

Avaliação do tratamento alcalino em fibras de *Ananas comosus*, *Cocos nucifera* e *Euterpe oleracea* para incorporação em materiais cerâmicos destinados à construção civil

Rafaela Melo da Silveira^{a*}, Leila Cristina Nunes Ribeiro^a, Tarcísio Santiago Gomes Filho^a

^aInstituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Rod BR-210 km 03, Brasil Novo, Macapá, Amapá, Brasil

*e-mail: rafaelamelodasilveira@gmail.com

Resumo

A construção civil, embora essencial, é uma grande geradora de resíduos sólidos, o que impulsiona a busca por materiais alternativos e sustentáveis, como a utilização de fibras naturais. Outro problema bastante comum é o descarte ambientalmente incorreto de resíduos orgânicos como caroços e cascas de frutas. Diante disso, este estudo avaliou a incorporação de fibras orgânicas da coroa do abacaxi (*Ananas comosus*), casca do coco verde (*Cocos nucifera*) e caroço de açaí (*Euterpe oleracea*) em materiais cerâmicos. As fibras foram tratadas com soluções de hidróxido de sódio (NaOH) em concentrações de 5%, 10% e 15% (m/v), com intervalos de imersão de 1 e 2 horas. Esse tratamento é necessário para ação fungicida e prolongamento da durabilidade do material. As fibras foram incorporadas na proporção de 3%, conforme resultados de estudos anteriores. Foram produzidos 65 corpos de prova, incluindo referência, fibras de abacaxi, coco verde e açaí com e sem tratamento alcalino (1 e 2 h). As análises ocorreram de acordo com a NBR 10545-3/2020 e os resultados mostraram que corpos de prova com fibra de abacaxi obtiveram o melhor desempenho, apresentando baixa absorção de água e porosidade. Já os corpos de prova com fibra de coco mostraram efeito moderado e alta porosidade, enquanto os de fibra de açaí registraram as maiores taxas de absorção e porosidade, entretanto a menor densidade aparente. O tratamento alcalino influenciou significativamente as propriedades físicas das fibras, de forma não linear. O destaque foi para o corpo de prova com fibra de abacaxi tratada com 5% de NaOH por 2 horas, que apresentou resultados promissores, absorvendo água 0,97% a menos e sendo 1,93% menos poroso. As análises de termogravimetria e calorimetria diferencial exploratória indicaram comportamentos similares entre as fibras, exceto a do abacaxi, que apresentou início de perda de massa próximo a 400 °C (contrastando cerca de 200 °C das demais), justificando sua menor porosidade e, consequentemente, a menor taxa de absorção de água. Esta pesquisa desenvolveu métodos eficazes para a aplicação de fibras em produtos cerâmicos, viabilizando a inserção desses resíduos na produção de materiais para a construção civil, promovendo a sustentabilidade e contribuindo para a diminuição do descarte irregular de resíduos orgânicos.

Palavras-chave: Fibras naturais; cerâmicas; tratamento alcalino com NaOH; compósitos cerâmicos; reaproveitamento; construção civil.

1. INTRODUÇÃO:

“A humanidade passa a buscar cada vez mais incessantemente pelos recursos disponíveis, evoluindo suas técnicas de procura e coleta por materiais que fazem parte de produtos não-renováveis e renováveis no ambiente” [1]. Desse modo, na atualidade, surge a temática sustentabilidade como maneira de ensinar e aplicar práticas ambientais e políticas para a permanência do meio ambiente. Em contrapartida, há o aumento de geração de resíduos, estes que são pouco reaproveitados e são reduzidos a lixo. Consequentemente, os impactos ambientais negativos crescem paralelamente ao descarte inadequado destes resíduos.

Do mesmo modo, a construção civil se inclui nesse cenário por ser uma das contribuintes para a poluição e pelo uso desenfreado de matérias-primas. Esse setor, embora grande colaboradora socioeconomicamente, é uma indústria que impacta significativamente o meio ambiente, economia e sociedade. Para que haja reversão desta situação, há cada vez mais pesquisas a respeito de tecnologias alternativas que sejam mais eficientes e, principalmente, ecológicas. Assim, o uso consciente dos recursos naturais pela construção civil pode mitigar os impactos negativos causados por este setor [2].

Nesse contexto, a aplicação de fibras naturais em materiais diversos tem se destacado como alternativa inovadora no setor. Estudos como os de Silva, Cordeiro e Silveira [3] e Oliveira, Monte e Souza [4] propõem métodos de incorporação de fibras em matrizes cerâmicas. O primeiro avaliou protótipos contendo 3%, 5% e 7% de fibras, observando aumento na absorção de água e identificando o teor de 3% como o mais adequado, por atender aos requisitos normativos. Já o segundo investigou a adição de fibras de pataúá em proporções de 3% e 5% em relação à argila, resultando em elevada absorção de água e porosidade, mas com vantagens como menor densidade e potencial de desempenho termoacústico.

O estudo da incorporação de fibras naturais em produtos é recente, porém com grande potencial de impacto. A razão para isso é a mitigação do descarte irregular destes resíduos, já que a coleta e tratamento adequado capacitam a sua reutilização.

Um dos principais desafios neste recurso é a variabilidade de fibras e características, assim como a adesão em compósitos. Outro impedimento é a passividade de decomposição da matéria orgânica. Em vista disso, existem estudos que utilizam compostos alcalinos para tratamento de fibras, com a principal função de uniformizar a superfície do material, para eliminação de microvazios. Desse modo, é possível garantir a capacidade de transferência de tensão entre as células, assim melhorando as propriedades do compósito [5].

Assim, trabalhos como de Azevedo et al. [6], Fernandes [7] e Florentino et al. [8] apresentam o tratamento alcalino em fibras da coroa do abacaxi e casca do coco verde, respectivamente, para inserção em biocompósitos. Em ambos os estudos houve um resultado satisfatório, sendo que Florentino et al. apontam que isso pode se relacionar com a remoção de extrativos e ceras, assim favorecendo a interação entre fibra/matriz.

Portanto, este artigo visa apresentar uma análise sobre o tratamento com hidróxido de sódio (NaOH) em fibras naturais, para inserção em cerâmicas, sendo elas: coroa do abacaxi (*Ananas comosus*), coco verde (*Cocos nucifera*) e açaí (*Euterpe oleracea*), utilizando 3% de material fibroso em relação à quantidade de argila. Para estudo da influência do tratamento alcalino nas fibras naturais, foram definidas concentrações de 5%, 10% e 15% em relação ao volume de água, assim como determinado os períodos de 1 e 2 horas de imersão. Este estudo parte de uma metodologia bibliográfica e experimental.

2. MATERIAIS E MÉTODOS:

2.1 Materiais:

As fibras utilizadas neste estudo apresentam composições distintas e propriedades favoráveis para aplicação em materiais compósitos. As da coroa do abacaxi são compostas por celulose, lignina e hemicelulose, demonstram boas propriedades mecânicas e são consideradas fontes renováveis e de baixo custo [7]. A fibra do coco verde, proveniente do mesocarpo, possui menor teor de celulose (36 a 43%) e elevado teor de lignina (41 a 45%) [9]. Já a fibra do caroço de açaí apresenta vantagens como baixa densidade, natureza não abrasiva, biodegradabilidade e menor impacto ambiental [5]. Todas as fibras foram obtidas por meio de fornecedores locais em Macapá, AP.

A argila vermelha é rica em sílica, o que confere a ela propriedades físicas e químicas adequadas para aplicações tecnológicas variadas. Quanto às suas propriedades, são elas: plasticidade, resistência mecânica no estado úmido, retração linear de secagem, compactação, tixotropia e viscosidade de suspensões aquosas. Devido a isso, há uma grande variedade de aplicações tecnológicas [10]. A argila foi fornecida pela empresa Amapá Telhas, localizada no distrito de Fazendinha, em Macapá, AP.

2.2 Métodos:

Inicialmente, foram coletados resíduos orgânicos e argila para a realização da pesquisa (Fig.1). As fibras passaram por limpeza, secagem em estufa e trituração. Conforme as metodologias analisadas [6-8], o tratamento alcalino em fibras ocorre pela imersão em solução com 5 ou 10% de concentração de NaOH por 1 hora. Dessa forma, adaptou-se o método para que as fibras sejam então submetidas ao tratamento alcalino com soluções de NaOH em concentrações de 5, 10 e 15% (m/v), por períodos de 1 e 2 horas. A respeito da argila, após secagem a 100 °C por 24 horas, foi peneirada até atingir granulometria de 0,125 mm. Para confecção dos protótipos, criaram-se quatro grupos: referência (apenas argila), abacaxi, coco verde e açaí. Dessa forma, a argila foi misturada às respectivas fibras e foram moldadas na configuração de 2 cm x 6 cm por prensagem hidráulica. Ao todo, foram produzidos 65 corpos de prova. Após a etapa de secagem, os corpos de prova foram sinterizados em patamares de 100 °C, iniciando em 600 °C e atingindo a temperatura máxima de 900 °C. De acordo com visita técnica à empresa Amapá Telhas, verificou-se que o processo industrial ocorre em esteira contínua, na qual as telhas passam por fornos sequenciais: 30 minutos a 100 °C, 30 minutos a 300 °C, 30 minutos a 600 °C, seguidos de incrementos de 100 °C a cada hora até alcançar 900 °C. Para assegurar a aproximação entre o processo laboratorial e o industrial, o forno tipo mufla do Laboratório de Materiais de Construção do IFAP Campus Macapá foi configurado de forma análoga.



Figura 1. Fluxograma da incorporação de fibras de *Ananas comosus*, *Cocos nucifera* e *Euterpe oleracea* em cerâmica

Foram produzidos protótipos por meio de categorias, caracterizadas através do tipo de fibra adicionada, presença e concentração de hidróxido de sódio, e tempo de imersão em solução alcalina (Tab.1).

Tabela 1. Legenda de nomeação dos protótipos

Categorias	Adição de fibra (%/m)	Tempo (h)	NaOH	Concentração de NaOH (%)
REF	—	—	Não	Não
1H5	3	1	Sim	5
2H5		2		5
1H10		1		10
2H10		2		10
1H15		1		15
2H15		2		15

O estudo da composição química da argila foi realizado pela Fluorescência de Raios X (FRX) na amostra de grãos. A análise foi feita pelo modelo de equipamento EDX-720 (Shimadzu, JP) que produz análises qualitativas e semiquantitativas dos elementos cujos resultados são disponibilizados na forma de composição percentual relativa entre os elementos constituintes. Para análise granulométrica da argila, foi realizado o ensaio de distribuição dos grãos com o equipamento CILAS 1190 (CILAS, FR) a partir do uso de lasers. Com a faixa de funcionamento entre 0,04–2500 µm, além de possuir 100 classes de tamanhos de partículas.

Para o estudo das fibras das aplicadas, foram realizadas as análises de Termogravimetria e Calorimetria Diferencial de Varredura (TG-DSC), nas quais foi utilizado o equipamento STA 449 F5 Jupiter (NETZSCH, DE) na taxa de aquecimento e resfriamento de 26 °C/min em uma atmosfera inerte (N₂). Um cadinho de alumina (Al₂O₃) padrão foi usado para a análise das amostras. O experimento foi conduzido na faixa de 25 °C a 1000 °C para todas as amostras.

A caracterização física dos protótipos cerâmicos é normatizada pela NBR 10545-3/2020 [11]. Para a determinação da absorção de água (E_y) em placas cerâmicas, utiliza-se a equação 1. Na qual M₁ é a massa do corpo de prova seco e M₂ a massa do corpo de prova impregnado pela imersão sob vácuo.

$$E_Y = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (1)$$

Quanto à determinação da porosidade aparente (P) em placas cerâmicas, utiliza-se a equação 2. Na qual M₃ é a massa do corpo de prova suspenso impregnado pela imersão sob vácuo.

$$P = \frac{M_2 - M_1}{M_2 - M_3} \times 100 \quad (2)$$

Por fim, para a determinação da densidade aparente (B) em placas cerâmicas, utiliza-se a equação 3.

$$B = \frac{M_1}{M_2 - M_3} \quad (3)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A análise química Fluorescência de Raios X, FRX (Fig.2) foi feita na argila, nota-se a presença abundante (87,6%) do dióxido de silício (SiO₂). Essa característica pode estar associada à presença de quartzo, caulinita, entre outros argilominerais [12]. Nestas proporções podem diminuir a plasticidade das massas e influenciar de forma positiva na permeabilidade e na estabilidade dimensional dos corpos de prova [13].

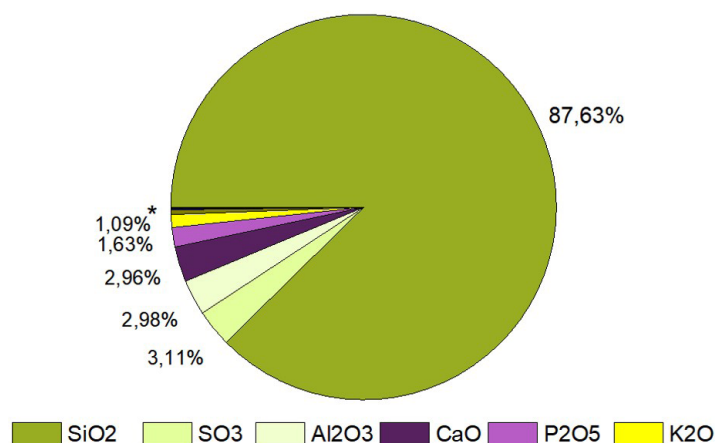


Figura 2. Composição de óxidos da argila

***Valores suprimidos representam menos que 1%**

Quanto à distribuição granulométrica da argila, o diâmetro médio dos grãos é 9.74 μm e a denominação a partir das frações granulométricas obtidas definem que mais de 50% são caracterizadas como areia fina, aproximadamente 20% são definidas como silte e em torno de 20% caracterizadas como argila [14].

Para estudo das fibras aplicadas, os gráficos de análise termogravimétrica (TG/DTG) e calorimetria diferencial exploratória (DSC), demonstram que elas possuem um comportamento característico dos materiais lignocelulósicos. A fibra do açaí apresentou três principais perdas de massa: a primeira, de 9,7% em torno de 150 °C, relacionada à liberação de umidade; a segunda, de 58,5% entre 220 e 420 °C, atribuída à decomposição de hemicelulose, celulose e lignina; e a terceira, de 28,5%, culminando com 3,2% de massa residual a 998,4 °C, caracterizando a combustão do carbono residual e indicando baixo teor de cinzas. A curva DSC demonstrou processos exotérmicos intensos devido à elevada fração orgânica da fibra (Fig.3).

A fibra do abacaxi apresentou uma perda de massa inicial de 8,8% a 150 °C, relacionada à umidade, seguida por uma degradação de 57,2% entre 220 e 360 °C, devido à decomposição de hemicelulose e celulose. Entre 360 e 550 °C, ocorreram perdas adicionais de 7,6% e 18,2%, atribuídas à oxidação do carbono e da lignina, enquanto a última etapa, com 3,3%, completou a combustão da fração orgânica. A fibra demonstrou maior estabilidade térmica em comparação às demais, com resíduo final de 23,7% na TG, indicando maior teor de lignina e materiais inorgânicos resistentes ao calor. Essa característica contribuiu para um preenchimento mais homogêneo da matriz cerâmica, dificultando a formação de poros. A curva DSC mostrou um evento exotérmico acentuado entre 400 e 500 °C, com massa residual de 4,9%, sugerindo a presença de cinzas orgânicas.

A fibra do coco apresentou uma perda inicial de 9,8% a 150 °C, relacionada à umidade. Entre 220 e 360 °C, ocorreu a maior perda de massa, de 51,3%, atribuída à degradação da hemicelulose e celulose. Em seguida, entre 360 e 500 °C, registrou-se uma perda adicional de 34,4% devida à decomposição da lignina e perda do carbono. A curva DSC indicou a maior transição exotérmica nesse mesmo intervalo, e ao final do ensaio, observou-se uma massa residual de 4,3%, correspondente aos resíduos orgânicos, o que evidencia o elevado teor de matéria orgânica da fibra.

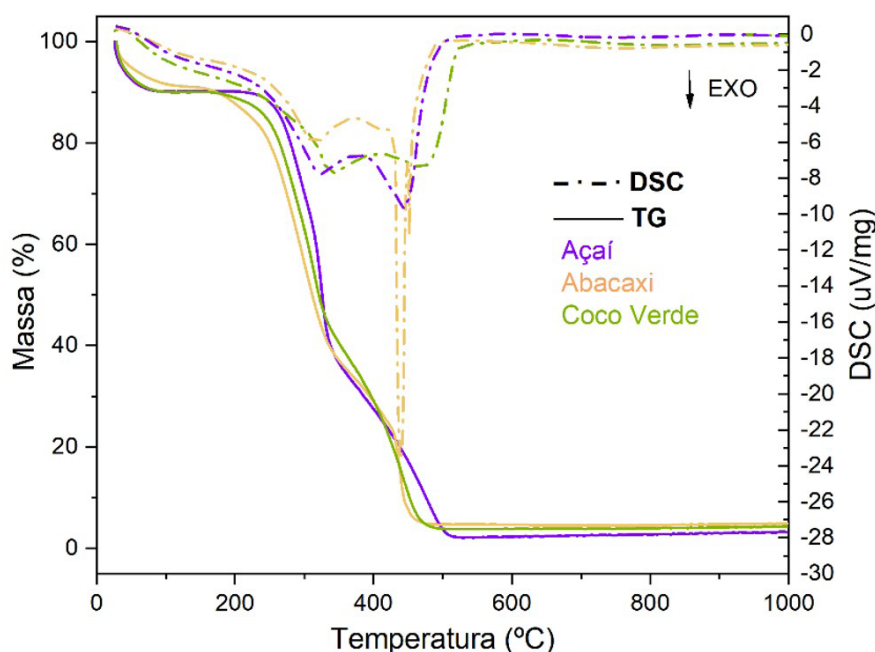


Figura 3. Gráficos de análise termogravimétrica (TG) e calorimetria diferencial exploratória (DSC) de fibras de Ananas comosus, Cocos nucifera e Euterpe oleracea.

Nos gráficos abaixo (Fig.4, Fig.5 e Fig.6), o item REF apresenta amostras de referência somente com argila e protótipos com fibras sem nenhum tipo de tratamento. A análise de absorção de água mostrou que a amostra com fibra de abacaxi teve o menor valor entre todas (19,3%), inferior à amostra de referência (19,4%), seguida pelas amostras com fibras de coco (20,7%) e açaí (21,4%). Devido à natureza higroscópica das fibras, há o aumento na absorção. Embora não haja linearidade entre tempo e concentração de tratamento alcalino, a amostra com fibra de abacaxi 2H5 apresentou a menor absorção (18,4%). Os maiores valores foram registrados nas amostras com fibra de açaí tratadas por 2H15 (24,9%) e 1H15 (24,1%), este último idêntico ao da amostra com fibra de coco 2H10.

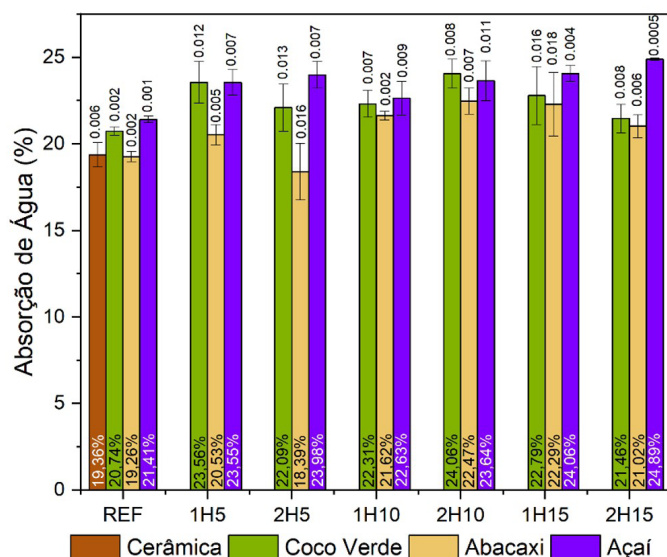


Figura 4. Gráfico das médias de absorção de água

O gráfico de porosidade aparente e revelou que as fibras de açaí e coco verde apresentaram os maiores índices, comportamento semelhante ao observado na absorção de água. A fibra de abacaxi, mesmo sem tratamento, demonstrou a menor porosidade (31,9%) e manteve resultados inferiores aos demais nas diferentes amostras. Entre os maiores valores, destacou-se o corpo de prova com fibra de coco 1H5 com 41,8%, ainda abaixo da amostra com fibra de açaí 2H15, que atingiu 41,9%.

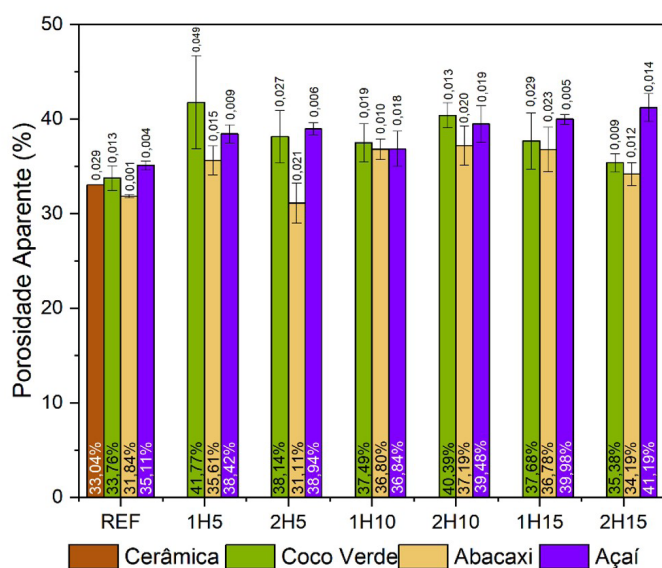


Figura 5. Gráfico das médias de porosidade aparente

O gráfico de densidade aparente mostra que os corpos de prova sem tratamento apresentaram valores entre 1,64 e 1,70 g/cm³, com a maior densidade registrada na cerâmica pura. A adição de fibras naturais, que têm densidade menor que a cerâmica, causou uma leve redução geral na densidade, sendo que as amostras com fibras de açaí 2H5 tiveram a menor média (1,62 g/cm³), enquanto as fibras de abacaxi e coco verde variaram entre 1,63 e 1,77 g/cm³.

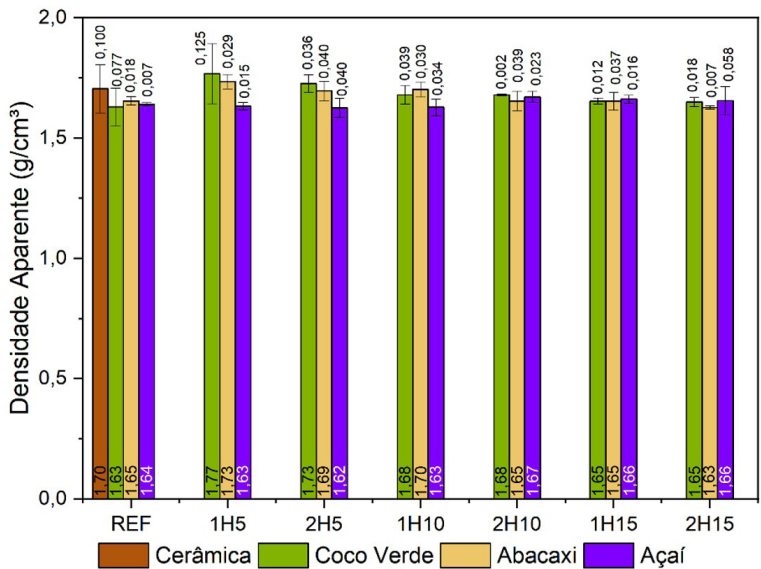


Figura 6. Gráfico das médias de densidade aparente

Nota-se um diferencial por parte dos protótipos com fibra de abacaxi, pois apresentaram resultados favoráveis, comparada à cerâmica comum, além de que o protótipo com fibra do abacaxi 2H5 destacou-se como mais promissor, absorvendo água 0,97% a menos e sendo 1,9% menos poroso.

4. CONCLUSÕES:

Neste trabalho, foram desenvolvidas cerâmicas reutilizando fibras de abacaxi, coco verde e açaí tratadas com NaOH. Em uma análise ampla, os protótipos com fibra de abacaxi apresentaram melhores resultados devido à baixa absorção e porosidade, enquanto os de coco verde tiveram desempenho razoável e os de açaí exibiram a menor densidade, indicando maior porosidade. O tratamento alcalino influenciou significativamente os resultados, especialmente no caso do abacaxi com tratamento 2H5, que melhorou o comportamento físico.

Vale ressaltar que, para aplicação em telhas, apenas os protótipos REF de abacaxi e com tratamento 2H5 estão na faixa de absorção delimitados pela NBR 15310/2005 [15]. Para uso em tijolos sem função estrutural em parede vazada e com vazados horizontais, todos os protótipos se encaixam dentro dos limites da NBR 15270-1/2023 [16]. Para trabalhos futuros, propõe-se padronizar a granulometria das fibras, testar novas fibras e concentrações alcalinas, além de realizar ensaios de compressão. Por fim, os resultados contribuem para o desenvolvimento de materiais sustentáveis que auxiliem a mitigar os impactos da construção civil.

REFERÊNCIAS:

[1] Moreira A T R et al, 2022. O impacto da ação antrópica no meio ambiente: aquecimento global. Revista Educação em Foco 14, 22-27.

[2] Roque R A L, Pierri A C, 2019. Uso inteligente dos recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento 8, 2, e3482703. <https://www.doi.org/10.33448/rsd-v8i2.703>

[3] Silva A M P, Cordeiro L S M, Silveira R M, 2023. Adição da fibra de coco na produção de telhas cerâmicas. São Paulo: Escola Politécnica, Feira Brasileira de Ciências e Engenharia 21, 411.

-
- [4] Oliveira E V F, Monte F B B, Souza L O, 2024. Análise da incorporação do resíduo de *Oenocarpus bataua* em argila Caripé do Maruanum na confecção de cerâmicos para construção civil. São Paulo: Febrace.
- [5] Linan L Z, Santos D M, Rodrigues J R, 2022. Estudo exploratório e construção de membranas poliméricas de PLA e PMMA com derivados lignocelulósicos. Revista ION 35, 1.
- [6] Azevedo A R et al, 2020. Development of mortar for laying and coating with pineapple fibers. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 24, 3, 187-193.
- [7] Fernandes R I M, 2012. Desenvolvimento e caracterização de compósitos de fibras naturais modificadas e híbridos: fibras da coroa do abacaxi/polipropileno e fibras da coroa do abacaxi/fibras de vidro/polipropileno. Guaratinguetá: Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.
- [8] Florentino W M et al, 2011. Biocompósitos de poliuretano reforçado com fibras de coco verde. Cadernos UniFOA 17, 11-16.
- [9] Esmeraldo MA, 2006. Preparação de novos compósitos suportados em matriz de fibra vegetal/natural. Fortaleza: PPG Química Orgânica e Inorgânica, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará.
- [10] Jorge L H A, 2011. Dossiê Técnico: Argila, propriedades e utilizações. Amazonas: SENAI.
- [11] NBR 10545-3, 2020. Placas cerâmicas. Parte 3: Determinação da absorção de água, porosidade aparente, densidade relativa aparente e densidade aparente. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [12] Dutra R P D et al, 2005. Estudo da variação da tonalidade de materiais cerâmicos tradicionais. Parte III: Efeito da composição química das argilas. Natal: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa.
- [13] Cartaxo A S et al, 2015. Caracterizações realizadas com argilas da região do Cariri, Ceará. Juazeiro do Norte: Caderno de Experiências Pesquisa em Foco, Universidade Federal do Cariri. <http://sites.ufca.edu.br/ebooks/wp-content/uploads/sites/22/2015/11/Caderno-de-Experi%C3%Aancias-a-pesquisa-em-foco.pdf>
- [14] Almeida B G et al, 2012. Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil. Rio de Janeiro: Embrapa.
- [15] NBR 15310, 2005. Componentes cerâmicos. Telhas. Terminologia, requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [16] NBR 15270-1, 2023. Componentes cerâmicos. Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.