

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

ZÚNIGA Arlen L. G.^{1a} e EIRES Rute M. G.^{2b}

¹ Mestrado de Construção e reabilitação Sustentável, Escola de Engenharia, Universidade de Minho, Campus de Azurém, 4800-058

² Departamento de Engenharia Civil, CTAC - Centro de Território, Ambiente e Construção, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Campus de Azurém, 4800-058

^apg42609@alunos.uminho.pt, ^brute@civil.uminho.pt

Palavras-chave: Betão de Cânhamo - Bagaço de Cana de Açúcar.

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, 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, com adição de aglutinantes como a cal hidratada, pó de tijolo e a cinza de bagaço de cana-de-açúcar. A mistura das duas fibras incrementou a resistência à compressão entre 19 a 24 %, 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.

Introdução

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 CO₂ produzidas por todas as atividades relacionadas ao processo construtivo [1]. 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 com a redução do uso de materiais de construção convencionais que, segundo a sua avaliação de ciclo de vida, são prejudiciais ao meio ambiente, por isso, materiais de base biológica são opções a considerar.

Entre estas opções temos o betão de cânhamo industrial (IC) sendo 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*” [2]. É um material já consideravelmente estudado na construção civil, classificado como um material versátil que pode ser adaptado a uma grande variedade de aplicações, mas apenas pequenas alterações na sua composição e processo de fabricação causam muitas variações no resultado do produto, o que dificulta a sua apropriação. Na Tabela 1 apresentam-se diferentes estudos com resultados de 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 1: Estudos de “betão de cânhamo” - resistência à compressão.

Autor	Amostra	Peso (kg/m ³)	Cânhamo (%)	Cal aérea (%)	Ligante (75% cal aérea+15%cal hidráulica+10% pozolana)	Compressão (Mpa)
Elisabete Fernandes Araújo (2015) [3]	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) [4] Cilindro de 22 cm.	C8	250	17.92		37.31	0.99
Elfordy, S., Lucas, F., Tancret, F., Scudeller, Y., Goudet,(2008) [5]	1		75.00	25.00		
Benfratello et al (2013) [6]	4-20-C	607	20.00	16.00		0.46
Gross & Walker, (2014)(48.5%de água) [7]	1	275 (seco)	19.50	32.00		0.35-0.45

Na procura de melhorar as propriedades mecânicas deste compósito, pretende-se estudar 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 [8] em que se obteve, com adição de cal, 0.495 MPa de resistência máxima à compressão e 0.76 MPa à flexão. 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 2 a e c, respetivamente.

Também é considerada a alta disponibilidade desse recurso. A produção de açúcar e os seus derivados está presente em diversos países, Figura 1, com produção média anual de 1.889.268.880 toneladas, onde o principal produtor mundial é o Brasil. Esta indústria gera uma grande abundância de resíduos, o bagaço de cana, sendo geralmente usado para a produção de energia a partir do vapor da queima do mesmo. 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.

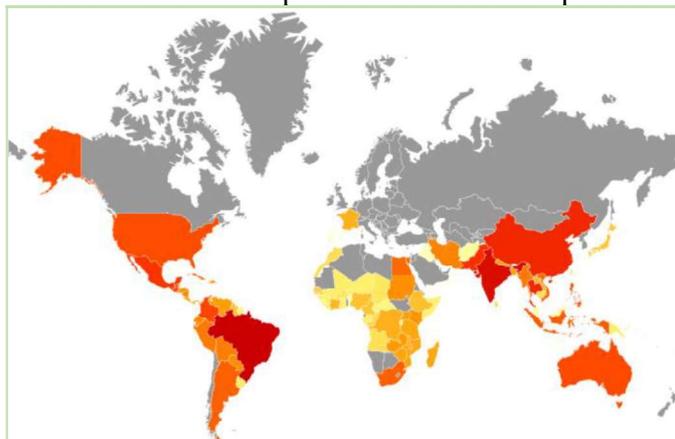


Figura 1: Principais países produtores de cana-de-açúcar fonte AtlasBig.com, 2022 [9].

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 e confirmar a integridade do novo compósito, bem como para avaliar o seu comportamento térmico.

Materiais e Métodos

Materiais. Os materiais utilizados no desenvolvimento do bloco, cujas imagens se podem ver na Figura 2, foram os componentes do “betão de cânhamo” convencional, granulado ou “aparas” de cânhamo industrial e cal, mais a adição do bagaço de cana-de-açúcar, com diferentes percentagens de adições como pó de tijolo e cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

O cânhamo utilizado foi da marca KANABAT, cultivado e processado na França, pela companhia Chanvrière de l'Aube (LCDA), não tem nenhum tratamento. O bagaço de cana-de-açúcar foi proveniente da ilha de Madeira, da variedade de Yuba, o material foi obtido pela moagem em engenho de 3 cilindros e não foi lavado. Entretanto, nunca exalou odor de fermentação e nem apresentou sabor doce. Os ligantes e adições considerados foram: a) cal aérea hidratada para a construção Lusical H100 (CL 90-S), para aplicações ou materiais de construção e engenharia civil; b) cinza de bagaço de cana-de-açúcar, 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 c) pó de tijolo usado, como um resíduo da construção, foi o disponível no laboratório.



Figura 2: a. Cânhamo, b. cal, c. bagaço de cana-de-açúcar, d. pó de tijolo, e. cinza de bagaço de cana-de-açúcar.

Composição das misturas. Para selecionar as misturas de referência do betão de cânhamo consideram-se os estudos referidos na tabela 1 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 %.

Para o novo compósito de cânhamo com bagaço de cana-de-açúcar, fizeram-se as misturas descritas na tabela 2, com as mesmas percentagens da mistura de referência, mas com a particularidade da variação da percentagem dos agregados e das adições, pó de tijolo e cinza de bagaço de cana-de-açúcar, separadamente numa primeira fase. O objetivo foi o reaproveitamento de resíduos sólidos, como do processo de cogeração no caso do bagaço de cana-de-açúcar e de resíduos da construção, o pó de tijolo.

Numa segunda fase, realizaram-se misturas com o ligante e adições em combinação e por fim apenas com cal e cinza. Nesta fase foi ainda adicionado um aditivo anti fungos, o óleo de coco que segundo algumas referências tem a função de reduzir a propagação deste micro-organismos em materiais naturais [10]. Para a seleção das misturas nesta fase 2 foram escolhidas as composições que têm menor quantidade de cal, com a intenção de se orientar o estudo para o uso da menor quantidade de cal e aproveitar a cinza do BCA e o pó de tijolo.

Na última fase realizou-se uma mistura adicional no sentido de otimizar as resistências de acordo com os resultados obtidos anteriormente, combinando apenas cal e cinzas de BCA.

Mistura, moldagem e cura. Segundo as percentagens das misturas definidas, pesaram-se os diferentes materiais, misturando primeiramente a cal com água para ter uma pasta de cal, e posteriormente foram adicionados gradualmente os agregados. Em alguns casos foi preciso adicionar uma maior quantidade de água, pela quantidade do BCA e pelas diferentes adições usadas. O parâmetro determinante foi a trabalhabilidade da mistura, para garantir a coesão dos diferentes materiais que compõem as diferentes misturas. Verificou-se uma maior necessidade de água quando a quantidade do BCA é maior, como nas misturas com a percentagem de 35 %.

Tabela 2: Misturas realizadas

Fase	Mistura	Agregados (%)	Porcentagem de Agregados		Aglutinante (%)	Porcentagem de Ligante e adições			Aditivo (%)
			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	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
	CBCAZ-3B	30	25	75	70 (70/30)	70	15	15	5
CBCAZ-3C	30	25	75	70 (50/50)	50	25	25	5	
Fase 3	CBCA-CCBCA-P1	25	75	25	75(75/25)	75		25	5

Nota: A água utilizada foi 125% da percentagem da cal.

A média de tempo de mistura foi de 5 min: 31 s, até conseguir a trabalhabilidade da mistura.

As misturas foram colocadas em moldes de ferro, previamente tratados com óleo, com dimensões de 40x40x160 mm, e foram retirados dos moldes cerca de 24 a 48 horas depois. Foram colocados à temperatura e humidade ambiente (valores médios de 15- 30°) e cobertos com uma película de plástico para manter a humidade necessária à hidratação do ligante e adições. O tempo de cura foi de 28 dias para avaliar as propriedades mecânicas.

Resistência mecânicas à flexão e à compressão. A avaliação da resistência a flexão e à compressão realizou-se de acordo com a norma BS EN 1015-11 2019, ajustada às condições do material de origem natural, aplicando 20N/s e considerando o deslocamento da força aplicada sobre o provete como limite do teste, até à rutura do provete. Para o cálculo dos resultados considerou-se a seguinte fórmula à flexão:

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

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.

Para o cálculo dos resultados à compressão considerou-se a seguinte fórmula:

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

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 milímetros.

Propriedades térmicas. Para avaliação das propriedades térmicas do novo compósito (fluxo de calor, resistência térmica e condutibilidade térmica) utilizou-se o protótipo Prototherm, testado por Gomes [11] a metodologia seguida para este ensaio foi procedimento interno do LMC (Laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, por adaptação à norma ISSO-9869-1994 [11].

O ensaio consistiu 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 a temperaturas do ambiente, fonte de calor, dissipador, canal interno Input, antes de amostra a ser testada, canal interno output depois da amostra testada. Nas amostras das diferentes misturas foi instalado um controlador de fluxo de calor. Neste ensaio foi definida na fonte de calor 200°C, para ter uma temperatura do canal interno Input de uma média de 39-40 °C constante durante 24 horas, para obter temperatura média em ambos canais e ter um intervalo de tempo onde existe 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 ;

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

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

Onde:

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

R_t 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

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

Onde:

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

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

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

Resultados: Observações visuais – Resistência - Propriedades Térmicas

Observações visuais. Na preparação de cada mistura no estado fresco realizaram-se observações a olho nu e com recurso a microscópio ótico, no sentido de verificar a coesão ou aderência entre os materiais. Na composição do betão do cânhamo base, apenas com cal, pode-se observar a aderência da cal hidratada e o preenchimento dos espaços entre as aparas, fazendo a mistura mais coesiva. Na formação do novo compósito, as aparas do BCA, ficaram a preencher e unir as aparas do cânhamo entre elas, fazendo uma rede entre os espaços que no betão de cânhamo comum estava preenchido somente pela pasta da cal.

As misturas com maior coesão, como se pode ver na Figura 3, foram: CCA-1 (cal e cânhamo); CBCACA-1 (combinação só entre cal, cinza e bagaço de cana-de-açúcar), com melhor coesão; e CBCA-CCBCA-P1 (combinação entre cal, cinza e bagaço de cana-de-açúcar) em que a apara do cânhamo fica totalmente coberta e pode-se perceber que junto com a cinza ficam a cobrir ambas fibras.

Resistência à tração por flexão. Na Figura 4, 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.

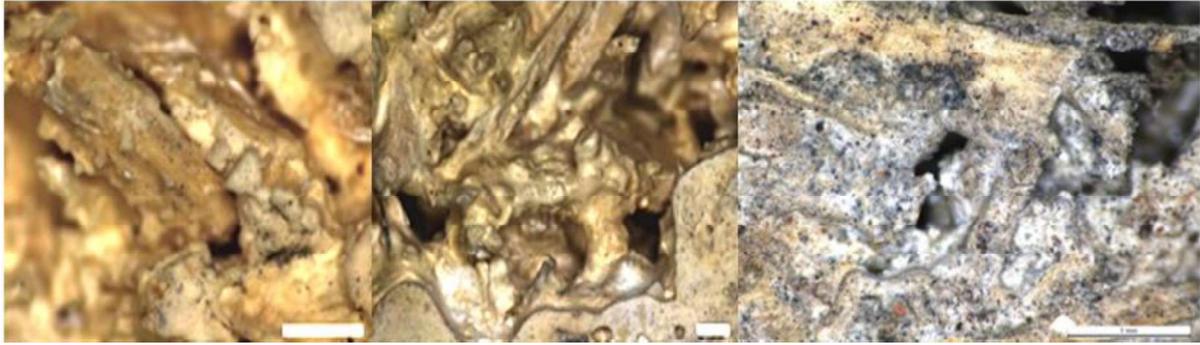


Figura 3: Microscopia ótica – Misturas: REF CCA-1; CBCACA-1; e CBCA CIBCACAL P1

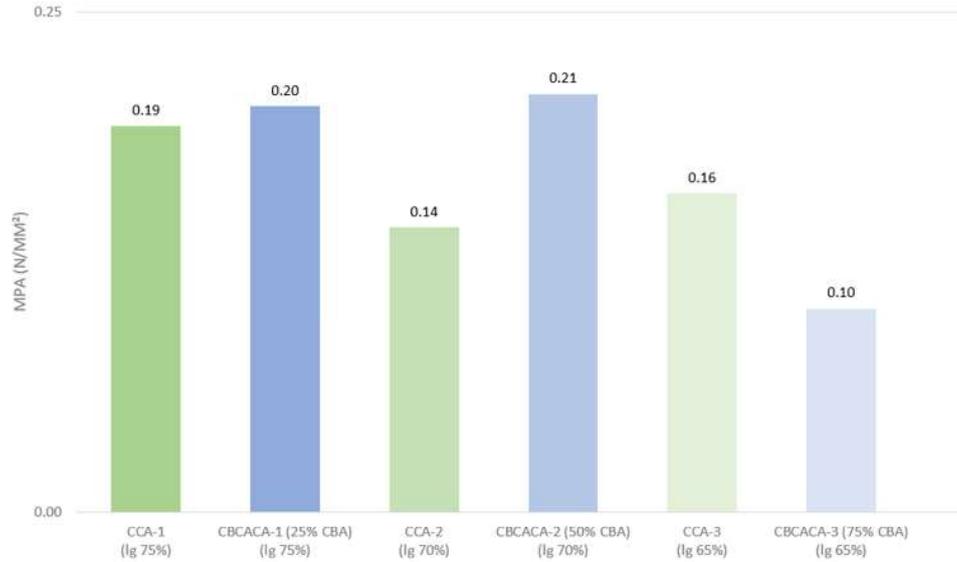


Figura 4: Resistência a flexão das misturas da fase 1

Como indicou Jami et al., pode-se comprovar que a “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” [2].

Resistência à compressão. Como se observa na Figura 5, relativamente ao betão de cânhamo com diferentes quantidades de ligante, os resultados obtidos não revelam a mesma tendência decrescente, mas este facto pode dever-se a alguma diferença durante a compactação.

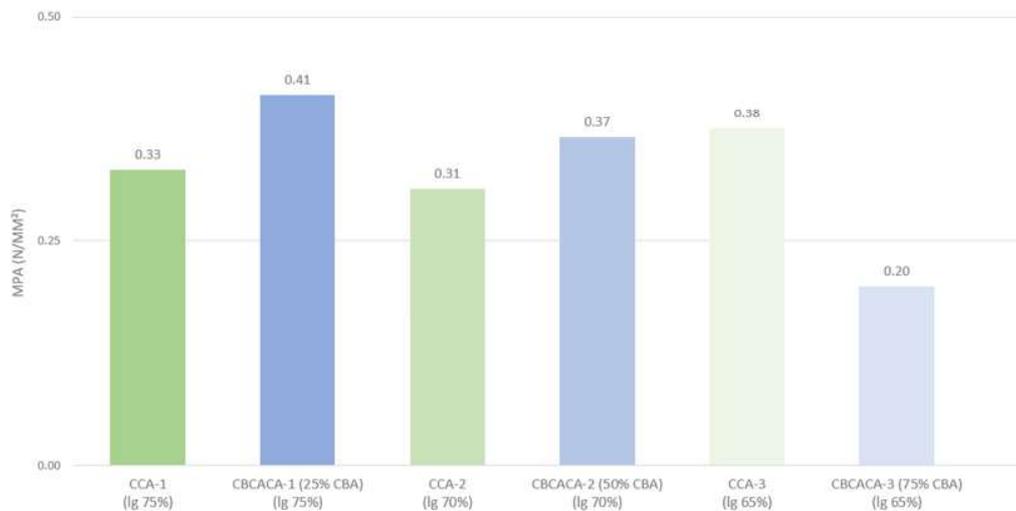


Figura 5: Resistência a compressão de CCA-CBCACA da fase 1

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.

Na Figura 6 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 %.

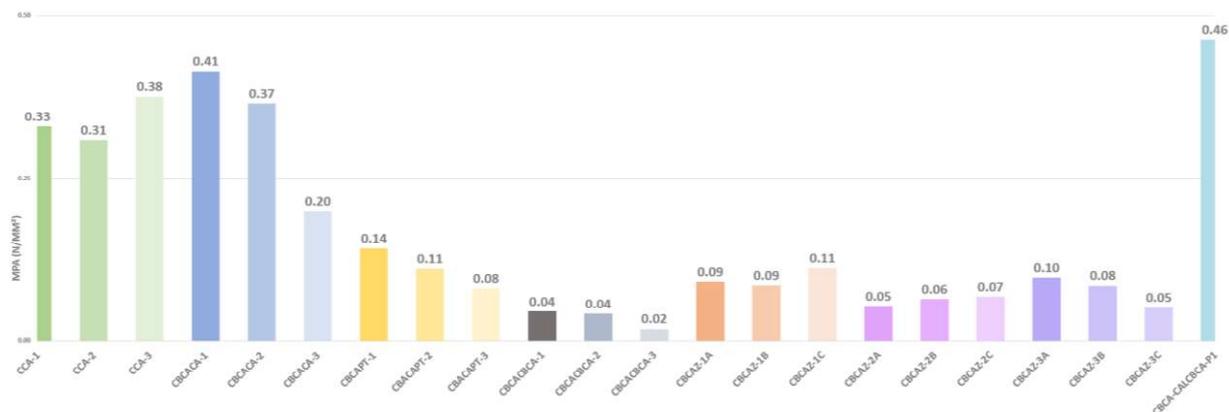


Figura 6: Resistência a compressão das misturas – Fases 1, 2 e 3

Na fase 2, os resultados não variam consideravelmente entre eles, porque se mantém a mesma percentagem de 30 % de agregados e 70 % de 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 pó de tijolo.

Na fase 3, obteve-se a mistura com melhor desempenho de todas as misturas produzidas, com 25 % de agregados (25 % de BCA -75 % de cânhamo), e 75 % de ligantes (25 % de cinza de BCA e 75 % de cal) com 0,46MPa.

Comportamento térmico. Para aplicação dos testes térmicos foram utilizadas amostras de 15x15x5 cm de misturas com 25 % de agregados e 75 % de ligante. Tendo sido testada a mistura apenas com cânhamo e as misturas com cujos agregados eram compostos por 25 % de BCA e 75 % de cânhamo, uma vez que estas obtiveram um melhor desempenho no ensaio de resistência à compressão. As amostras tiveram um tempo de cura de 56 dias e um peso médio de 531,86kg/m³.

Para efeito comparativo, testou-se uma placa de poliestireno extrudido de 3 cm, para verificar os resultados com o indicado na ITE50, na Tabela 4 condutibilidades térmicas para isolantes térmicos, no caso do poliestireno extrudido a condutibilidade é de 0.037 w/m°C, neste caso, o resultado foi 0.044 w/m°C, ou seja próximo ao indicado.

Tabela 4: Valores das propriedades térmicas das misturas

Material	Fluxo de calor (w/m ²)	U (W/m ² .°C)	λ (w/m.°C)	Rt (m ² .°C/W)	ITE50 - λ (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
CBCA CIBCACAL P1	43.93	4.36	0.098	0.489		0.048

Os resultados obtidos, apresentados na Figura 7, revelam que as misturas testadas têm uma condutibilidade térmica superior ao isolamento de referência, XPS. Comparando os resultados entre misturas, pode-se verificar que as misturas sem cal, mas com as adições de pó de tijolo ou cinza de BCA tiveram a menor condutibilidade, uma média de 0.07 w/m°C. O que se poderá justificar, uma vez que foram misturas com menor aderência entre as partículas, como tal, com maior número de vazios. No caso das misturas apenas com cal, apenas com cânhamo CCA1 ou com cânhamo e BCA

CBCA CA1 tiveram valores de condutibilidade idênticos, mas superiores. A última mistura testada, da fase 3, com BCA, cânhamo, cal e cinza obteve um valor ligeiramente menor que as anteriores, o que mostra que o composto híbrido tem um bom desempenho, seja apenas com cal ou com adição de cinza de BCA.

Comparando com o resultado de estudos encontrados na literatura sobre “betão de cânhamo” verifica-se que nas misturas à base de cal, a CCA1 e CBCA CA1 o resultado é compatível com os estudos de Evrard & Herde [12] e Evrard [13] com valores entre 0.06-0.14 w/m°C e os estudos de Dhakal [14] variando de 0,074 a 0,103 W / mK.

Comparando a mistura de BCA/Cal com a mistura idêntica de BCA e Cal (BC1) do estudo de Leão de Sousa [8], verifica-se que os valores são próximos, cujo coeficiente de condutibilidade era 0.12 W/m°C.

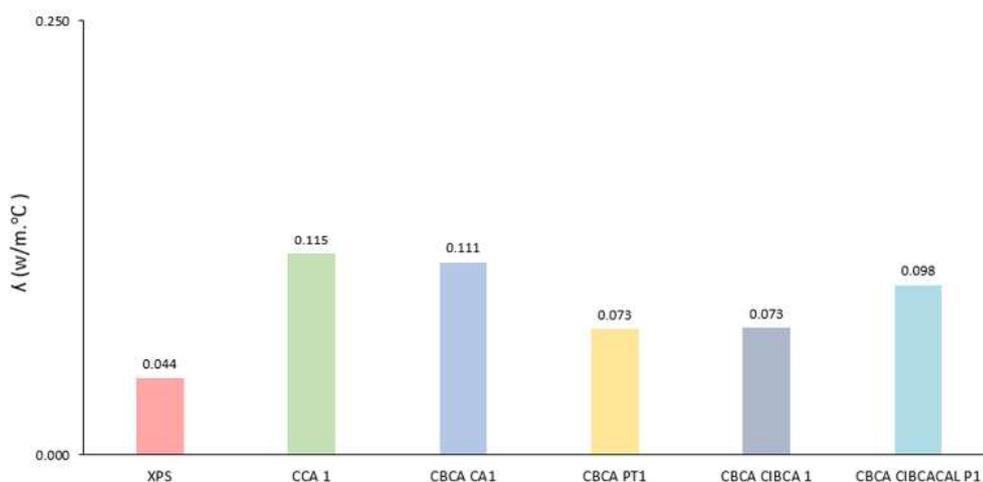


Figura 7: Condutibilidade térmica das misturas

Também se pode observar-se que, pelos resultados obtidos, nenhuma das misturas está dentro dos parâmetros para ser considerado material isolante térmico. Para tal, teria de apresentar uma condutibilidade térmica inferior a 0.065 w/m°C e uma resistência térmica superior a 0.030 m²°C/w de acordo com o ITE50.

Relativamente à resistência térmica, conforme a Figura 8, todas as misturas apresentam uma boa resistência térmica, equiparada à amostra de referência (XPS) com resultados superiores aos 0.030 m²°C/w. numa média de 0.533 m²°C/w.

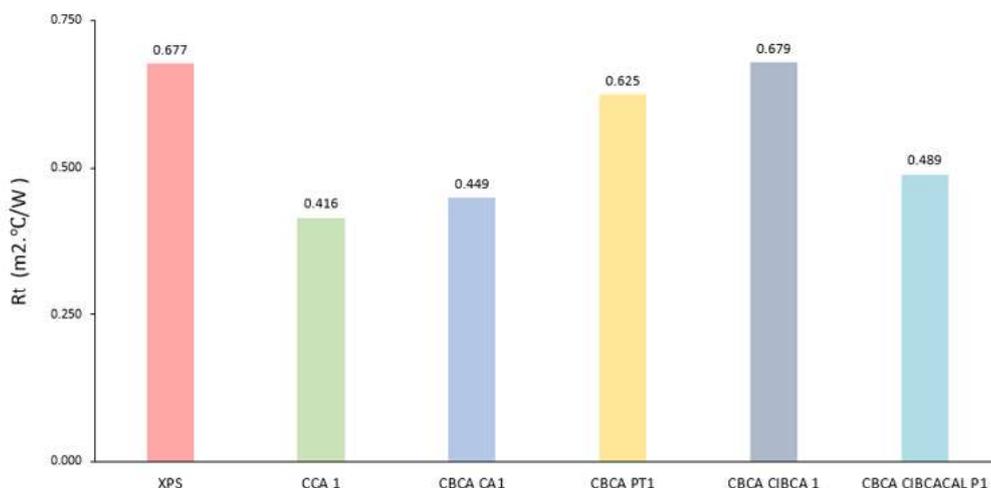


Figura 8: Resistência térmica das misturas.

Conclusão

• 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.

• A melhor integração dos aglutinantes (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.

• Depois das experiências com todas as misturas e mediante a observação da ação dos materiais, fez-se a proposta da fórmula CBCACCBCA-P1, que consiste em Cânhamo + Bagaço de Cana-de-Açúcar + Cal + Cinza de Bagaço de Cana-de-Açúcar, na proporção de 75 % de aglutinante (cal) e 25 % de agregados (cinza de bagaço de cana-de-açúcar). Observa-se uma coesão muito maior entre todos os materiais.

• As misturas com melhor desempenho mecânico foram as que têm 25% de agregados e 75% de aglutinantes, dos agregados o 75 % de cânhamo e 25% de BCA.

• O aumento de mais do 50 % na adição do BCA diminui a resistência à compressão e flexão, assim como com a redução da percentagem do ligante, com menos de 65 %. O que confirma a uma das conclusões do estado da arte, que assinala que reduzir a percentagem da fibra e um aumentar a percentagem de ligantes, melhora a resistência mecânica.

• Relativamente aos ensaios de avaliação das propriedades térmica, comparando os resultados obtidos com os valores da literatura, pode-se concluir que o compósito híbrido (cânhamo/BCA) tem um desempenho similar, seja apenas com cal ou com adição de cinza de BCA.

Referências

- [1] Janet L., S., Jay, R., & Freyr, S. Renewables 2018-Global status report. A comprehensive annual overview of the state of renewable energy. Advancing the global renewable energy transition-Highlights of the REN21 Renewables 2018 Global Status Report in perspective (2018).
- [2] Jami, T., Karade, S. R., & Singh, L. P. *A review of the properties of hemp concrete for green building applications*, Journal of Cleaner Production, 239 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117852>
- [3] Elisabete Fernandes Araújo. *Materiais compósitos com incorporação de cânhamo industrial* Elisabete Fernandes Araújo Materiais compósitos com incorporação de cânhamo industrial (2015).
- [4] Niyigena, C., Amziane, S., & Chateaneuf, A. *Multicriteria analysis demonstrating the impact of shiv on the properties of hemp concrete*, Construction and Building Materials, 160 (2018) 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.026>
- [5] Elfordy, S., Lucas, F., Tancret, F., Scudeller, Y., Goudet, L. *Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete (“hemperete”) manufactured by a spraying process*, Constr. Construir. Mater. 22 (10) 2116mi2123 (2008).
- [6] Benfratello, S., Capitano, C., Peri, G., Rizzo, G., Scaccianoce, G., & Sorrentino, G. *Thermal and structural properties of a hemp-lime biocomposite*, Construction and Building Materials, 48 (2013) 745–754. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.096>

- [7] Gross, C., & Walker, P. *Racking performance of timber studwork and hemp-lime walling*, *Construction and Building Materials*, 66 (2014) 429–435. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.054>
- [8] Leao de Souza, P.P. *Compósitos de bagaço de cana-de-açúcar para blocos construtivos. Dissertação de mestrado em Construções e Reabilitações Sustentáveis*, Universidade do Minho (2021). <https://hdl.handle.net/1822/75869>
- [9] AtlasBig.com Maps and Statistics of the World and Regions, disponível em <https://www.atlasbig.com/es-mx>, acedido em 2022.
- [10] Dayrit, F. M. *The Properties of Lauric Acid and Their Significance in Coconut Oil*, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(1) (2015) 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11746-014-2562-7>
- [11] Gomes, F. C. F. *Placas à base de desperdícios industriais para paredes interiores*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Minho (2021).
- [12] Evrard, A.; Herde, A.D. Bioclimatic envelopes made of lime and hemp concrete. In *Proceedings of the CISBAT2005 Conference—Renewables in a Changing Climate—Innovation in Building Envelopes and Environmental Systems*, Lausanne, Switzerland (2005).
- [13] Evrard, A. *Transient hygrothermal behavior of Lime-Hemp Materials*. Ph.D. Thesis, Université Catholique De Louvain, Ottignies-Louvain-la-Neuve, Belgium (2008).
- [14] Dhakal, U., Berardi, U., Gorgolewski, M., & Richman, R. *Hygrothermal performance of hempcrete for Ontario (Canada) buildings*, *Journal of Cleaner Production*, 142 (2017) 3655–3664. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.102>