

# Potencialidade de painéis sanduíche com núcleo de bioconcreto leve com resíduo do endocarpo de palma para uso na construção civil

*Potential of sandwich panels with lightweight bioconcrete core with palm oil shell residue for use in civil construction*

Mariana Santos Nunes   
Paulo Roberto Lopes Lima   
Ricardo Fernandes Carvalho 

## Resumo

O uso de painéis sanduíche na construção civil é uma alternativa viável na busca por materiais com baixo peso próprio, menor condutividade térmica e resistentes à compressão. Para aumentar a sustentabilidade dessa solução, é preciso substituir o reforço de aço das faces e o núcleo em EPS por materiais que apresentem menor custo energético e redução da emissão de gases do efeito estufa durante a produção. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo, desenvolver um painel sanduíche com núcleo de concreto leve feito com endocarpo do dendê em substituição do agregado graúdo convencional e faces com argamassa reforçada com fibras curtas de sisal. O bioconcreto foi produzido com dois teores de endocarpo do dendê (100% e 150% da massa de aglomerante) e duas relações água/aglomerante, de 0,35 e 0,45. O aumento do teor de endocarpo resulta em aumento da absorção de água e redução da resistência mecânica, mas os painéis apresentaram massa específica menor que 1480 kg/m<sup>3</sup> e resistência a compressão maior que 7 MPa o que os qualifica para uso como alvenaria de vedação. O uso de fibras vegetais permitiu o aumento da tenacidade sob flexão mesmo após o início da fissuração do painel.

**Palavras-chave:** Comportamento mecânico. Endocarpo do dendê. Pannel sanduíche. Sisal. Bioconcreto.

## Abstract

The use of sandwich panels in construction is a viable alternative in the search for materials with low self-weight, lower thermal conductivity, and resistance to compression. To increase the sustainability of this solution, it is necessary to replace the steel reinforcement of the faces and the EPS core with materials that have lower energy costs and reduce greenhouse gas emissions during production. In this context, this study aims to develop a sandwich panel with a lightweight concrete core made from oil palm endocarp as a substitute for conventional coarse aggregate and faces with mortar reinforced with short sisal fibers. The bioconcrete was produced with two levels of oil palm endocarp (100% and 150% of the binder mass) and two water/binder ratios, 0.35 and 0.45. The increase in the content of endocarp results in increased water absorption and reduced mechanical strength, but the panels had a specific mass lower than 1480 kg/m<sup>3</sup> and compressive strength greater than 7 MPa, qualifying them for use as infill masonry. The use of sisal fibers allowed an increase in toughness under flexure even after the initiation of panel cracking.

**Keywords:** Mechanical behavior. Palm endocarp. Sandwich panel. Sisal. Bioconcrete.

<sup>1</sup>Mariana Santos Nunes

<sup>1</sup>Universidade Federal da Bahia  
Salvador - BA - Brasil

<sup>2</sup>Paulo Roberto Lopes Lima

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Feira de  
Santana  
Feira de Santana - BA - Brasil

<sup>3</sup>Ricardo Fernandes Carvalho

<sup>3</sup>Universidade Federal da Bahia  
Salvador - BA - Brasil

Recebido em 18/06/23

Aceito em 23/11/23

## Introdução

A construção civil é um setor importante para economia, mas está associado a um grande consumo de energia, desde a extração, produção ou beneficiamento de materiais, à construção das obras de engenharia e ao uso das edificações ao longo dos anos. Estima-se que 51% da energia gerada no Brasil são gastos por ano para atender o uso das edificações (Geraldi *et al.*, 2022), sendo uma grande parte do consumo energético usada para manter o conforto térmico. Por isso, o uso de elementos construtivos mais apropriados como alvenaria de vedação, como sistemas em painel sanduíche, que tem ganhado relevância, pois são capazes de melhorar o conforto térmico e acústico, além de promover uma construção com maior produtividade, utilizando peças pré-fabricadas, leves e de fácil montagem. Elementos como pisos, paredes, forros e coberturas podem ser projetados através dessa tecnologia, e como consequência, intervir nos processos e produtos convencionais utilizados na construção (Frazão *et al.*, 2018; Lee *et al.*, 2018). Em adição, os painéis sanduíches podem ser utilizados como elementos para retrofit, sendo adicionados a alvenarias para melhorar o conforto térmico e/ou acústico de edificações existentes (Colombo *et al.*, 2021), usando materiais convencionais ou materiais inovadores (Arantes *et al.*, 2023).

Os painéis sanduíche são formados por três camadas de material; um núcleo, em material mais leve e com baixa condutividade térmica e acústica; e duas faces, em material mais resistente e menos permeável. O núcleo tem a função de separar as faces, garantindo um elevado momento de inércia para a peça, além de resistir às deformações perpendiculares ao plano da face, ou seja, proporcionar resistência à compressão compatível aos esforços de utilização do material, evitando o esmagamento do painel (Motta *et al.*, 2016). Na construção de edificações, os painéis sanduíches mais comuns usam núcleo em poliestireno expandido (EPS) (Moreira; Comin, 2022) ou em concreto leve (Marouene, 2010; Lee *et al.*, 2018), enquanto as faces são usualmente produzidas em argamassa armada com barras de aço. O EPS tem coeficiente de condutividade térmica muito baixo, da ordem de 0,033 W/(m.K), e baixa densidade, e por isso são muito utilizados como núcleo, sendo as suas principais limitações a aderência com as faces a base de cimento e a sustentabilidade, visto que é produzido de uma material não-renovável a base de combustível fóssil.

O concreto leve consegue aderir bem às faces sem a utilização de adesivos, e pode ter sua densidade reduzida pela substituição de agregados convencionais por agregados leves, como a vermiculita e argila expandida. Tais materiais, no entanto, além de serem oriundos de recursos naturais não renováveis, reapresentam grande demanda de energia para fabricação. Como alternativa de concretos mais sustentáveis, os agregados naturais e agregados leves manufaturados têm sido substituídos por resíduos industriais:

- (a) construção e demolição (RCD) e etileno acetato de vinila (EVA) (Santiago *et al.*, 2009);
- (b) poliestireno expandido (EPS) (Schackow *et al.*, 2014);
- (c) borracha de pneu (Silva *et al.*, 2017);
- (d) pedra-pomes (Khotbehsara *et al.*, 2017);
- (e) casca de coco (Azunna *et al.*, 2019);
- (f) serragem de madeira (Gloria, 2015);
- (g) caroço de açaí (Pereira, 2019); e
- (h) casca do dendê (Sobuz *et al.*, 2014; Teo *et al.*, 2007; Alengaram *et al.*, 2010).

O uso de agregado proveniente do resíduo de dendê é uma alternativa estratégica para o Brasil, que conta com uma área de 178.130 ha de plantação de dendê, com uma colheita anual de 2.583.293 toneladas de cachos de dendê (IBGE, 2020). O fruto do dendê, mostrado na Figura 1, possui dimensões de 2 cm a 5 cm de comprimento e massa de 3 g a 30 g, e é composto por endosperma, endocarpo ou casca, mesocarpo ou polpa e exocarpo. Da polpa é extraído o óleo de palma, também conhecido como óleo de dendê, por um processo de esmagamento e que é utilizado em vários produtos alimentícios, farmacêuticos, além de cosméticos, sabão, sabonetes, velas, lubrificantes, dentre outros. Estima-se uma produção anual de 117.482 t de resíduo de endocarpo do dendê, que pode ser utilizado em adubagens e como combustível em caldeiras (Netto; Temp; Bruno, 2018) ou na produção de concretos leve (Alengaram; Al Muhit; Jumaat, 2013) com finalidades específicas, como de alta resistência, estrutural, ou piso de concreto (Alengaram *et al.*, 2010; Shafigh *et al.*, 2011; Sobuz *et al.*, 2014; Yap *et al.*, 2014; Loh; Yew; Yew, 2018; Maghfouri; Shafigh; Aslam, 2018; Fani *et al.*, 2019). As propriedades dos concretos leves variam em função do teor de agregado de dendê, como mostra a Tabela 1, e por isso, sua utilização como núcleo leve de painel sanduíche precisa ser precedida de avaliação das propriedades dos concretos com diferentes teores.

Figura 1 - Fruto do dendê com corte longitudinal

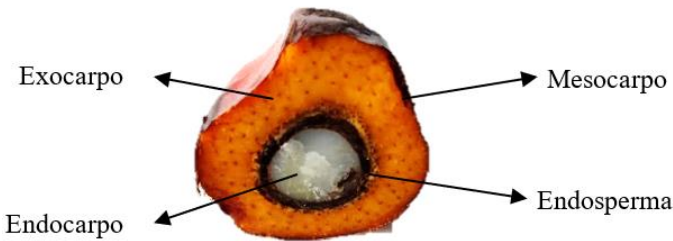


Tabela 1 - Propriedades do concreto leve com endocarpo do dendê

| Autores                             | Teor de agregado de dendê (%) | Absorção de água (%) | Massa específica seca (kg/m³) | Resistência à compressão axial (MPa) | Módulo de elasticidade (GPa) |
|-------------------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Teo <i>et al.</i> (2007)            | 60                            | 33,00                | 1985                          | 28                                   | 5,31                         |
| Maghfouri, Shafigh and Aslam (2018) | 20 - 100                      | -                    | 1900 - 2200                   | 40,5 – 64,2                          | 5,3 - 10,9                   |
| Loh, Yew e Yew (2018)               | 100                           | -                    | 1980                          | 27,37                                | -                            |
| Shafigh <i>et al.</i> (2011)        | 100                           | -                    | 1946                          | 42,49                                | 15,1 – 16,1                  |
| Alengaram <i>et al.</i> (2010)      | 100                           | 21,80 a 24,86        | 1525                          | 25                                   | 11,18                        |
| Sobuz <i>et al.</i> (2014)          | 15                            | 25,64                | 1850                          | 17                                   | 14,62                        |

As faces do painel sanduiche apresentam menor espessura que o núcleo e devem apresentar propriedades como elevada resistência mecânica, resistência ao impacto, à corrosão, ao desgaste e ao fogo. São ainda atribuídos às faces um acabamento superficial de qualidade, e em alguns casos, estanqueidade ao vento, à água e ao vapor de água (Gloria, 2015; Miranda, 2016). Durante o processo de transporte e montagem, e mesmo para alguns tipos de aplicações como elementos construtivos, as faces dos painéis a base de cimento estarão submetidas a tração direta devido a esforços de flexão do painel e, por isso, precisam ser reforçadas. Para painéis com núcleo em EPS, as faces são produzidas com lançamento de argamassa de cimento sobre uma tela de aço utilizada como reforço estrutural. Devido à corrosão do reforço, que gera redução na resistência mecânica dos painéis (Garhwal; Sharma; Roy, 2022), o cobrimento de argamassa das barras precisa ser maior que 10 mm para aplicações internas, e maior que 20 mm para aplicações externas, o que aumenta o consumo de materiais e reduz a eficiência dessa solução. Uma alternativa para produção de faces mais finas é o uso de compósitos reforçados com fibras ou tecidos manufaturados (Yang *et al.*, 2023), ou em tecidos com fibras naturais (Frazão *et al.*, 2018; Gloria, 2015). Em comparação com a primeira solução, o uso de compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais resulta em maior sustentabilidade devido ao menor consumo energético e emissão de gases estufas na produção do material.

Além do reforço em tecido, as fibras vegetais podem ser utilizadas de forma curta e dispersa na matriz cimentícia. Compósitos com fibras de sisal curta têm sido usados na fabricação de elementos construtivos (Lima *et al.*, 2018) e apresentam a resistência necessária para uso como face do painel sanduiche. Essa solução potencializa o método de produção já utilizado para fabricação dos painéis de EPS o que facilitaria a sua difusão. Para minimizar a incompatibilidade química entre a fibra vegetal e os produtos de hidratação do cimento, e garantir a vida útil dos painéis, as matrizes têm sido produzidas com materiais pozolânicos em substituição a parte do cimento (Lima; Toledo Filho, 2008). Em adição, a variação dimensional da fibra vegetal devido a variação de umidade do compósito tem sido controlada por tratamentos físicos-químicos, como a hornificação das fibras, que reduzem sua capacidade de absorção de água e aumentam a estabilidade dimensional, a resistência à tração e a rigidez das fibras de sisal (Machado, 2014; Santos, 2015).

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver e avaliar um painel sanduiche inovador com núcleo em concreto leve contendo resíduos do endocarpo do dendê e faces em compósitos cimentícios reforçados com fibras curtas de sisal. Para isso, foram produzidos três tipos de painéis com diferentes concretos leves como núcleo, com variação no teor de resíduo de dendê e do fator água-cimento, que foram submetidos a ensaio de absorção de água, compressão direta e flexão em quatro pontos.

## Metodologia

### Materiais

#### Fibras de sisal

As fibras de sisal utilizadas neste estudo foram fibras longas, utilizadas para fiação, tecelagem e artesanato, e foram adquiridas na APAEB (Associação dos Pequenos Agricultores do Estado da Bahia) que está situada no município de Valente – Bahia. Após aquisição, as fibras passaram pelo tratamento de hornificação, com o objetivo de reduzir sua capacidade de absorção de água e consequentemente perda de aderência com a matriz (Claramunt; Ardanuy; Garcia-Hortal, 2010). Inicialmente as fibras foram imersas em água à temperatura ambiente durante 3 horas (até a saturação), estendidas por 5 horas para retirar o excesso de água, e secas em estufa à 80 °C por 16 horas (até constância de massa). Este procedimento corresponde a 1 ciclo de molhagem e secagem e possui duração de 24 horas. Para essa pesquisa foram realizados 5 ciclos de hornificação, procedimento também utilizado por Ferreira *et al.* (2017). Após o tratamento, as fibras foram desembaraçadas utilizando um pente de pregos espaçados e cortadas com 4 cm de comprimento (Figura 2).

As fibras foram submetidas a ensaio de absorção de água e tração direta. Com o tratamento por hornificação houve alteração das propriedades da fibra com relação a fibra natural: a taxa de absorção de água passou para 133%, uma redução de 13%, e a resistência a tração direta foi para 286,74 MPa, um aumento de 15,64%. Verifica-se, portanto, a melhoria das propriedades das fibras, como já observado por outros pesquisadores (Ferreira *et al.*, 2017).

#### Cimento, adições e aditivos

Como material cimentício para produção dos compósitos e do concreto leve foram utilizados cimento Portland CP V ARI RS, com massa específica de 3,07 g/cm<sup>3</sup>, cinza volante, com massa específica de 2,03 g/cm<sup>3</sup>, e sílica ativa, com massa específica de 2,22 g/cm<sup>3</sup>. A Tabela 2 apresenta a composição química das matérias-primas que compõem o aglomerante, determinada pela técnica de fluorescência de raios X.

Foi empregado o aditivo superplastificante Adiment Premium, a base de polímeros policarboxilatos, com teor de sólidos de 30% e massa específica igual a 1,09 g/cm<sup>3</sup>. Para o compósito reforçado com fibras, foi utilizado ainda o agente modificador de viscosidade (VMA) RHEOMAC® UW 410 para evitar a segregação da mistura.

#### Resíduo de endocarpo e agregado natural

A areia utilizada foi do tipo fina quartzosa com diâmetro máximo de 1,2 mm, módulo de finura de 1,77 e massa específica de 2,62 g/cm<sup>3</sup>.

O endocarpo do dendê utilizado foi um resíduo proveniente da fabricação de produtos oriundos do fruto do dendê da empresa Oldeza Óleo de Dendê Ltda, situada em Nazaré – BA. Em laboratório, o endocarpo passou por uma lavagem em água à 80 °C por 1 hora para retirar as impurezas e logo após foram secos em estufa à 80 °C por um período de 48 horas. O resíduo do endocarpo quando coletado não apresentava uniformidade e, portanto, os grãos foram moídos (Figura 3) em um moinho de facas. Após o beneficiamento o resíduo de dendê foi caracterizado e apresentou módulo de finura de 3,19, massa específica de 1,29 g/cm<sup>3</sup> e absorção de água de 22%.

Figura 2 - Fibras de sisal cortadas com 40 mm de comprimento



Tabela 2 - Composição química (%) dos aglomerantes

| Óxidos                         | Cimento | Sílica ativa | Cinza volante |
|--------------------------------|---------|--------------|---------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 16,18   | 85,51        | 56,61         |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,76    | 1,47         | 27,15         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,77    | 5,13         | 6,27          |
| CaO                            | 64,28   | 0,30         | 1,58          |
| MgO                            | 4,90    | 1,40         | 1,70          |
| K <sub>2</sub> O               | 1,05    | 1,90         | 3,11          |
| SO <sub>3</sub>                | 4,83    | 0,53         | 0,64          |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,60    | 2,10         | 1,10          |
| Outros                         | 0,63    | 1,66         | 1,84          |

Figura 3 - Endocarpo do dendê após beneficiamento em laboratório



### Bioconcreto leve

A dosagem dos concretos foi feita com base no trabalho de Alengaram *et al.* (2010), com teores de resíduo do endocarpo de 100% e 150%, em relação a massa de aglomerante, e fator água/aglomerante (a/aglo) de 0,35 e 0,45, como mostra a Tabela 3. A porcentagem de sílica ativa e cinza volante foram de 10% e 5%, respectivamente, em substituição ao cimento.

Para considerar a absorção de água do endocarpo (da ordem de 22%) durante o processo de produção do concreto e evitar uma perda de trabalhabilidade, foi inserida na mistura uma água adicional para compensar 80% da absorção. Essa taxa de compensação foi baseada no trabalho de Leite, Figueiredo Filho e Lima (2013) que indicou que o uso de 100% de compensação da água absorvida por agregados reciclados não era adequado, sendo o valor de 80% considerado o que resultava melhor trabalhabilidade sem perda de resistência mecânica. Para os traços com maior teor de endocarpo e menor fator água/aglomerante foi adicionado superplastificante para que a mistura obtivesse trabalhabilidade adequada (slump maior que 120 mm).

Os concretos 100D45 e 150D45 apresentaram resistência a compressão de 9,23 MPa e 10,22 MPa, respectivamente, enquanto o concreto 100D35 apresentou resistência a compressão de 19,04 MPa. O módulo de elasticidade foi de 3,12 GPa, 4,21 GPa e 7,91 GPa para os concretos 100D45, 150D45 e 100D35 respectivamente. A absorção de água dos concretos 100D45, 150D45 e 100D35 foi de 18,60%, 26,45% e 15,04%, respectivamente.

### Compósitos com fibras de sisal

O traço do compósito foi baseado na pesquisa de Lima *et al.* (2018), utilizando um teor de 2% de fibras, em massa, como mostra a Tabela 4. A porcentagem de sílica ativa e cinza volante foram de 10% e 40%, respectivamente, em substituição do cimento, com o objetivo de reduzir o teor de hidróxido de cálcio e garantir uma matriz durável para as fibras vegetais. O superplastificante e o VMA foram utilizados para garantir uma matriz autoadensável e sem segregação.

As fibras foram cortadas com comprimento de 40 mm e adicionadas manualmente durante o processo de mistura, que foi realizado em argamassadeira de bancada de 20 dm<sup>3</sup>.

O compósito apresentou resistência compressão de 28,34 MPa e módulo de elasticidade de 23,66 GPa. A absorção de água foi de 12,02%.

### Produção do painel sanduíche

Os painéis foram moldados em formas de acrílico com dimensões internas de 420 x 420 x 100 mm (comprimento x largura x altura) de acordo com as seguintes etapas:

- inicialmente o compósito com fibra de sisal foi misturado na argamassadeira e lançado no molde para produção da face inferior do painel, como mostra a Figura 4a, com espessura de 5 mm;
- o núcleo em concreto leve contendo resíduo de endocarpo, com 90 mm de espessura, produzido em betoneira, de 145 dm<sup>3</sup> de capacidade, e com 48h de idade foi colocado já endurecido sobre a camada da face, como mostra a Figura 4b; e
- uma camada de compósito foi lançada sobre o núcleo para produzir a segunda face do painel sanduíche. Uma espátula foi utilizada para fazer a distribuição do compósito de maneira uniforme e garantir a espessura de 5 mm (Figura 4c).

Após o lançamento da face superior (Figura 4d), foi realizada uma vibração em mesa vibratória por 20 segundos para garantir uma melhor aderência entre a face e o núcleo, visto que não foi utilizado nenhum adesivo entre eles. O painel foi desmoldado após 96 h (Figura 5) e colocado em cura por imersão em água até o 28º dia.

Tabela 3 - Consumo de materiais em kg para produção de 1 m<sup>3</sup> de concreto.

| Traço  | Cimento | Sílica ativa | Cinza Volante | Areia  | Dendê  | Água   | Água adicional | SP    |
|--------|---------|--------------|---------------|--------|--------|--------|----------------|-------|
| 100D45 | 434,83  | 51,16        | 25,58         | 511,56 | 511,56 | 230,20 | 90,04          | 0     |
| 150D45 | 362,78  | 42,68        | 21,34         | 426,80 | 640,20 | 182,10 | 112,67         | 14,23 |
| 100D35 | 458,27  | 53,91        | 26,96         | 539,15 | 539,15 | 183,74 | 94,89          | 7,09  |

Tabela 4 - Consumo de materiais em kg para produção de 1 m<sup>3</sup> de compósito.

| Cimento | Cinza Volante | Sílica Ativa | Areia  | Água   | SP    | VMA  | Fibra |
|---------|---------------|--------------|--------|--------|-------|------|-------|
| 431,62  | 345,30        | 86,32        | 863,24 | 283,43 | 43,16 | 0,86 | 17,26 |

Figura 4 - Método de moldagem do painel sanduíche (a) Conformação da face inferior no estado fresco (b) Colocação do núcleo pré-curado (c) Conformação da face superior no estado fresco (d) Painel finalizado

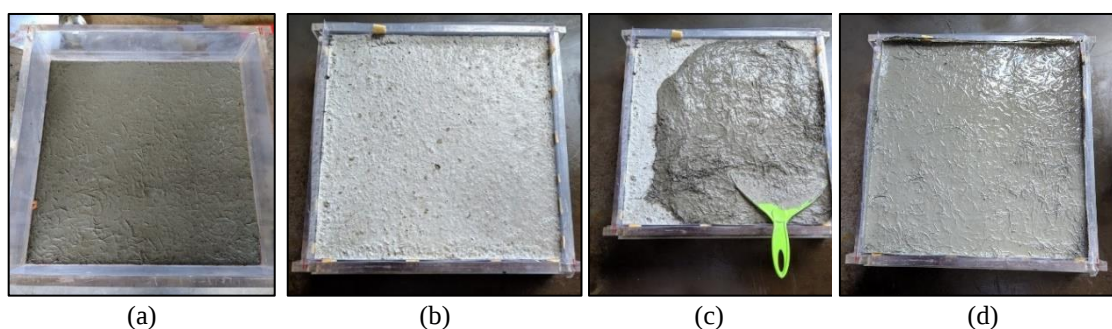
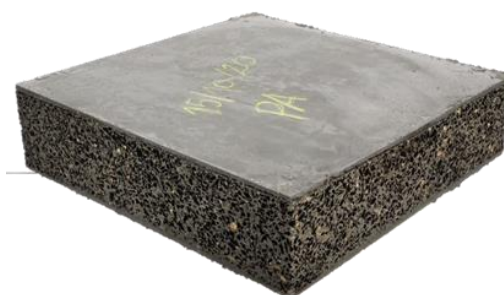


Figura 5 - Painel sanduíche após ser desmoldado



## Avaliação do painel sanduíche

Para caracterização física do painel sanduíche foram realizados ensaios de absorção de água por imersão para determinação da taxa de absorção, índice de vazios e massa específica.

O ensaio de compressão axial foi realizado em amostras prismáticas, com dimensão 100 x 100 x 100 mm, com aplicação de força na direção paralela às faces, como mostra a Figura 6a, tomando como referência a norma C364M (ASTM, 2016a). Foi utilizada uma máquina de ensaios universal estática servo-elétrica modelo Autograph AG-IC, da Shimadzu com capacidade de 100 kN e velocidade de ensaio de 0,5 mm/min. A resistência a compressão foi determinada pela força máxima obtida no ensaio dividida pela seção transversal da amostra.

O ensaio de flexão em quatro pontos foi realizado com base na norma C393M (ASTM, 2016b) para painéis sanduíches, com o mesmo equipamento do ensaio de compressão e velocidade de ensaio de 0,5 mm/min. As amostras tinham dimensões de 100 x 100 x 400 mm (Figura 6b), a distância  $L$  entre os apoios foi de 300 mm e a distância  $a$  entre o ponto de carga e o apoio foi de 100 mm. A leitura dos deslocamentos transversais foi realizada por um transdutor LVDT posicionado no meio do vão. A partir da curva força-deslocamento foram determinadas as seguintes propriedades:

(a) resistência a flexão dada por  $\sigma = \frac{My}{I}$  em que:

- $M$  é o momento máximo obtido, multiplicando a força máxima no apoio pela distância  $a$ ;
- $y$  é igual a metade da espessura do painel; e
- $I$  é o momento de inércia da seção transversal do painel após transformação, dado por  $I = I_{faces} + nI_{nucleo}$ , em que  $n$  é a relação entre o módulo de elasticidade do material do núcleo e do material da face,  $I_{faces}$  é a inércia das faces e  $I_{nucleo}$  é inércia do núcleo, com relação ao eixo principal.

(b) o índice de tenacidade,  $IT$ , calculado de acordo com a norma C1018 (ASTM, 1997) considerando a área abaixo da curva tensão-deslocamento na flexão, e dado pela relação  $IT_i = A_i/A_f$ , onde  $A_f$  é a área abaixo da curva carga-deslocamento até o deslocamento  $\delta_f$ , correspondente ao surgimento da primeira fissura, e  $A_i$  é a área abaixo da curva até um deslocamento  $\delta_i$ .

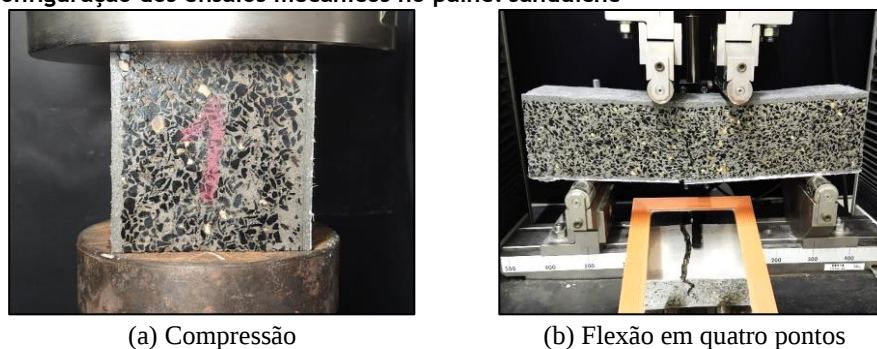
Para avaliação do efeito do teor de resíduo de endocarpo e relação água/aglomerante sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aplicou-se o teste  $t$  de Student para testar a hipótese de igualdade estatística entre as amostras. Nas tabelas com resultados experimentais, os resultados acompanhados por letras iguais representam valores estatisticamente iguais.

## Resultados e discussões

### Propriedades físicas

Os resultados do ensaio de absorção por imersão nos painéis estão apresentados na Tabela 5.

Figura 6 - Configuração dos ensaios mecânicos no painel sanduíche



(a) Compressão

(b) Flexão em quatro pontos

Tabela 5 - Resultados do ensaio de absorção por imersão nos painéis e estimativa do coeficiente de condutividade térmica

| Painel  | Absorção por imersão (%)  | Índice de vazios (%)      | Massa específica seca (kg/m <sup>3</sup> ) | k (Equação 1) (W/mK) |
|---------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|----------------------|
| P100D45 | 16,43 ± 0,35 <sup>a</sup> | 22,46 ± 0,39 <sup>a</sup> | 1367 ± 5,60 <sup>a</sup>                   | 0,486                |
| P150D45 | 22,15 ± 0,94 <sup>b</sup> | 28,66 ± 0,7 <sup>b</sup>  | 1295 ± 23,05 <sup>b</sup>                  | 0,436                |
| P100D35 | 13,92 ± 1,08 <sup>c</sup> | 20,60 ± 1,47 <sup>c</sup> | 1480 ± 9,18 <sup>c</sup>                   | 0,575                |

Nota: \*letras iguais por propriedade representam valores estatisticamente iguais.

Comparando-se as misturas P100D45 e P150D45 verifica-se que o aumento no teor de resíduo de endocarpo implica em aumento de 34,8% na absorção de água e de 27,6% no índice de vazios, mas com redução de apenas 5,3% da massa específica. O resíduo possui absorção de água de 22% e a sua introdução na mistura tende a incorporar maior quantidade de ar durante o processo de mistura. Os valores de absorção de água obtidos neste trabalho estão compatíveis com aqueles encontrados na literatura e apresentados na Tabela 1, variando de 21,8% a 33%, no entanto são elevados para aplicação do painel em alvenaria de vedação. Por isso, é importante que o núcleo em bioconcreto seja recoberto com uma face de menor capacidade de absorção de água, que no presente estudo foi um compósito reforçado com fibra de sisal que apresentou absorção de água de 12,02%.

Ao reduzir o fator a/agl do concreto, notou-se uma diminuição nos valores de absorção por imersão e índice de vazios, da ordem de 18,0% e 9,0%, respectivamente, quando se compara os painéis P100D45 e P100D35. A massa específica, por sua vez, aumentou em 7,6% mas se manteve abaixo de 2000 kg/m<sup>3</sup> e o bioconcreto ainda pode ser classificado como leve.

A baixa da massa específica de bioconcretos, comparativamente ao concreto convencional que é da ordem de 2000 kg/m<sup>3</sup>, tem como consequência a redução da condutividade térmica; a Figura 7 apresenta a relação entre o coeficiente de condutividade térmica e a densidade obtida a partir de resultados da literatura (Ahmad; Chen, 2020; Ahmad; Chen; Shah, 2021; Glória; Toledo Filho, 2021; Del Valle-Zermeño *et al.*, 2016; Benmansour *et al.*, 2014) para diversos tipos de bioconcretos. A partir da correlação matemática (Asadi *et al.*, 2018; Charai *et al.*, 2022) entre massa específica e condutividade térmica, dada pela Equação 1, é possível então estimar a condutividade térmica dos bioconcretos com resíduo de dendê, mostrada na Tabela 5 e Figura 7:

$$k = 0,0625e^{0,0015\rho} \quad \text{Eq. 1}$$

Em que:

$k$  é a condutividade térmica, em W/mK; e

$\rho$  a massa específica, em kg/m<sup>3</sup>.

Com a condutividade térmica máxima estimada em 0,575 W/mK é possível inferir que o painel sanduíche com endocarpo de dendê pode ser utilizado como elemento de vedação para melhoria do conforto térmico de edificações. Em termos de comparação, o bloco cerâmico e a alvenaria de concreto apresentam valores de condutividade térmica da ordem de 0,90 W/mK e 1,75 W/mK, respectivamente (Ferreira; Souza; Assis, 2017). De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), os sistemas de vedação, como painéis, apresentam característica de material isolante térmico quando os valores de condutividade térmica são inferiores a 2W/mK.

## Compressão axial longitudinal

Na Figura 8a é apresentada uma curva típica do comportamento tensão-deslocamento do painel com bioconcreto, comum a todas as misturas estudadas: após um aumento de carga inicial, é observado a abertura de uma fissura na face, com perda abrupta de tensão; com o aumento do carregamento as fissuras se propagam na face (Figura 8b), mas sem ruptura devido a contribuição das fibras dispersas no compósito, até que a face sofre a flambagem com descolamento face-núcleo; a partir desse ponto, a tensão passa a se concentrar sobre o núcleo que passa a ter uma fissuração generalizada, com perda de resistência. Comportamento similar foi observado por Glória e Toledo Filho (2021), com a diferença que não houve uma propagação expressiva de fissuras na face externa, sendo a ruptura do painel sanduíche caracterizada por flambagem e delaminação. Painéis sanduíche comerciais feitos de cimento-madeira também apresentaram ruptura por delaminação ou fissuração de tração ao longo da face devido a deformação transversal da face sob compressão (Karam; Gibson, 1994).

Os resultados de resistência a compressão nos painéis, considerando a máxima carga resistida, são apresentados na Tabela 6.

Figura 7 - Determinação da condutividade térmica dos bioconcretos do dendê

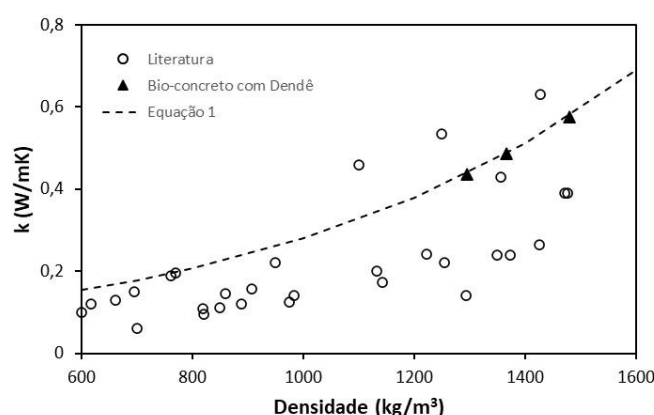


Figura 8 - Comportamento do painel sob compressão: (a) curva típica tensão-deslocamento; e (b) forma de ruptura

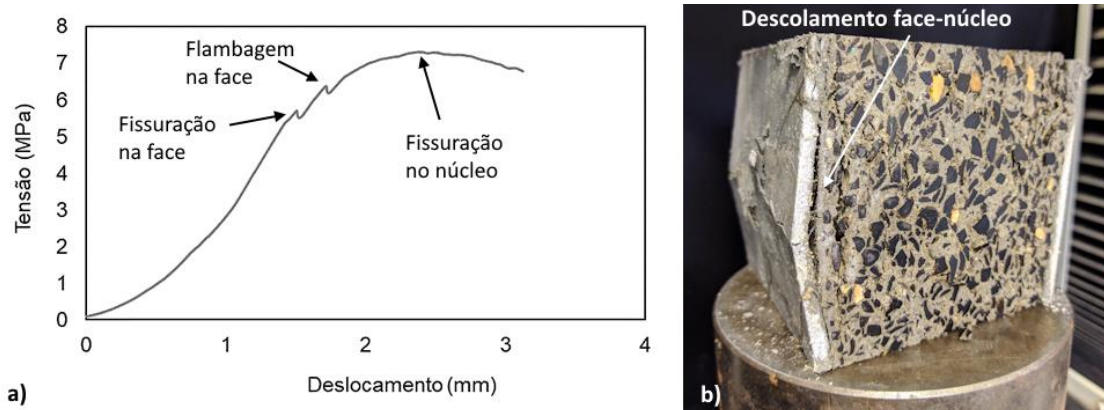


Tabela 6 - Resistência a compressão axial longitudinal nos painéis sanduíche

| Traço   | Tensão máxima (MPa)   |
|---------|-----------------------|
| P100D45 | $7,27 \pm 0,26^a$     |
| P150D45 | $8,13 \pm 0,43^{a,b}$ |
| P100D35 | $12,81 \pm 0,54^b$    |

Nota: \*letras iguais representam valores estatisticamente iguais.

Comparando-se os painéis P100D45 e P150D45, verificou-se que o aumento do teor de resíduo de endocarpo resultou em aumento de 11,83% no valor médio de resistência a compressão. No entanto, a análise comparativa de média pelo teste-t, no intervalo de confiança de 95%, indicou que os valores são estatisticamente iguais.

O efeito da redução do fator água/aglomerante, por outro lado, resultou em aumento estatisticamente significativo de 76,2% no valor de resistência a compressão do painel. Além de aumentar a resistência da argamassa de cimento, uma menor relação água/aglomerante resulta em melhor aderência pasta-agregado e aderência núcleo-face.

A Tabela 6 indica que resistência mínima a compressão dos painéis sanduíche foi de 7,27 MPa. Comparando com as soluções convencionais, verifica-se que, para utilização em paredes de alvenaria estrutural é exigido que os blocos de concreto tenham resistência a compressão mínima de 4,5 MPa (ABNT, 1994) e que os blocos cerâmicos tenham resistência a compressão mínima de 3,0 MPa (ABNT, 2017). Isto indica que o painel sanduíche em bioconcreto apresenta resistência adequada para uso como alvenaria de edificações, principalmente se considerar que a exigência para uso como sistemas de vedação é inferior a 3,0 MPa.

## Flexão em quatro pontos

Na Figura 9 estão apresentadas as curvas típicas tensão-deflexão obtidas no ensaio de flexão.

A partir da análise do gráfico pode-se observar que os painéis apresentaram comportamento mecânico similar, com uma relação tensão-deflexão inicialmente linear até o surgimento da primeira microfissura na face inferior (Ponto A); a partir desse ponto, verifica-se um comportamento não-linear, com a fissura se propagando através da face em direção ao núcleo até atingir a tensão máxima (Ponto B). Enquanto alguns painéis apresentam ruptura brusca após o pico de tensão (Karam; Gibson, 1994), é observado uma redução gradual de tensão em todos os painéis, o que é resultado da ação das fibras que reforçam a face tracionada. As fibras agem como ponte na região fissurada, suportando as tensões, reduzindo a propagação da fissura, como pode ser visto na Figura 01.

A partir da análise das curvas pode-se observar que os painéis apresentaram comportamento mecânico similar, com uma relação tensão-deflexão inicialmente linear até o surgimento da primeira microfissura na face inferior (Ponto A); a partir desse ponto, verifica-se um comportamento não-linear, com a fissura se propagando através da face em direção ao núcleo até atingir a tensão máxima (Ponto B). Após o pico é observada uma redução gradual de tensão em todos os painéis, o que é resultado da ação das fibras que reforçam a face tracionada. As fibras agem como ponte na região fissurada, suportando as tensões, reduzindo a propagação da fissura, como pode ser visto na Figura 10. Painéis sanduíche comerciais avaliados por Karam e Gibson (1994) apresentam ruptura brusca após o pico de tensão, o que indica que o reforço de fibras utilizado na face provê uma maior segurança no uso dos painéis e maior potencial de aplicação.

O processo de fissuração na face inferior do painel sanduíche é mostrado na Figura 10, e indica o surgimento da fissura na face e sua posterior propagação através do núcleo, de acordo com os pontos de deslocamento mostrados na Figura 9.

Figura 9 - Curvas do ensaio de flexão em quatro pontos nos painéis

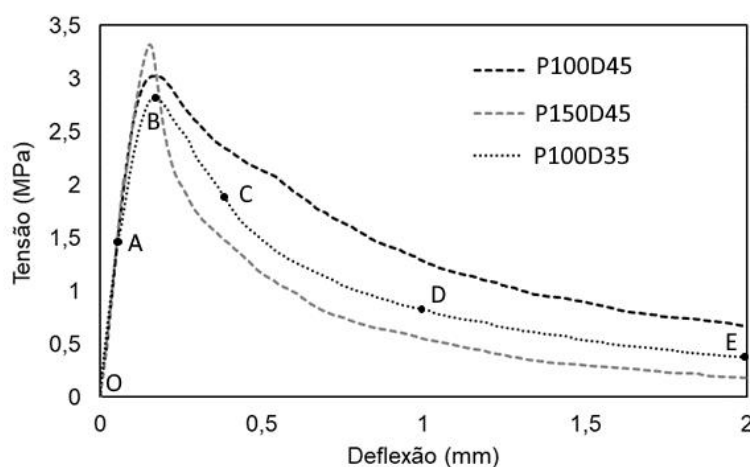
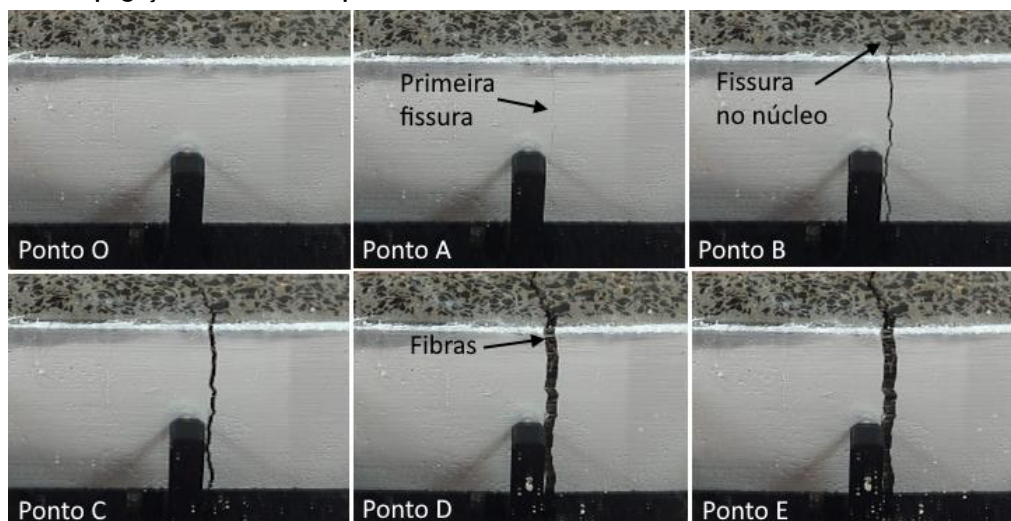


Figura 10 - Propagação da fissura no painel sanduíche sob flexão



No estudo realizado por Gloria e Toledo Filho (2021), ao ensaiarem painéis de compósitos de cimento reforçados com fibras longas de sisal e núcleo em bioconcreto de madeira, os autores relataram um comportamento de fissuração similar ao observado na presente pesquisa, com surgimento de fissuras na face inferior do painel e propagação até o núcleo do painel.

Os resultados encontrados a partir do ensaio de flexão nos painéis seguem apresentados na Tabela 7.

O comportamento à flexão dos painéis sanduíche é primeiro definida pela resistência à tração da face, que é similar para todos os tipos painéis estudados. Em um segundo momento, a aderência face-núcleo e a resistência a tração do núcleo contribuem para a resistência a flexão, devido a possibilidade de propagação da fissura. Os resultados indicam que o painel P150D45 apresentou maior valor médio de resistência à flexão, com aumento de 14,3% com relação ao painel P100D45, mas a análise comparativa de médias pelo teste-t indica que os valores são estatisticamente iguais, ou seja, o teor de resíduo de dendê não afeta a resistência a flexão. De forma similar, o fator  $a/agl$  não afetou significativamente a resistência a flexão e os valores médios entre P100D45 e P100D35 foram estatisticamente iguais.

As curvas tensão-deslocamento dos painéis sanduíches sob flexão, mostradas na Figura 9, indicam que o surgimento da primeira fissura não corresponde à ruptura do painel que passa a manter uma tensão residual para maiores valores de deflexão. Isso é possível devido a contribuição das fibras que “costuram” a fissura e inibem a sua propagação, como mostra a Figura 11. Como consequência, a presença das fibras nas faces dos painéis sanduíches aumentam a sua tenacidade, que pode ser definida pela capacidade de absorção de energia e resulta em melhoria no comportamento sob carga de impacto ou sob o efeito de sismos. Para aplicação em alvenaria, é fundamental que o painel sanduíche resista a cargas de impacto (ABNT, 2021).

A avaliação da tenacidade dos painéis sanduíche foi realizada pelo Índice de Tenacidade IT, mostrado na Figura 12 e calculado com base nas áreas sob a curva tensão-deformação para vários níveis de deflexão, mostradas na Tabela 8. O valor de deflexão  $\delta_f$  corresponde ao surgimento da fissura na matriz e, dessa forma, a área  $A_f$  indica a capacidade de absorção de energia da argamassa sem fibras. As áreas  $A_3$ ,  $A_{10}$  e  $A_{15,5}$  indicam que, mesmo após a fissuração, os painéis mantêm a capacidade de absorver energia. O índice IT indica que a tenacidade do painel sanduíche reforçado com fibras de sisal na sua face pode chegar a 35,88 vezes a tenacidade do painel sem reforço de fibras.

Comparando-se os painéis, verifica-se que para pequenos deslocamentos, de 3 a 5 vezes o valor de  $\delta_f$ , não há diferenças significativas entre IT5 e IT10. Para IT30, por outro lado, o painel P100D45 apresenta melhor índice de tenacidade que os demais painéis, confirmando o comportamento observado na Figura 9, em que, após o pico, a curva tensão-deflexão apresenta-se acima das demais.

## Conclusões

Neste estudo foi desenvolvido e avaliado um painel sanduíche a base de cimento, com face em compósito reforçado com fibra de sisal e núcleo em bioconcreto contendo resíduo do endocarpo do dendê. Com o uso do bioagregado em substituição ao agregado natural de origem mineral, foi possível produzir painéis leves com

densidade menor que  $1300 \text{ kg/m}^3$ , quando se utiliza um teor bioagregado da ordem de 150% do teor de aglomerante. Utilizando um modelo teórico, verifica-se que esse valor de densidade corresponde a um coeficiente de condutividade térmica de  $0,44 \text{ W/mK}$  para o painel, que é um valor menor que aqueles apresentados pelas soluções convencionalmente utilizada para alvenaria, como bloco cerâmico ou concreto, e que o classifica como um material isolante térmico.

Tabela 7 - Resultados do ensaio de flexão nos painéis sanduíche

| Traço   | Força máxima (kN) | b (mm)            | $e_f$ (mm)      | $e_n$ (mm)      | I ( $10^6 \text{ mm}^4$ ) | Tensão máxima (MPa)   |
|---------|-------------------|-------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|-----------------------|
| P100D45 | $4,51 \pm 0,40$   | $98,10 \pm 2,42$  | $5,62 \pm 0,08$ | $90,5 \pm 0,58$ | $3,35 \pm 0,05$           | $3,43^{a,b} \pm 0,33$ |
| P150D45 | $5,95 \pm 0,72$   | $96,19 \pm 2,71$  | $6,46 \pm 0,53$ | $91,5 \pm 2,38$ | $4,08 \pm 0,03$           | $3,93^a \pm 0,61$     |
| P100D35 | $5,34 \pm 0,28$   | $102,93 \pm 3,59$ | $5,78 \pm 0,48$ | $91,0 \pm 0,81$ | $4,92 \pm 0,02$           | $2,78^b \pm 0,12$     |

Figura 11 - Efeito de costura das fibras na face inferior do painel fissurado

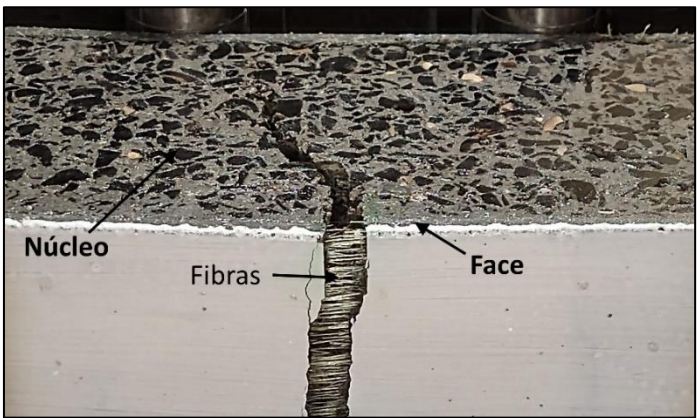


Figura 12 - Índice de tenacidade dos painéis

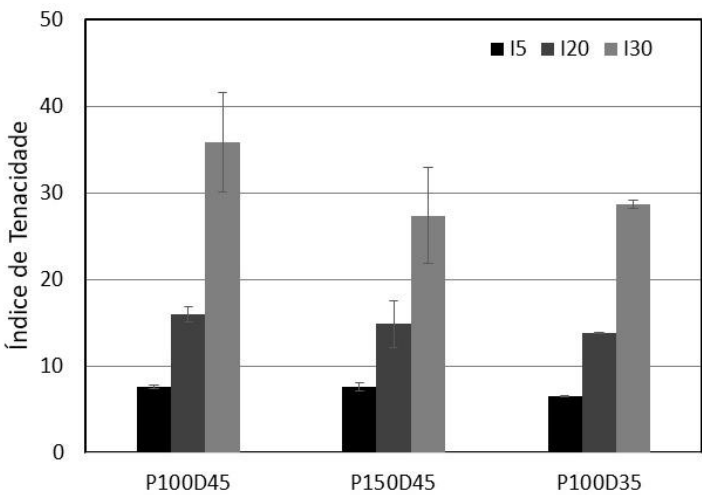


Tabela 8 - Parâmetros experimentais para cálculo do índice de tenacidade

| Traço   | $\delta_f$ (mm) | $A_f$ (N/mm)      | $A_3$ (N/mm)      | $A_{5,5}$ (N/mm)  | $A_{15,5}$ (N/mm) |
|---------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| P100D45 | 0,06            | $0,050 \pm 0,005$ | $0,378 \pm 0,028$ | $0,793 \pm 0,045$ | $1,765 \pm 0,112$ |
| P150D45 | 0,06            | $0,055 \pm 0,007$ | $0,412 \pm 0,226$ | $0,801 \pm 0,053$ | $1,471 \pm 0,129$ |
| P100D35 | 0,08            | $0,063 \pm 0,012$ | $0,414 \pm 0,075$ | $0,875 \pm 0,165$ | $1,806 \pm 0,312$ |

Em adição, os resultados mecânicos indicam uma resistência a compressão mínima de 6,27 MPa que é suficiente para uso do painel como alvenaria de vedação.

O uso de fibras vegetais curtas, no reforço da face cimentícia, aumentou a capacidade de absorção de energia do painel que, mesmo após o surgimento da primeira fissura sob flexão, conseguiu aumentar o carregamento e a deformação máxima de ruptura. Isso foi possível devido a presença das fibras inibindo a propagação da fissura na face.

Os valores de densidade e resistência mecânica obtidos qualificam, dessa forma, o painel sanduíche contendo bioagregado do endocarpo do dendê para uso como elemento de alvenaria.

## Referências

- AHMAD, M. R.; CHEN, B. Influence of type of binder and size of plant aggregate on the hygrothermal properties of bio-concrete. **Construction and Building Materials**, v. 251, p. 118981, 2020.
- AHMAD, M. R.; CHEN, B.; SHAH, S. F. A. Mechanical and microstructural characterization of bio-concrete prepared with optimized alternative green binders. **Construction and building materials**, v. 281, p. 122533, 2021.
- ALENGARAM, U. J. *et al.* Effect of aggregate size and proportion on strength properties of palm kernel shell concrete. **International Journal of the Physical Sciences**, v. 5, n. 12, p. 1848-1856, 2010.
- ALENGARAM, U. J.; AL MUHIT, B. A.; BIN JUMAAT, M. Z. Utilization of oil palm kernel shell as lightweight aggregate in concrete—a review. **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 161-172, 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C1018**: standard test method for flexural toughness and first-crack strength of fiber-reinforced concrete (using beam with third-point loading). West Conshohocken, 1997.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C364/C364M**: standard test method for edgewise compressive strength of sandwich constructions. west Conshohocken, 2016a.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C393/C393M**: standard test method for core shear properties of sandwich constructions by Beam Flexure. West Conshohocken, 2016b.
- ARANTES, L. de S. *et al.* Avaliação de painéis sanduíche produzidos com núcleo de caixas de ovos e lâminas de paricá. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 23, n. 2, p. 121-130, abr./jun. 2023.
- ASADI, I. *et al.* Thermal conductivity of concrete—A review. **Journal of Building Engineering**, v. 20, p. 81-93, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: desempenho térmico de edificações: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2**: componentes cerâmicos: blocos e tijolos para alvenaria: parte 2: métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 1994.
- AZUNNA, S. U. *et al.* Characterization of lightweight cement concrete with partial replacement of coconut shell fine aggregate. **Discover Applied Sciences**, v. 1, n. 6, p. 649, 2019.
- BENMANSOUR, N. *et al.* Thermal and mechanical performance of natural mortar reinforced with date palm fibers for use as insulating materials in building. **Energy and Buildings**, v. 81, p. 98-104, 2014.
- CHARAI, M. *et al.* Hygrothermal, mechanical and durability assessment of vegetable concrete mixes made with Alfa fibers for structural and thermal insulating applications. **Construction and Building Materials**, v. 335, p. 127518, 2022.
- CLARAMUNT, J.; ARDANUY, M.; GARCIA-HORTAL, J. A. Effect of drying and rewetting cycles on the structure and physicochemical characteristics of softwood fibres for reinforcement of cementitious composites. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, p. 200-205, 2010.

- COLOMBO, I. G. *et al.* Lightweight TRC sandwich panels with sustainable diatomite-based core for energy retrofitting of existing buildings. **Advances in Building Energy Research**, v. 15, p. 231-252, 2021.
- DEL VALLE-ZERMEÑO, R. *et al.* Preliminary study of the mechanical and hygrothermal properties of hemp-magnesium phosphate cements. **Construction and Building Materials**, v. 105, p. 62-68, 2016.
- FANI, A. M. *et al.* Flexural behaviour of reinforced lightweight concrete floor panel using hot water pre-treated oil palm shell as coarse aggregate. **AIP Publishing**, v. 2114, n. 1, 2019.
- FERREIRA, C. C.; SOUZA, H. A. de; ASSIS, E. S. de. Discussão dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos segundo as normas de desempenho térmico brasileiras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 183-200, jan./mar. 2017.
- FERREIRA, S. R. *et al.* Effect of hornification on the structure, tensile behavior and fiber matrix bond of sisal, jute and curauá fiber cement based composite systems. **Construction and Building Materials**, v. 139, p. 551-561, 2017.
- FRAZÃO, C. *et al.* Development of sandwich panels combining sisal fiber-cement composites and fiber-reinforced lightweight Concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 86, p. 206-223, 2018.
- GARHWAL, A.; SHARMA, S.; ROY, A. B. D. Performance of Expanded Polystyrene (EPS) sandwiched concrete panels subjected to accelerated corrosion. **Structures**, v. 43, p. 1057-1072, 2022.
- GERALDI, M. S. *et al.* Assessment of the energy consumption in non-residential building sector in Brazil. **Energy and Buildings**, v. 273, 2022.
- GLORIA M. Y. R. da; TOLEDO FILHO, R. D. Innovative sandwich panels made of wood bio-concrete and sisal fiber reinforced cement composites. **Construction and Building Materials**, v. 272, p. 121636, 2021.
- GLORIA, M. Y. R. **Desenvolvimento e caracterização de painéis sanduíches de concreto com núcleo leve e faces em laminados reforçados com fibras longas de sisal**. Rio de Janeiro, 2015. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola**: lavoura permanente. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/15/12040?ano=2019>. Acesso em: 17 fev. 2021.
- KARAM, G. N.; GIBSON, L. J. Evaluation of commercial wood-cement composites for sandwich-panel facing. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 6, n. 1, p. 100-116, 1994.
- KHOTBEHSARA, M. M. *et al.* Durability characteristics of self-compacting concrete incorporating pumice and metakaolin. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 29, n. 11, 2017.
- LEE, J. *et al.* Structural behavior of durable composite sandwich panels with high performance expanded polystyrene concrete. **International Journal of Concrete Structures and Materials**, v. 12, n. 1, p. 21, 2018.
- LEITE, M. B.; FIGUEIRE DO FILHO, J. G. L.; LIMA, P. R. L. Workability study of concretes made with recycled mortar aggregate. **Materials and Structures**, v. 46, n. 10, p. 1765-1778, 2013.
- LIMA, P. R. L. *et al.* sisal fiber reinforced recycled concrete block for one-way precast concrete slabs. **Construction and Building Materials**, v. 187, p. 620-634, 2018.
- LIMA, P. R. L.; TOLEDO FILHO, R. D. Uso de metacaulinita para incremento da durabilidade de compósitos à base de cimento reforçados com fibras de sisal. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 7-19, out./dez. 2008.
- LOH, L. T.; YEW, M. K.; YEW, M. C. **A new mixing method for lightweight concrete with oil palm shell as coarse aggregate**. Les Ulis: EDP Sciences, 2018.
- MACHADO, C. X. de B. **Caracterização mecânica de compósitos de matriz cimentícia contendo resíduos de construção e demolição (RCD) reforçados com fibras de sisal**. Lisboa, 2014. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Georrecursos, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014.
- MAGHFOURI, M.; SHAFIGH, P.; ASLAM, M. Optimum oil palm shell content as coarse aggregate in concrete based on mechanical and durability properties. **Advances in Materials Science and Engineering**, v. 2018, 2018.

MAROUENE, A. **Comportement sous choc des composites sandwichs et influence des paramètres des matériaux et du test**. Montreal, 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica de Montreal, Montreal, 2010.

MIRANDA, R. M. **Desenvolvimento de uma estrutura sanduíche de base polimérica, produzida com resíduos das indústrias de mineração e metalurgia, para aplicação como painel divisório de ambientes internos na construção civil**. Belém, 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

MOREIRA, M.; COMIN, B. P. Estudo da viabilidade do uso de painéis de EPS como material de vedação em construções de moradia popular. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., Canela, 2022. **Anais [...]** Porto Alegre: ANTAC, 2022.

MOTTA, L. A. de C. *et al.* Painéis sanduíches de poliéster reforçado com fibras de rami para aplicação na Construção Civil. **Revista Matéria**, v. 21, n. 3, p. 796-806, 2016.

NETTO, M. R.; TEMP, A. L.; BRUNO, L. E. R. Estudo da viabilidade do caroço de dendê moído aplicado como substituição parcial ao agregado natural na argamassa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 23., Foz do Iguaçu, 2018. **Anais [...]** Foz do Iguaçu, 2018.

PEREIRA, M. C. M. **Desenvolvimento de painéis sanduíche com núcleo leve com caroço de açaí e laminados reforçados com fibras de juta**. Manaus, 2019. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

SANTIAGO, E. Q. R. *et al.* Mechanical behavior of recycled lightweight concrete using EVA waste and CDW under moderate temperature. **Ibracon Structures and Materials Journal**. v. 2, n. 3, p. 211-221, 2009.

SANTOS, H. M. C. **Tratamento da fibra de sisal com polímeros de fontes renováveis para uso em compósitos à base de cimento**. Feira de Santana, 2015. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2015.

SCHACKOW, A. *et al.* Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent. **Construction and building materials**, v. 57, p. 190-197, 2014.

SHAFIGH, P. *et al.* A new method of producing high strength oil palm shell lightweight concrete. **Materials & Design**, v. 32, n. 10, p. 4839-4843, 2011.

SILVA, F. M. *et al.* Avaliação da resistência mecânica de pisos intertravados de concreto sustentáveis (PICS). **Revista Matéria**, v. 22, n. 1, 2017.

SOBUZ, H. R. *et al.* Structural lightweight concrete production by using oil palm shell. **Journal of Materials**, v. 2014, 2014.

TEO, D. C. L. *et al.* Lightweight concrete made from oil palm shell (OPS): structural bond and durability properties. **Building and Environment**, v. 42, n. 7, p. 2614-2621, 2007.

YANG, T. *et al.* Flexural behaviors of sandwich panels with AR-glass textile reinforced concrete under low-velocity impact. **Journal of Building Engineering**, v. 69, 2023.

YAP, S. P. *et al.* Flexural toughness characteristics of steel–polypropylene hybrid fibre-reinforced oil palm shell concrete. **Materials & Design**. v. 57, p. 652-659, 2014.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa de mestrado para a primeira autora, ao CNPq pelo apoio à realização da pesquisa (Processos 403644/2020-8, 102164/2022- 3 e 304631/2022-1).

**Mariana Santos Nunes**

Metodologia, Investigação, Análise de Dados, Redação do manuscrito original, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Federal da Bahia | Rua Prof. Aristides Novis, 2, Federação | Salvador - BA - Brasil | CEP 40210-630 | Tel.: (71) 3283-9880 | E-mail: msant.nunes@gmail.com

**Paulo Roberto Lopes Lima**

Conceitualização, Administração do projeto, Recebimento de financiamento, Supervisão, Metodologia, Análise de Dados, Redação - revisão e edição.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental | Universidade Estadual de Feira de Santana | Av. Transnordestina, s/n, Novo Horizonte | Feira de Santana - BA - Brasil | CEP 44036-900 | Tel.: (75) 3161-8310 | E-mail: prllima@uefs.br

**Ricardo Fernandes Carvalho**

Supervisão, Análise de Dados.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil | Universidade Federal da Bahia | E-mail: ricardoc@ufba.br

Editores: **Marcelo Henrique Farias de Medeiros e Eduardo Pereira**

***Ambiente Construído***

Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)

[www.scielo.br/ac](http://www.scielo.br/ac)

E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License.