-1	16/09/2022	<p>Inicialmente, as amostras conseguem inibir e eliminar bactérias a 3 mm, estando os limites entre elas bem definidos.</p>
	19/09/2022	
CBCAPT-1	16/09/2022	<p>Na primeira data de controle, as amostras não estão a inibir as bactérias, mas a presença de microrganismos pré-existente foi notada nas amostras.</p>
	19/09/2022	

Mistura	Data de Controle	Observações
	16/09/2022	
CBCACBCA-1		As amostras não estão a inibir as bactérias no início do teste. Uma maior presença de microrganismos pode ser observada de uma amostra para outra, dependendo da diferença no nível de contaminação anterior das amostras.
	19/09/2022	
	16/09/2022	
CBCAZ-1C		As amostras são capazes de inibir as bactérias a uma distância muito maior do que nas amostras precedentes, entre 5 e 6 mm, mas não são capazes de eliminá-las completamente. Nota-se alta concentrações nos limites da separação, e também o preenchimento do restante das placas.
	19/09/2022	
	16/09/2022	
CBCAZ-2C		As amostras mantêm maior separação, entre 5 e 8 mm, nas primeiras horas do teste, mas pode-se observar que o limite não está definido como em outras amostras, pois as bactérias estão a começar a preencher o halo. As amostras não estão cobertas.
	19/09/2022	

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Mistura	Data de Controle	Observações
CBCAZ-3C	16/09/2022	A separação entre as amostras e as bactérias é, em média, de 3 mm e os limites das bactérias estão bem definidos (há concentração de bactérias no limite), o que significa que as amostras não são capazes de removê-las.
	19/09/2022	A separação inicial entre amostras e bactérias é perdida na segunda data de controle, mas as amostras não são cobertas pelas bactérias, embora não sejam capazes de removê-las (há elevada concentração de bactérias na borda das amostras). O efeito do óleo de coco sobre esta bactéria não foi possível avaliar.
CBCA- CCIBCA-P1	16/09/2022	Os limites entre as bactérias e as amostras são ligeiramente definidos, as amostras não são cobertas e conseguem eliminá-las, mantendo uma separação média de 4 a 6mm.
	19/09/2022	A separação entre bactérias e amostras não existe na segunda data de controle, há uma maior concentração de bactérias nos limites das amostras, que não estão a conseguir eliminá-las. Duas amostras apresentam microrganismos sobre elas, sob a forma de pontos brancos, embora em menor quantidade do que nas outras misturas. O efeito do óleo de coco sobre esta bactéria não foi possível avaliar.

#### 3.8.4.4 Exposição a Fungos

Na Figura 30 pode-se observar a fase inicial do teste realizado para os dois fungos em análise. Em algumas placas de agar, as bordas ainda estão por preencher de fungos. Na Tabela 24 e Tabela 26 pode-se observar o desenvolvimento dos fungos *Cladosporium herbarium* e *Penicillium chrysogenum* sobre as amostras durante o período de 4 semanas.

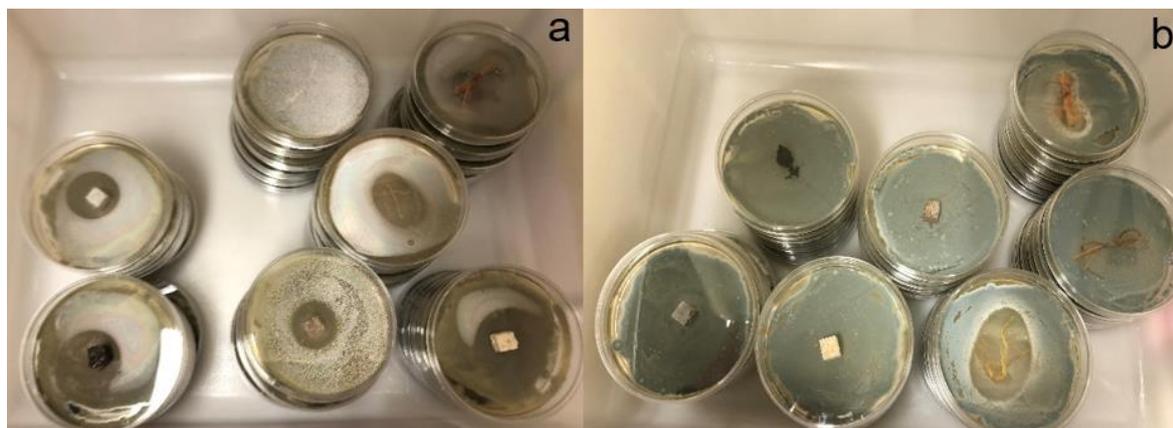


Figura 30- Início do teste de fungos, a. *Cladosporium herbarium*, b. *Penicillium chrysogenum*

As misturas CCA-1 e CBCACA-1 não aparentaram terem sido afetadas pelos fungos, mas tiveram incremento do peso de 64.51 e 66.27%, respectivamente. Não pode ser avaliado o efeito de óleo de coco nas mistura em quanto a resistência das misturas ante este fungo.

Tabela 24-Efeito do fungo *Cladosporium herbarium*

Mistura	Datas de Registo		Observações
CAA-1	03/10/2022	10/10/2022	Esta mistura permaneceu imune aos fungos até ao final do teste, não teve variações de cor e foi isolada da base das amostras.
			
	17/10/2022	24/10/2022	
			
CBCACA-1	03/10/2022	10/10/2022	Da mesma forma que a mistura CCA-1, esta mistura foi resistente aos fungos, rejeitando fungos no lado de contacto e deixando a base fúngica livre.
			
	17/10/2022	24/10/2022	
			
CBCAPT-1	03/10/2022	10/10/2022	A deterioração das amostras foi gradual durante o período de teste, mostrando um revestimento branco tipo teia de aranha. Em algumas das faces das amostras, uma parte do material se tornou preta.
			
	17/10/2022	24/10/2022	
			
CBCACBCA-1	03/10/2022	10/10/2022	Esta mistura apresentou uma cobertura semelhante a uma teia de aranha, que foi se intensificando gradualmente e cobrindo todas as faces das amostras
			
	17/10/2022	24/10/2022	
			

Mistura	Datas de Registo		Observações
CBCAZ-1C	03/10/2022	10/10/2022	As misturas mostraram um líquido a sair do interior das amostras, em duas semanas do ensaio, depois fios brancos saíram pelas faces laterais, ligados à base da placa de ágar. No final do teste, as faces são completamente cobertas por estes fios, exceto na face superior das amostras.
			
	17/10/2022	24/10/2022	
			
CBCAZ-2C	03/10/2022	10/10/2022	Após oito dias, as amostras mostraram fios brancos nas faces laterais, que aumentaram até ao final do ensaio, parecendo uma fita que cobre completamente as faces laterais, deixando a face superior das amostras exposta, por causa tampa que toca diretamente a superfície da amostra estava a inibir o desenvolvimento dos fungos.
			
	17/10/2022	24/10/2022	
			
CBCAZ-3C	03/10/2022	10/10/2022	Esta mistura mostrou uma deterioração no terceiro controle do ensaio, com os fios a apresentarem uma cor branca até a metade das amostras. Os fios mais próximos da base da placa de ágar permanecem ligados a ela.
			
	17/10/2022	24/10/2022	
			
CBCA-CCIBCA-P1	03/10/2022	10/10/2022	As amostras mostraram o crescimento dos fios de cor branca na segunda semana, o crescimento foi lento bem como o das misturas CBCA 3C, algumas faces permaneceram com os fios até ao nível médio, outras ficaram completamente cobertas, com exceção da face superior, que permaneceu descoberta por causa tampa que toca diretamente a superfície da amostra estava a inibir o desenvolvimento dos fungos..
			
	17/10/2022	24/10/2022	
			

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Na Tabela 25, pode-se observar o registo dos pesos das mistura ao inicio e final do ensaio. Tendo como referência o peso médio de cada mistura, os registos indicam um aumento de peso médio de 55.50%. As amostras com um aumento significativo de 75.40% são a da mistura de CBCAZ-2C, uma das misturas que terminou o ensaio densamente coberta por fios brancos, apresentando uma aparência de tecido, como uma fita.

**Tabela 25-Controle de peso efeito do fungo *Cladosporium herbarium***

Mistura	Peso de Referência	Data de controle		Média (%)
		26/09/2022	24/10/2022	
CAA-1	0.7968	0.8168	1.3438	64.51
CBCACA-1	0.6358	0.7796	1.2963	66.27
CBCAPT-1	0.4673	0.3435	0.4328	26.00
CBCACBCA-1	0.3695	0.3421	0.4781	39.75
CBCAZ-1C	0.5347	0.6558	0.9271	41.37
CBCAZ-2C	0.5082	0.5223	0.9161	75.40
CBCAZ-3C	0.7968	0.8168	1.3438	64.51
CBCA-CCIBCA-P1	0.6358	0.7796	1.2963	66.27

As misturas CCA-1 e CBCACA-1 não aparentaram terem sido afetadas pelos fungos, mas tiveram incremento do peso de 64.51 e 66.27%, respetivamente. Não pode ser avaliado o efeito de óleo de coco nas mistura em quanto a resistência das misturas ante este fungo.

**Tabela 26-Efeito do fungo *Penicillium chrysogenum***

Mistura	Datas de Registo		Observações
CAA-1	03/10/2022	10/10/2022	A mistura permanece livre de fungos durante todo o teste, isolada dos fungos do fundo para o fundo da placa de ágar, uma amostra tem áreas negras na lateral.
			
	17/10/2022	24/10/2022	
			
CBCACA-1	03/10/2022	10/10/2022	Até o final do ensaio, as amostras ficaram livre de fungos.
			
	17/10/2022	24/10/2022	
			
CBCAPT-1	03/10/2022	10/10/2022	Deterioração visível até o segundo dia do controle, com áreas negras na face dos espécimes, tecido tipo teia e pontos brancos na parte inferior das amostras.
			
	17/10/2022	24/10/2022	
			
CBCACBCA-1	03/10/2022	10/10/2022	Esta mistura mostrou as diferenças mais notáveis até ao terceiro controlo, totalmente coberta por uma rede branca ligada à placa de ágar; no quarto controlo, as amostras apresentaram manchas brancas nas faces.
			
	17/10/2022	24/10/2022	
			
CBCAZ-1C	03/10/2022	10/10/2022	A mistura foi algo resistente aos fungos, até o terceiro controlo foi visível o crescimento de fios da cor branca desenvolvidos nas
			

Mistura	Datas de Registo		Observações
			faces laterais das amostras, deixando livres as faces superiores.
CBCAZ-2C	03/10/2022	10/10/2022	Tal como com a mistura CBCAZ 1C, as amostras mostraram fios brancos, mas com maior desenvolvimento de fios no terceiro e quarto controles. Também mostraram manchas amarelas nas faces.
			
	17/10/2022	24/10/2022	
			
CBCAZ-3C			Nos primeiros controlos, as amostras não mostram muita diferença, mas no terceiro controlo as amostras mostram fios brancos, que se desenvolvem bem no quarto controlo.
	17/10/2022	24/10/2022	
			
CBCA-CCIBCA-P1	03/10/2022	10/10/2022	A mistura foi resistente aos fungos até ao terceiro controlo, quando o crescimento dos fios brancos foi visível nas faces laterais das amostras, mas em dimensões mais pequenas do que nas outras misturas no mesmo tempo de controlo.
			
	17/10/2022	24/10/2022	
			

Na Tabela 27, pode-se observar os peso médio das misturas, no início e final do teste. Com uma variação para a mais de 37.74% no geral, todas as misturas apresentam este incremento na faixa de 30-40%, embora o efeito dos fungos nas misturas tenha sido totalmente diferente, especialmente para as misturas só com cal em sua composição, que não tiveram mudança visual, ao contrário das misturas como a CBCA PT1 e a CBCACBCA-1, nas quais os efeitos se apresentaram desde o primeiro registo. Não pode ser avaliado o efeito de óleo de coco nas mistura em quanto a resistência das misturas ante este fungo.

**Tabela 27-Controle de peso efeito do fungo *Penicillium chrysogenum***

Mistura	Peso de referência	Data de controle		Média %
		26/09/2022	24/10/2022	
CAA-1	0.7968	0.7700	1.1111	44.30
CBCACA-1	0.6358	0.8646	1.1357	31.36
CBCAPT-1	0.4673	0.4243	0.5812	37.00
CBCACBCA-1	0.3695	0.3614	0.5088	40.79
CBCAZ-1C	0.5347	0.5654	0.7409	31.03
CBCAZ-2C	0.5082	0.5303	0.7318	37.99
CBCAZ-3C	0.5423	0.5643	0.7910	40.17
CBCA-CCIBCA-P1	0.6561	0.5706	0.7946	39.24

## CAPITULO IV: Conclusões e recomendações

### 4.1 Condições observadas nas misturas no estado fresco

- Quando o cânhamo é misturado apenas com a cal, as fibras estão mais afastadas umas das outras, há mais vazios, mas a cal adere totalmente às fibras de cânhamo. Pode-se observar que a mistura de cânhamo e bagaço de cana-de-açúcar preenche os espaços entre as fibras de cânhamo. Na relação de volume entre as duas fibras, o volume de bagaço é maior do que o de cânhamo na mesma percentagem.
- Quanto à proporção de água, o peso da cal foi tomado como referência para o cálculo, mas, no final, dependendo da proporção de agregados e da presença dos outros aglutinantes, foi necessário adicionar água à mistura. Através da moldagem de uma bola para verificar a trabalhabilidade para as misturas percebeu-se que a coesão era mais evidente com a utilização de cal e cinza de bagaço de cana-de-açúcar.
- A melhor integração dos ligantes e pozolanas (cal, cinza de bagaço de cana-de-açúcar e pó de tijolo) é obtida quando são misturados a seco. Quando, num primeiro momento, foi feita a mistura da cal com água, e depois foram sendo adicionados os demais aglutinantes, notou-se que era necessário mais tempo para a mistura e que não havia uma integração total.
- A última mistura realizada que consistiu em Cânhamo + Bagaço de Cana-de-Açúcar + Cal + Cinza de Bagaço de Cana-de-Açúcar, na proporção de 75% de ligante (cal) com 25% de pozolana (cinza de bagaço de cana-de-açúcar), com uma proporção de 25 % de agregados obteve uma coesão muito maior entre todos os materiais. A aparência era similar à do papel misturado com cola branca, neste caso com a cor do cimento.

### 4.2 Desempenho a mecânico

- As misturas com melhor desempenho mecânico foram as que têm 25% de agregados e 75% de aglutinantes, dos agregados 75% de cânhamo e 25% de BCA.
- O aumento de mais do 50% na adição do BCA diminui a resistência a compressão e flexão, assim também com a diminuição da percentagem dos aglutinantes a menos dos 65%. O que

confirma uma das conclusões do estado da arte, que assinala que uma diminuição do percentagem da fibra com um aumento do ligantes, melhora a resistência mecânica.

#### 4.3 Desempenho a nível térmico

- As misturas têm boa resistência térmica e as misturas com melhor desempenho foram a CBCAPT-1 e CBCACBCA-1 pela baixa densidade das amostras.

#### 4.4 Desempenho a nível de durabilidade

- As misturas da fase 2 tiveram melhor desempenho quanto à durabilidade. O com um baixo coeficiente de absorção de água.
- As misturas da fase 1 tiveram pior desempenho, por causa da cal hidratada, tiveram um maior coeficiente de absorção de água. E no caso do ensaio de gelo e degelo, a troca de temperatura quebrou as uniões desde o interior das amostras pelo nível de água.

#### 4.5 Desempenho a nível de degradação biológica

- Embora o betão de cânhamo seja considerado resistente a fungos e bactérias devido à alcalinidade da cal, este estudo confirmou que a adição de mais de 50% de BCA à mistura diminuiu esta resistência aos microrganismos.
- As misturas foram resistentes com nível de inibição alto para os fungos do ar e à bactéria *Bacillus subtilis.*, mas não tiveram o mesmo comportamento para o caso da bactéria *Micrococcus Luteus* e fungos *Cladosporium herbarium* e *Penicillium chrysogenum*. As misturas foram resistentes em diferentes níveis, dependendo da percentagem de CBA e da cal.

#### 4.6 Conclusões finais

- A adição de BCA ao betão de cânhamo para formar um novo composto atribui novas propriedades que melhoram a resistência mecânica e as condições de durabilidade, mas deve estar numa faixa percentual em que o BCA não exceda 50% na composição.
- A mistura CBCA-CALCBCA-P1 foi formulada tendo em conta os resultados obtidos em todas as formulações realizadas, o que permitiu confirmar que as cinzas CBA aumentaram

significativamente a resistência à compressão em quase 40% e melhoraram a composição sob as ações de gelo-degelo e na simulando de chuva.

- As misturas em que o único ligante de base era pó de tijolo e/ou cinzas de BCA, como esperado, não deram bons resultados nos testes aplicados, apenas no coeficiente de condutividade, devido à baixa densidade das amostras. No caso dos testes de degradação biológica, as misturas tinham capacidade zero para inibir os microrganismos nas condições testadas. No entanto, permitiu perceber o efeito destes materiais a nível da influência no desempenho das misturas.
- A utilização de óleo de coco não pôde ser avaliada quanto à sua eficácia contra microrganismos, considerando que, uma vez que o processo de integração do aditivo na mistura não era o mais eficaz, é possível que não cobrisse as fibras de ambos os agregados e, devido à quantidade adicionada, não poderia ser avaliada se fosse suficiente para criar resistência adicional.

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

- Numa avaliação geral das oitos misturas escolhidas que foram aplicados os diferentes ensaios durabilidade e caracterização das propriedades térmicas e absorção de água por capilaridade, tomara uma escala de 1 à 8, sendo 1 com melhor resistência/ menor degradação e 8 como a pior resistência e maior degradação das mistura.

**Tabela 28-Avaliação geral das misturas segundo os ensaios aplicados**

No	Ensaio	CAA-1	CBCACA-1	CBCAPT-1	CBCACBCA-1	CBCAZ-1C	CBCAZ-2C	CBCAZ-3C	CBCA-CCIBCA-P1
1	Resistência a compressão	3	2	4	8	5	6	7	1
2	Coefficiente térmico	8	7	1	2	4	6	3	5
3	Resistência Térmica	8	7	2	1	4	5	3	6
4	Coefficiente de absorção de água por capilaridade	6	7	5	8	1	3	2	4
5	Resistência gelo-desgelos	6	5	7	8	3	1	4	2
6	Exposição à simulação de chuva, % Absorção	5	6	7	8	2	4	3	1
7	Exposição à simulação de chuva, % Desgaste pela erosão	5	6	1	8	2	7	4	3
8	Exposição à simulação de chuva, Resistência a flexão	6	5	7	8	3	2	4	1
9	Exposição a sais	2	1	5	8	7	6	4	3
10	Exposição ao ambiente controlado	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Exposição a câmara húmida,	1	1	1	1	1	1	1	1
12	Exposição a bactérias 1	1	2	7	8	6	5	4	3
13	Exposição a bactérias 2	1	2	7	8	4	5	6	4
14	Exposição a fungos 1	1	2	7	8	4	6	5	3
15	Exposição a fungos 2	1	2	7	8	4	6	5	3
<b>TOTAL</b>		<b>55</b>	<b>56</b>	<b>69</b>	<b>93</b>	<b>51</b>	<b>64</b>	<b>56</b>	<b>41</b>
<b>POSIÇÃO</b>		<b>3</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>1</b>

- Pode se concluir pela Numa avaliação geral das oitos misturas escolhidas que foram aplicados os diferentes ensaios durabilidade e caracterização das propriedades térmicas e absorção de água por capilaridade, tomara uma escala de 1 à 8, sendo 1 com melhor resistência/ menor degradação e 8 como a pior resistência e maior degradação das mistura.

Tabela 28 a melhor mistura com melhor resistência e menor degradação foi a mistura CBCA-CCIBCA-P1, em segundo a mistura CBCAZ-1C e em terceiro a mistura de referencia CCA-1. Pode concluir-se que a adição de BCA e CIBCA numa proporção de 25% melhora a resistência do betão de cânhamo aos efeitos ambientais.

No entanto, há que considerar que a adição de apenas 25% de BCA melhorou a resistência ao congelamento e descongelamento, mantendo a integridade das amostras da mistura CBCACA-1 e na avaliação a diferença com a mistura de referência CCA-1 é de apenas 1 ponto.

A mistura com pior desempenho foi a mistura CBCACBCA-1 onde CIBCA, como único ligante com uma adição de 25% de BCA, a diferença entre as demais mistura é muito menor em quanto a resistência ao ambiente, ainda que teve um bom desempenho térmico.

#### 4.7 Recomendações de pesquisa

- Dar continuidade na avaliação de cinza de bagaço de cana-de-açúcar como ligante com o novo compósito.
- Estudar os efeitos do novo composto com outros ligantes, tais como cal hidráulica e metacaulim, em combinação com cinzas de BCA.
- Investigar os efeitos de degradação biológica a longo prazo dos novos compostos e experimentar diferentes taxas de utilização de óleo de coco como fungicida e bactericida.
- Métodos de estudo para normalizar o processo de compactação para avaliar a influência do processo de compactação sobre a resistência mecânica e térmica das misturas.
- Realizar protocolos de pré-tratamento das cinzas de bagaço de cana-de-açúcar e das fibras de cana de açúcar para reduzir os efeitos da alta absorção de água e para poder controlar a quantidade de água na mistura.

## Referências

- Arizzi, A., Viles, H., Martín-Sánchez, I., & Cultrone, G. (2016). Predicting the long-term durability of hemp-lime renders in inland and coastal areas using Mediterranean, Tropical and Semi-arid climatic simulations. *Science of the Total Environment*, 542, 757–770. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.141>
- ASTM C 1585 04. (2007). ASTM C 1585 04: Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes. American Society for Testing and Materials., 1–6.
- Astm C666/C666M. (2003). Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing. ASTM International, West Conshohocken, PA, 03(Reapproved), 1–6.
- Athira, V. S., Charitha, V., Athira, G., & Bahurudeen, A. (2021). Agro-waste ash based alkali-activated binder: Cleaner production of zero cement concrete for construction. *Journal of Cleaner Production*, 286. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125429>
- Atlasbig.com, (20/01/2022); <https://www.atlasbig.com/es-mx/paises-por-produccion-decana-de-azucar>.
- Bahurudeen, A., & Santhanam, M. (2014). Performance evaluation of sugarcane bagasse ash-based cement for durable concrete. *Proceedings of the 4th International Conference on the Durability of Concrete Structures, ICDCS 2014*, 275–281. <https://doi.org/10.5703/1288284315412>
- Benfratello, S., Capitano, C., Peri, G., Rizzo, G., Scaccianoce, G., & Sorrentino, G. (2013). Thermal and structural properties of a hemp-lime biocomposite. *Construction and Building Materials*, 48, 745–754. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.096>
- BS EN 1015-11. (2019). BSI Standards Publication Methods of test for mortar for masonry. 1–15.
- BSI Standards Publication Methods of test for paints – Part 0 : Index of test methods. (2010).
- Chandrasekhar Reddy, K. (2021). Investigation of mechanical and durable studies on concrete using waste materials as hybrid reinforcements: novel approach to minimize material cost. *Innovative Infrastructure Solutions*, 6(4), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s41062-021-00566-1>

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Charitha, V., Athira, V. S., Jittin, V., Bahurudeen, A., & Nanthagopalan, P. (2021). Use of different agro-waste ashes in concrete for effective upcycling of locally available resources. *Construction and Building Materials*, 285. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122851>

Comité Nacional de Produtores de Açúcar-Nicarágua, (21/01/2022) Estadísticas Zafra. 2020/2021 <https://cnpa.com.ni>

Dayrit, F. M. (2015). The Properties of Lauric Acid and Their Significance in Coconut Oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2562-7>

Dhakal, U., Berardi, U., Gorgolewski, M., & Richman, R. (2017). Hygrothermal performance of hempcrete for Ontario (Canada) buildings. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3655–3664. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.102>

Elfordy, S., Lucas, F., Tancret, F., Scudeller, Y., Goudet, L. (2008). Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete (“hempcrete”) manufactured by a spraying process. *Constr. Construir. Mater.* 22 (10), 2116mi2123.

Elisabete Fernandes Araújo. (2015). Materiais compósitos com incorporação de cânhamo industrial. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade do Minho.

EN 1015-11. (2006). Methods of Test for Mortar for Masonry. Part 11: Determination of Flexural and Compressive Strength of Hardened Mortar, 3(1).

Gomes F, C. F. R. M. G. E. M. E. S. F. (2021). Placas à base de desperdícios industriais para paredes interiores. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade do Minho.

Gross, C., & Walker, P. (2014). Racking performance of timber studwork and hemp-lime walling. *Construction and Building Materials*, 66, 429–435. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.054>

Jami, T., Karade, S. R., & Singh, L. P. (2019). A review of the properties of hemp concrete for green building applications. *Journal of Cleaner Production*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117852>

Janet L., S., Jay, R., & Freyr, S. (2018). Renewables 2018-Global status report. A comprehensive annual overview of the state of renewable energy. *Advancing the global renewable energy*

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

transition-Highlights of the REN21 Renewables 2018 Global Status Report in perspective.

Jr. Rincon, J. N. P., & Mor, G. A. Q. (2018). Evaluación de la Adición de Polvo de Ladrillo en la mezcla de cementom para la Producción de Cemento para la Producción Prefabricados de Concreto de la Empresa Reciclados Industriales Colombia. *Advanced Optical Materials*, 10(1), 1–9.

Katare, V. D., & Madurwar, M. V. (2021). Process standardization of sugarcane bagasse ash to develop durable high-volume ash concrete. *Journal of Building Engineering*, 39. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102151>

Kazmi, S. M. S., Abbas, S., Munir, M. J., & Khitab, A. (2016). Exploratory study on the effect of waste rice husk and sugarcane bagasse ashes in burnt clay bricks. *Journal of Building Engineering*, 7, 372–378. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.08.001>

Kazmi, S. M. S., Abbas, S., Saleem, M. A., Munir, M. J., & Khitab, A. (2016). Manufacturing of sustainable clay bricks: Utilization of waste sugarcane bagasse and rice husk ashes. *Construction and Building Materials*, 120, 29–41. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.084>

Kumar, N., & Barbato, M. (2022). Effects of sugarcane bagasse fibers on the properties of compressed and stabilized earth blocks. *Construction and Building Materials*, 315, 125552. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125552>

Niyigena, C., Amziane, S., & Chateauneuf, A. (2018). Multicriteria analysis demonstrating the impact of shiv on the properties of hemp concrete. *Construction and Building Materials*, 160, 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.026>

Patrícia Peixoto L.S. (2021). Compósitos de bagaço de cana-de-açúcar para blocos construtivos.

Rezende, S., Luiza, M., Grande, C., Ctac, U., & Ctac, U. (2019a). Proposal of Accelerated Test Exposure To Driving Rain.

Salih, M. M., Osofero, A. I., & Imbabi, M. S. (2020). Constitutive models for fibre reinforced soil bricks. *Construction and Building Materials*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117806>

Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2006). Metodologia de la investigación.

Sinka, M., Van den Heede, P., De Belie, N., Bajare, D., Sahmenko, G., & Korjamins, A. (2018).

Desenvolvimento de compósito à base de cânhamo e bagaço de cana de açúcar para blocos construtivos

Comparative life cycle assessment of magnesium binders as an alternative for hemp concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, 288–299. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.024>

Standard, I. (1994). CEN - European Committee for Standardization, ISO 9869. 994, 32.

Stevulova, N., Cigasova, J., Sicakova, A., & Junak, J. (2013). Lightweight composites based on rapidly renewable natural resource. *Chemical Engineering Transactions*, 35, 589–594. <https://doi.org/10.3303/CET1335098>

Walker, R., Pavia, S., & Mitchell, R. (2014). Mechanical properties and durability of hemp-lime concretes. *Construction and Building Materials*, 61, 340–348. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.02.065>