

USO DA FIBRA DO PSEUDOCAULE DA BANANEIRA NO REFORÇO DE MATRIZES CIMENTÍCIAS NA PERSPECTIVA DA SUSTENTABILIDADE

Cleudson Guimarães (UEFS) E-mail: cleidsonguimaraes@yahoo.com.br
Paulo Roberto Lopes Lima (UEFS) E-mail: prllima@uefs.br

Resumo: Já é quase consenso que a indústria da construção civil é a que mais consome recursos naturais, seja material e/ou energia. Se a sociedade atual mantiver os mesmos níveis de consumo e não adotar ações que priorizem a sustentabilidade, o crescimento assumirá proporções incompatíveis com as reservas atuais. Nesta perspectiva, os recursos naturais se tornam cada vez mais escassos e podem comprometer a capacidade produtiva das gerações futuras. Para que isso não ocorra, é fundamental criar ações no presente que permitam a implementação de políticas sustentáveis na construção civil. Esse trabalho avaliou artigos publicados na base de dados do ScienceDirect que apresentam resultados sobre a utilização de fibras vegetais do pseudocaule da bananeira como reforço de matrizes cimentícias sob a ótica da sustentabilidade. Para isso, foram pesquisados artigos, lidos os resumos e palavras-chave de todos os artigos. Aqueles que apresentavam resultados envolvendo reforço de matrizes cimentícias com fibra de bananeira e que discutiam a sustentabilidade, então eram separados, lidos em detalhes e tabulados as ideias principais. Os resultados demonstraram que os estudos utilizam apenas o conceito de sustentabilidade no início da introdução e que não existem trabalhos que avaliem o impacto da fibra de bananeira nos pilares da sustentabilidade.

Palavras-chave: sustentabilidade, concreto verde e fibra de bananeira.

USE OF BANANA PSEUDOCLE FIBER IN REFORCENING CEMENT MATRICES FROM THE PERSPECTIVE OF SUSTAINABILITY

Abstract: It is almost a consensus that the construction industry is the one that consumes the most natural resources, whether material and/or energy. If today's society maintains the same levels of consumption and does not adopt actions that prioritize sustainability, growth will assume proportions that are incompatible with current reserves. In this perspective, natural resources become increasingly scarce and can compromise the productive capacity of future generations. For this not to happen, it is essential to create actions in the present that allow the implementation of sustainable policies in civil construction. This work evaluated articles published in the ScienceDirect database that present results on the use of plant fibers from the banana pseudostem as reinforcement of cementitious matrices from the perspective of sustainability. For this, articles were searched, the abstracts and keywords of all articles were read. Those who presented results involving cement matrix reinforcement with banana fiber and who discussed sustainability were then separated, read in detail and the main ideas tabulated. The results showed that the studies only use the concept of sustainability at the beginning of the introduction and that there are no studies that assess the impact of banana fiber on the pillars of sustainability.

Keywords: sustainability, banana fiber and green concrete.

1. Introdução

A sobrevivência da espécie humana depende da construção de abrigos por meio dos materiais naturais, artificiais ou da combinação deles originando os compósitos. Partindo deste princípio, são construídos ambientes artificiais onde são abrigadas as diversas atividades humanas. Da invenção da roda a decodificação genéticas dos seres vivos, a espécie humana se nutriu das fontes naturais para transformar o ambiente natural e construído. Entretanto, um dos principais desafios desse século é construir um caminho para o desenvolvimento sustentável onde o objetivo consiste em equilibrar as necessidades ambientais, sociais e econômicas. Essa é uma perspectiva de compromisso com as gerações atuais e do futuro. Conforme indicam Hummels e Argyrou (2021) o

mundo hoje não é sustentável, não resiliente e não é justo para a maioria da humanidade. A atividade humana e mais especificamente a econômica, empurra o planeta para além de seus limites naturais.

Desde o seu surgimento em 1987, na Cúpula da Terra no Rio de Janeiro, o conceito de sustentabilidade tem sido empregado na pesquisa científica. Embora tenham evidências do surgimento do conceito no início dos anos 1970, foi o relatório “Nosso Futuro Comum” publicado em 1987 pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento que definiu o conceito de desenvolvimento sustentável como o desenvolvimento que atende as necessidades do presente sem comprometer as gerações futuras de atender às suas próprias necessidades. Essa primeira definição evoluiu para o entendimento de desenvolvimento sustentável associado a três pilares fundamentais: a) economia, b) meio ambiente e c) sociedade (RUGGERIO, 2021; MERLI et al., 2020). Ou, simplesmente, o desenvolvimento sustentável busca encontrar um equilíbrio entre as necessidades das gerações atuais e as futuras, (ZULAICA, 2019).

O conceito de sustentabilidade é polissêmico e não deve ser encarado como um estado fixo de harmonia, mas sim como um processo em contínua mudança. Como destaca Zulaica (2019) é um conceito aceito e difundido internacionalmente, entretanto, as linhas de pensamento mais críticas indicam que o desenvolvimento sustentável apresenta notável versatilidade e ambiguidade. Nele, a exploração dos recursos naturais, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e institucionais devem ser norteados conforme as necessidades presentes e futuras. Tal qual destacam Hummels e Argyrou (2021), reconhecer o declínio dos recursos naturais da Terra, respeitar seus limites planetários é mais imperativo do que nunca, ou seja, a espécie humana não pode continuar colocando em risco os ecossistemas naturais que sustentam a vida na Terra.

A perspectiva da sustentabilidade tem sido empregada nos negócios, na produção agrícola, na indústria e na economia circular (RUGGERIO, 2021). Na economia circular, o resíduo de uma cadeia produtiva se transforma em matéria-prima para outra cadeia produtiva, na perspectiva em que o maior desafio que a geração atual tem pela frente diz respeito ao papel, das pessoas e da sociedade como um todo, de estabelecer modelos econômicos que possam implementar a circularidade. No que se refere à construção civil, (POMPONI & MONCASTER, 2017) destacam que terá que abranger todas as dimensões envolvidas: governamental, econômica, ambiental, comportamental e tecnológica.

A construção civil utiliza materiais com elevado impacto ambiental, alto custo de produção e problemas de durabilidade. Dentre esses materiais, estão as matrizes cimentícias armadas. Tanto o cimento Portland quanto o aço têm grande impacto ambiental. Além disso, o aço que é utilizado para reforçar as matrizes cimentícias tem problemas de durabilidade, principalmente associado a corrosão eletroquímica.

Segundo (TOLÊDO FILHO et al., 2000), as matrizes cimentícias apresentam comportamento de ruptura frágil, por isso é fundamental a utilização de fibras para aumentar a resistência à flexão, melhorar a tenacidade e o desempenho pós-fissuração. O aço tem sido utilizado em combinação com o concreto e argamassa para produzir o concreto e a argamassa armada. Segundo Mehta e Monteiro (2014), o concreto armado é o material artificial mais consumido no planeta. Portanto, a busca por sustentabilidade passa pelo desafio de substituir materiais não renováveis (como o aço) por fibras naturais. Gurunathan, Mohanty e Nayak (2015) destacam que a produção de compósitos empregando matérias-primas renováveis aumentou de 5% em 2004 para 12% em 2010

com estimativa de aumento para 18% em 2020 e 25% em 2030. Os autores ainda destacam que as fibras lignocelulósicas, como linho, cânhamo, kenaf, henequen, bananeira, dendê e juta têm chamado atenção como substitutos às fibras sintéticas. Os compósitos reforçados com fibras naturais têm atraído cada vez mais interesse como uma alternativa aos metais e compósitos reforçados com fibras sintéticas, principalmente por causa da crescente demanda por materiais leves e redução do impacto ambiental (LI et al., 2020).

Diversos autores (AKINYEMI; DAI, 2020; POONGODI; MURTHI; GOBINATH, 2020; POONGODI; MURTHI, 2020; HUMMELS; ARGYROU, 2021) apontam que as fibras vegetais têm apresentado grande potencial no reforço de matrizes frágeis, melhorando a ductilidade, resistência à compressão, à tração e potencializando economias locais a empreenderem sustentavelmente. A fibra de bananeira pode ser uma alternativa viável no reforço de matrizes cimentícias por sua abundância e propriedades mecânicas. Dentre as qualidades das fibras naturais Pacheco-Torgal e Jalali (2011) indicam que as fibras naturais têm alta resistência à tração e baixo módulo de elasticidade. Outros autores (LI et al., 2020); (HUMMELS & ARGYROU, 2021) apontam que quando comparadas às fibras artificiais apresentam as vantagens de serem biodegradáveis, ter menor preço, menor densidade, disponibilidade abundante, segurança à saúde humana e podem potencializar cadeias produtivas locais.

Uma alternativa de utilização das fibras do pseudocaule da bananeira é no reforço de matrizes cimentícias. Os trabalhos apontam melhoria na ductilidade e resistência mecânica das matrizes reforçadas, mas ainda existem problemas associados à durabilidade. Entretanto, os estudos acerca da durabilidade das matrizes têm aumentado a vida dos compósitos por meio da produção de matrizes duráveis (LIMA & TOLEDO FILHO, 2008).

As fibras vegetais mais estudadas como reforço em matrizes cimentícias são as de sisal, juta e coco, havendo uma lacuna no estudo do reforço de matrizes cimentícias reforçadas com fibras do pseudocaule da bananeira (doravante denominada por fibra de bananeira, ou FB).

Neste contexto, há grande carência no estudo dos reforços de matrizes de cimento Portland reforçadas com fibra de bananeira que busque estudar as propriedades das matrizes cimentícias reforçadas com FB, a durabilidade e a interação entre a matriz e a fibra no contexto da sustentabilidade. O objetivo deste artigo é apresentar os resultados de uma revisão bibliográfica sistemática que aborde o reforço de matrizes cimentícias com fibra de bananeira sob a ótica da sustentabilidade.

Para isso foi avaliado, por meio de tabulação, como os autores apresentam o conceito de sustentabilidade em seus artigos sobre o uso de fibra de bananeira no reforço de matrizes cimentícias.

1.1 Agroindústria da banana

Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), a banana é a fruta mais consumida no Brasil com consumo per capita médio de 25kg por ano. O clima brasileiro favorece o cultivo da fruta em todas as regiões fazendo com que o Brasil seja o quarto produtor mundial da fruta. São Paulo é o maior produtor e a Bahia ocupa o segundo lugar na produção nacional. Das variedades existentes, as mais cultivadas no Brasil são a nanica, prata, maçã e ouro (CNA, 2021).

No cenário mundial, o Brasil é o quarto maior produtor de banana, enquanto que a Índia, China e Indonésia são os maiores produtores da fruta. A maior parte da

produção brasileira é destinada ao mercado interno, apenas 1% é exportado. No cenário nacional, São Paulo é o maior produtor com participação de 15,3% da produção nacional, enquanto que a Bahia é o segundo estado de maior produção (CNA, 2021).

1.2 Relevância do estudo

O Brasil produz, em média, (CÉSAR ET AL., 2004) seis milhões de toneladas de banana por ano. Em 2017, foram produzidas 6,5 milhões de toneladas da fruta com ocupação de, aproximadamente, 460 mil hectares de terra (ELLENBERGER et al., 2020). Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), indicam que em 2020 foram produzidas 6.637.308 toneladas da fruta com uma área plantada de 456.992 hectares (IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021).

Segundo Souza et al. (2014), cada tonelada da fruta produzida gera cerca de 4 toneladas de resíduo. Destes resíduos, 75% é constituído pelo pseudocaule e os 25% restantes são constituídos por casca, folhas e o engaço do cacho (SOUZA et al., 2014). Considerando a produção de 2019, foram gerados cerca de 20,5 milhões de toneladas de pseudocaule de bananeira no Brasil.

A bananeira é um vegetal herbáceo que possui caule curto e situado abaixo do solo (rizoma) de onde brotam as raízes. Do rizoma sai o pseudocaule, pois é constituído pela combinação de até 25 bainhas (bases) foliares e termina com uma copa de folhas. Ao centro da copa surge a inflorescência por onde surgirão os frutos (BORGES; SOUZA, 2022).

Destaca-se que o pseudocaule da bananeira não é um produto comercializado, ou seja, é um resíduo, pois o produto da plantação de bananeira é a banana. Isso significa que a maior parte da bananeira é resíduo, pois a fruta (banana) representa a menor proporção, em relação à massa total da bananeira (KLUGE, R.A.; SCARPARE FILHO, J.A.; VICTÓRIA FILHO, 1999).

Segundo Scarpate Filho *et al.* (2016), o pseudocaule é constituído pelo palmito e revestido por bainhas foliares, Figura 1. Das bainhas foliares podem ser extraídos tecido natural fibroso (Figura 1A) e fibras situadas na capa periférica das bainhas foliares (Figura 1B). A Figura 1 apresenta uma sequência de imagens que ilustram a posição do tecido e das fibras no pseudocaule da bananeira.

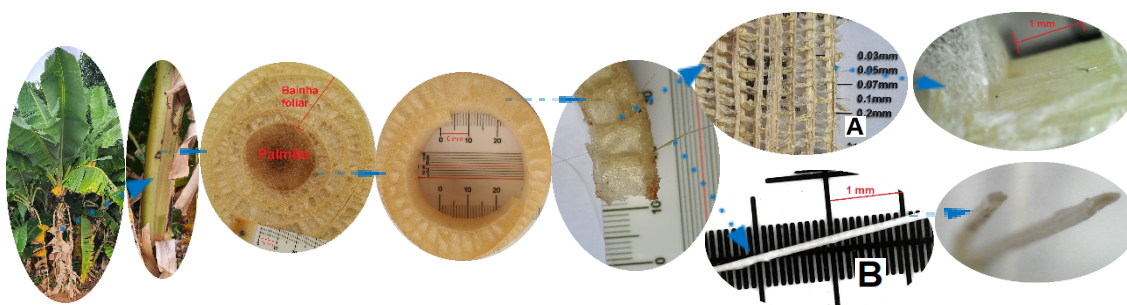


Figura 1 - Pseudocaule da bananeira e sua composição

Fonte: os autores

Esta fibra é um resíduo que pode ser utilizado em artesanato ou como ração animal, todavia, na maioria dos casos é deixada na plantação ocasionando acúmulo de

resíduo e baixa capacidade de adubação para o solo. Portanto, buscar estratégias de reutilização desse resíduo pode dinamizar a economia local e contribuir com a redução da disposição inadequada (DÍAZ ET AL., 2021; KLUGE, R.A.; SCARPARE FILHO, J.A.; VICTÓRIA FILHO, 1999). Existem diversas pesquisas (OKAFOR ET AL., 2021; LAXSHAMAN RAO ET AL., 2021; GAIROLA ET AL., 2020) focando a utilização da fibra de bananeira em matrizes poliméricas.

2. METODOLOGIA

Este artigo apresenta uma revisão da análise de artigos da base *ScienceDirect* que discutem o reforço de matrizes cimentícias empregando fibras do pseudocaule da bananeira sob a ótica da sustentabilidade. As questões norteadoras da pesquisa foram: Os artigos publicados, nos últimos 5 anos, envolvendo reforço de matrizes cimentícias com fibra do pseudocaule da bananeira discutem, ao mesmo tempo, o conceito de sustentabilidade? Qual a abordagem de sustentabilidade apresentada por esses artigos?

Para responder à pergunta, foram utilizadas as palavras chave: "*sustainability*" and "*banana fiber*" and "*cement matrix*" na base de dados da *ScienceDirect*. Como resultado, foram mostrados 26 artigos, de 1999 a 2021. Desses artigos, foram avaliados os últimos 5 anos, ou seja, de 2016 a 2021, sendo que nesse período foram publicados 15 artigos. Entretanto, nenhum dos artigos discutia o reforço de matrizes cimentícias com fibra de bananeira (FB) sob a ótica da sustentabilidade.

Para mudar os resultados da pesquisa na plataforma, alterou-se as palavras-chave na pesquisa para "*sustainability*" and "*banana fiber*" and "*concrete*". Resultou em 88 artigos, sendo a maioria sobre o reforço de matrizes poliméricas e apenas dois discutem o reforço de matrizes cimentícias reforçadas com FB e sustentabilidade. A leitura minuciosa dos dois artigos indicou a utilização do termo "*green concrete*" para relacionar materiais cimentícios com a sustentabilidade. Então, optou-se por realizar nova pesquisa empregando as expressões "*banana fiber*" and "*green concrete*" para ampliar os resultados a serem analisados. A nova pesquisa resultou em 4 artigos, sendo 1 em 2021, 2 em 2020 e 1 em 2019 e nenhum anterior a 2019. A Figura 1 esquematiza a sequência utilizada na pesquisa.

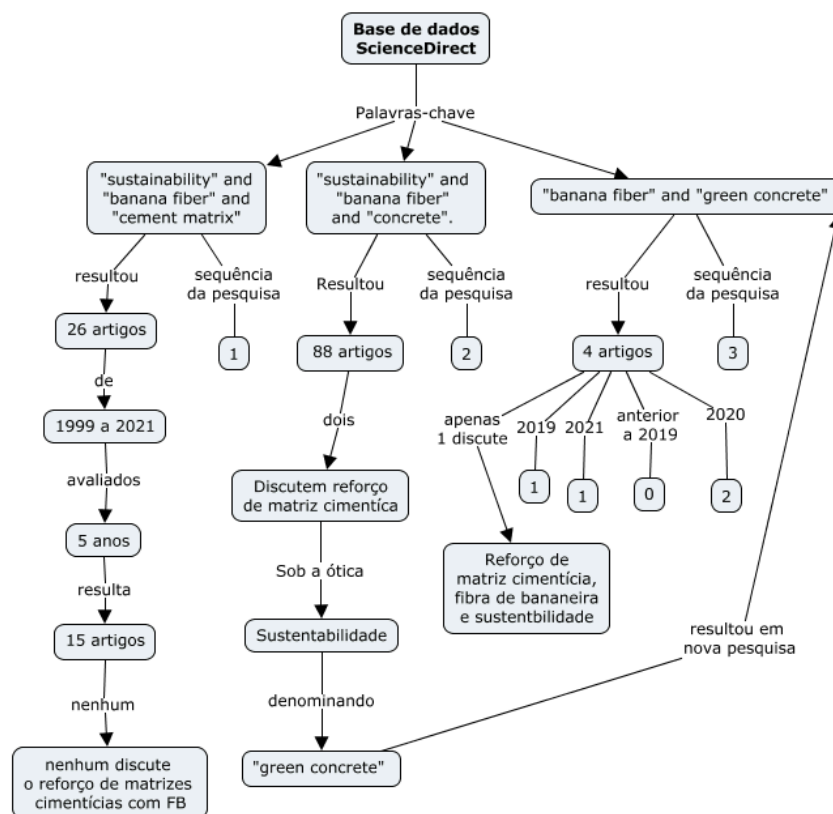


Figura 2 - Esquema da pesquisa

Dos artigos publicados, foram avaliados o título, palavras-chave e resumo. Aqueles que apresentaram os três temas concomitantemente, foram separados, lidos e tabuladas as ideias principais. Acerca do conceito de sustentabilidade, foi observado se apresentava o conceito no contexto do artigo e/ou se avaliava o material sob a ótica dos três pilares da sustentabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Efeito da fibra de bananeira sobre as propriedades dos compósitos.

Alguns autores (ELBEHIRY ET AL., 2020; POONGODI, KHAN, ET AL., 2020) estudaram as propriedades mecânicas das fibras do pseudocaule da bananeira. A fibra do pseudocaule da bananeira tem resistência à tração que varia de 275 a 585 MPa, módulo de elasticidade de 12 a 13,5 GPa, densidade 1,3 a 1,35 g/cm³ e diâmetro médio de 0,15 a 0,3 mm. Só para adotar parâmetro comparativo com outras fibras, a fibra do sisal apresenta resistência à tração variando entre 345 a 700 MPa, módulo de elasticidade de 9 a 28 GP e densidade 1,4 a 1,45 g/cm³.

Algumas pesquisas (LI ET AL., 2020; PACHECO-TORGAL & JALALI, 2011; TOLÊDO FILHO ET AL., 2000) apontaram as desvantagens das fibras naturais. Pode-se destacar que apresentam grande variação das propriedades, elevada absorção de água, baixa estabilidade térmica, propensão a aglomeração na produção das matrizes cimentícias e desafios de durabilidade frente aos compostos alcalinos dos produtos de hidratação do cimento Portland.

Quanto às características dos compósitos cimentícios reforçados com fibras, Akinyemi e Dai (2020) avaliaram as propriedades de argamassas de cimento Portland reforçadas com fibra de bananeira e substituição parcial do cimento Portland por 10%, 15%, 20% e 25% de cinza de madeira. Foram utilizadas fibras com comprimento de 50 mm e teor de 1,5% do volume da argamassa. As fibras foram tratadas com solução

diluída de hidróxido de sódio. Foram moldados corpos de prova e curados por 7, 14 e 28 dias. Após esses períodos, foram avaliados o módulo de elasticidade, resistência à compressão e à tração. Os resultados apontaram que a fibra de bananeira melhorou a ductilidade e tenacidade dos compósitos, indicando que as fibras foram capazes de resistir ao arrancamento, prendendo as microfissuras induzidas pela carga aplicada.

Quanto à resistência à compressão, Akinyemi e Dai, (2020) observaram um aumento de 45,4% na resistência à compressão para a matriz contendo 1,5% de fibra de bananeira e substituição parcial do cimento Portland (CP) por 10% de cinza de madeira. Para teores maiores de substituição do CP, houve diminuição da resistência à compressão. A resistência à tração por compressão diametral aumentou com a inserção da fibra, mas reduziu consideravelmente à medida que foi incrementada a substituição do CP por cinza de madeira.

Dhawan et al., (2020) avaliaram as propriedades de concretos produzidos com cinzas volante e de bagaço de cana de açúcar e fibra de bananeira (FB). Os autores destacaram o importante papel da FB de bananeira na capacidade de unir as fissuras e aumentar a ductilidade dos elementos, melhorando o comportamento pós-fissuração do concreto. A substituição do cimento por cinza volante foi mantida em 20%, enquanto a cinza do bagaço da cana-de-açúcar foi usada para substituir a areia na faixa de 0%, 10% e 20%. Foi adicionada FB com diâmetro de 1mm e comprimento de 40 mm em teores de 0%, 2,5% e 5,0% em corpos de prova de 150 mm × 150 mm × 150 mm (para avaliar a resistência à compressão) curados por 28 e 90 dias. Para avaliar a resistência à tração, foram moldadas 3 vigas com tamanho de 700 mm × 150 mm × 150 mm e curadas por 28 dias. Os resultados indicaram que houve aumento na resistência à compressão em 6% após o acréscimo de 2,5% de fibra de bananeira, 20% de cinza volante e substituição de 10% da areia por cinza de bagaço de cana-de-açúcar. Para o teor de fibra de 5%, houve redução na resistência à compressão. Por fim, os autores concluem que os melhores resultados de resistência à compressão e flexão do concreto são obtidos por meio da utilização de 2,5% de FB, 20% de cinza volante e 10% de cinza bagaço de cana.

Poongodi, Murthi e Gobinath (2020) avaliaram a ductilidade de vigas produzidas com concreto autoadensável leve reforçadas com fibra de bananeira e adição de cinza de casta de arroz e microssílica. As fibras foram acrescentadas em teores de 0,25%, 0,5%, 0,75%, 1,0%, 1,25% e 1,5% do volume do concreto com comprimento de fibras de 35mm e 40 mm. No estado fresco, foi avaliado o espalhamento por meio do *slump-flow*. Foram moldadas vigas de 1000 mm de comprimento, 150 mm de largura e 200 mm de profundidade, o vão efetivo de 900 mm para avaliação da resistência à flexão, aos 28 dias, da viga simplesmente apoiada. A resistência à compressão foi mensurada por meio da moldagem de corpos de prova cúbicos de 150 mm e curados por 3, 7, 28 e 90 dias. O índice de ductilidade foi obtido por meio da razão entre a deflexão média máxima do vão na ruptura e a deflexão no ponto de escoamento.

Sob o ponto de vista reológico (concreto no estado fresco), o *slump-flow* das amostras sem fibra foi 779 mm e a adição de fibra de bananeira até o teor de 1,25% promoveu mudanças insignificantes no espalhamento. Já o teor de 1,5% de FB resultou em diminuição expressiva, resultando em espalhamento de 643 mm. A resistência à compressão foi ligeiramente aumentada até o teor de fibra de 1,25%. A matriz, aos 28 dias, sem fibra apresentou resistência à compressão de 38,3 MPa e a com fibra 44,8 MPa, resultando em incremento de 17%. Os resultados com 90 dias refletiram comportamento similar (POONGODI, MURTHI, et al., 2020).

Ainda segundo Poongodi, Murthi e Gobinath, (2020), em relação a resistência à flexão, a matriz reforçada com fibra de bananeira apresentou aumento gradativo da propriedade até o teor de fibra de 1,25%. As maiores resistências foram obtidas com o 1,25% de FB sendo 42,59% e 44,18% maior que o concreto sem FB, 28 dias e 90 dias respectivamente. Para o teor de 1,5% de fibra houve decréscimo na resistência à flexão. Quanto ao índice de ductilidade, a matriz sem fibra apresentou índice 2,33 enquanto as reforçadas com fibra apresentaram valores superiores a 3,0. O índice de ductilidade da matriz reforçada com 1,25% de fibra de bananeira de 3,86, 65% superior à matriz sem a fibra.

Estudo similar foi conduzido por Poongodi e Murthi (2020) ao avaliar a resistência ao impacto em concreto autodescável, leve e reforçado com fibra de bananeira em teores de 0,25%, 0,5%, 0,75%, 1,0%, 1,25% e 1,5% do volume do concreto. Foram avaliados o espalhamento por meio do *slump flow*, resistência à compressão e resistência ao impacto de um martelo com peso de 44,5 N e altura de queda livre de 457 mm.

Os resultados indicaram que a inserção de fibra de bananeira em até 1,25% acarreta diminuição do espalhamento do concreto, porém os resultados apresentam-se dentro dos requisitos estabelecidos para concreto autoadensável. Entretanto, para o teor de 1,5%, há aumento expressivo não atendendo aos parâmetros mínimos de autoadensabilidade. A resistência à compressão aumentou até o teor de 1,25% de fibra e decréscimo para o teor de 1,5%. Quanto à resistência ao impacto, a adição da FB promoveu aumento na resistência ao impacto. Foi observado aumento no número de golpes da esfera até o aparecimento de falhas com o crescimento do teor de fibras limitando os melhores resultados ao teor de 1,25% de FB (POONGODI & MURTHI, 2020).

Elbehiry et al., (2020) estudaram o desempenho de vigas de concreto armado com barras de fibra de bananeira, analisando o desempenho mecânico. Foram moldadas seis vigas reforçadas com barras de fibra de bananeira de 12 mm e 18 mm e avaliado o comportamento das vigas sob flexão com carregamento no meio do vão. Os resultados indicaram que a resistência à flexão das vigas reforçadas com barras de fibra de bananeira aumentou em 25% em relação às vigas em concreto simples. Nos corpos de prova reforçados com barras de 12mm e 18 mm de diâmetro, a carga de ruptura foi de 26 e 28 kN respectivamente com deformação máxima de 1,08 mm, em ambas as amostras. A carga de ruptura do concreto simples foi de 20 kN com deformação máxima de 0,84 mm. Os resultados também demonstraram que a resistência do concreto não interferiu na carga de ruptura sob flexão.

Poongodi et al., (2020) estudaram o comportamento da resistência à compressão de concreto de alto desempenho com substituição parcial do cimento Portland por 5% e 10% de escória de alto forno, reforçados com fibra de bananeira e aço. O teor de fibra de aço foi fixado em 2%, enquanto o da fibra de bananeira variou em 0,1%, 0,2% e 0,3% do volume do concreto. Os resultados demonstraram diminuição progressiva no abatimento do concreto em função do aumento do teor de fibras de bananeira. As maiores resistências à compressão foram obtidas com a combinação de 0,2% de FB, 2% de fibra de aço e 5% de substituição do cimento por escória granulada de alto forno. Os resultados de resistência à tração demonstraram que a adição combinada de 2% de fibra de aço e 0,1 a 0,3% de fibra de bananeira melhora consideravelmente a resistência à tração.

3.2. Aspectos ambientais ou de sustentabilidade presentes nos artigos

O Quadro 1 apresenta os resultados dos artigos encontrados empregando inicialmente as palavras-chave "*sustainability*" and "*banana fiber*" and "*cement matrix*" e em seguida "*banana fiber*" and "*green concrete*". O ano da publicação está na primeira coluna, o título da publicação na segunda, enquanto a terceira coluna apresenta um breve resumo do artigo. Este resumo norteia a utilização do filtro, ou seja, os artigos que não apresentavam resultados de estudos sobre o reforço de matrizes cimentícias com fibra de bananeira ao mesmo tempo em que discutia a sustentabilidade, foram descartados da análise mais detalhada. Após o Quadro 1, são apresentados os resultados das análises dos artigos que atenderam aos três parâmetros empregados como filtro neste trabalho.

Quadro 1 - Artigos avaliados

	Título	Avaliação do artigo	Autores
Palavras chave	<i>"sustainability" and "banana fiber" and "cement matrix"</i>		
2018	Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review	Discute as propriedades de matrizes poliméricas reforçadas com fibras naturais.	(SANJAY ET AL., 2018)
	Application of chopped basalt fibers in reinforced mortar: A review	Não avalia matrizes cimentícias reforçadas com fibra de bananeira. Não discute sobre sustentabilidade nas palavras chave ou resumo	(RALEGAONKAR ET AL., 2018)
	Thermo-physical analysis of low-cost ecological composites for building construction	Não trata do tema fibra de bananeira e/ou sustentabilidade	(TISKATINE ET AL., 2018)
2019	Nenhum	----	
2020	Development of banana fibers and wood bottom ash modified cement mortars	Discute sobre o uso de fibras de bananeira no reforço de argamassas de cimento Portland e cinza. Não discute sobre sustentabilidade	(AKINYEMI & DAI, 2020)
	Evaluation of the thermal performance parameters of an outside wall made from lignocellulosic sand concrete and barley straws in hot and dry climatic zones	Discute o conforto térmico de paredes de concreto reforçadas com palhas de cevada em climas quentes e seco. Não discute a sustentabilidade.	(BELHADJ ET AL., 2020)

2021	Experimental investigation on mechanical properties of economical local natural fibre reinforced cement mortar	Discute sobre o reforço de fibras de bananeira, mas não estabelece relações com a sustentabilidade	(CHANDRASEKARAN & RAMAKRISHNA, 2021)
	A review of nanocellulose as a new material towards environmental sustainability	Discute a utilização de fibras vegetais no reforço de matrizes poliméricas, ou seja, não envolve matrizes de cimento Portland	(DHALI ET AL., 2021)
	Thermal and mechanical properties of hardened cement paste reinforced with Posidonia-Oceanica natural fibers	Trata do reforço de pastas de cimento reforçadas usando possidônia-oceânica. Não apresenta resultados sobre fibra de bananeira	(HAMDAOUI ET AL., 2021)
Palavras chave	<i>"banana fiber" and "green concrete"</i>		
2019	Incorporation of natural waste from agricultural and aquacultural farming as supplementary materials with green concrete: A review	Ampla revisão dos impactos dos materiais da construção civil, dentre eles o cimento Portland e o uso de fibras. Não discute sobre sustentabilidade.	(LUHAR ET AL., 2019)
2020	Recycled fibers in reinforced concrete: A systematic literature review	Discute (por meio da revisão de literatura) o uso de fibras vegetais em matrizes cimentícias e destaca a sustentabilidade. Só apresenta a revisão de um artigo sobre fibra de bananeira.	(MERLI ET AL., 2020)
	Development of banana fibers and wood bottom ash modified cement mortars	Avalia a influência das fibras de bananeira nas propriedades das argamassas. Não discute a interface com a sustentabilidade	(AKINYEMI & DAI, 2020)
2021	Development of biomaterial fillers using eggshells, water hyacinth fibers, and banana fibers for	Avalia as propriedades mecânicas de concretos reforçados com fibra de bananeira	(NIYASOM & TANGBORIBOON, 2021)

	green concrete construction		
--	-----------------------------	--	--

Quando utilizadas as palavras chave "*sustainability*" and "*banana fiber*" and "*cement matrix*" para pesquisar artigos na base de dados *ScienceDirect*, os artigos encontrados não apresentam resultados sobre a pesquisa de reforço de matrizes cimentícias reforçadas com fibras do pseudocaule da bananeira sob a ótica da sustentabilidade, no período de 2018 a 2021.

Alterando as palavras chave para "*banana fiber*" and "*green concrete*" na mesma base de dados nos últimos 5 anos foi observado que anterior a 2019 não há publicação de artigos com essa temática. Em 2019, é publicado um artigo que discute o impacto ambiental da construção civil, notadamente a produção do cimento Portland na produção de CO₂ e consumo de energia e apresenta as fibras vegetais como materiais que podem reduzir o impacto ambiental da cadeia da indústria da construção civil. (Luhar et al., 2019) O conceito de sustentabilidade não é discutido. Portanto, não há nenhuma avaliação do impacto do uso de fibras vegetais nos três pilares da sustentabilidade (social, econômico e ambiental).

Em 2020, são publicados dois artigos (MERLI et al., 2020; AKINYEMI; DAI, 2020) que apresentam resultados de pesquisa sobre fibra de bananeira em matriz cimentícia, mas apenas o artigo de Merli et al. (2020) há discussão do conceito de sustentabilidade, reforço de matriz cimentícia com fibra vegetal e apresenta um estudo que envolve a fibra de bananeira, sendo, portanto aquele que foi avaliado minuciosamente, por atender aos três parâmetros estabelecidos como filtro nesta pesquisa.

O artigo de Akinyemi e Dai (2020), na introdução, apresenta uma retórica sobre a quantidade de resíduos agrícolas gerados e os impactos ambientais provocados, principalmente em função do gás carbônico e metano gerados pela decomposição desses materiais. Em seguida, apresenta o concreto verde como aqueles que utilizam as fibras naturais ou à base de celulose como reforço para melhorar a resistência à flexão, tenacidade à fratura e ductilidade de compósitos de cimento Portland. Especial destaque é dado às fibras de bananeira para reforçar matrizes cimentícias contendo cinzas de madeira (AKINYEMI & DAI, 2020). Não há qualquer discussão sobre a o impacto da inserção dos resíduos (fibra de bananeira e cinza de madeira) nos pilares da sustentabilidade. Cabe destacar que o conceito de sustentabilidade não é discutido no artigo, o foco é a discussão das propriedades mecânicas.

Merli et al., 2020, elaboraram amplo estudo, por meio da revisão de 194 artigos da base Scopus publicados de 1994 a 2014. São avaliados estudos que utilizam fibras recicladas de metais, vidro, naturais e mistas. O estudo revela que a pesquisa sobre reforço de matrizes cimentícias empregando fibras recicladas prioriza a investigação das propriedades mecânicas seguida pelos estudos sobre a durabilidade do compósito. Investigações sobre as propriedades físicas, compósitos e propriedades do concreto no estado fresco também são frequentes. Considerando as propriedades físicas, a resistência à compressão, à flexão, à tração e a fissuração são as características mais investigadas.

Os autores (MERLI et al., 2020) destacam que pouca atenção tem sido dada às potencialidades econômicas e sociais nos estudos sobre o uso de fibras em matrizes cimentícias. A grande maioria dos estudos envolve as propriedades mecânicas e durabilidade das matrizes desenvolvidas. Portanto, há uma enorme lacuna na avaliação

do impacto do uso fibras recicladas em matrizes cimentícias sob a ótica do tripé da sustentabilidade. Portanto, “emerge um grande potencial de pesquisa na exploração de como as fibras recicladas podem fazer parte de uma indústria da construção orientada e inspirada nos princípios da economia circular” (MERLI *et al.*, 2020, tradução nossa).

De forma geral pode-se afirmar que o estudo da utilização de fibras vegetais no reforço de matrizes de cimento Portland prioriza o estudo das propriedades mecânicas e durabilidade. Quando utilizam o conceito de sustentabilidade e economia circular, há apropriação do conceito apenas para construir um contexto entre o objeto da pesquisa e as demandas atuais por sustentabilidade. Entretanto, os trabalhos não estabelecem qualquer estudo sobre o uso da fibra e a contribuição dos pilares da sustentabilidade.

Pode-se inferir que a pesquisa da utilização de fibras vegetais em matrizes cimentícias passa por diferentes fases de maturidade. Na primeira etapa são investigadas a interferência das fibras nas propriedades mecânicas e durabilidade. Nesta fase, o conceito de sustentabilidade não é utilizado como ferramenta de análise. Os autores simplesmente comparam as propriedades mecânicas e durabilidade de matrizes com fibras com aquelas sem fibras e a sustentabilidade serve apenas de contexto para justificar o trabalho. Caso ocorram melhorias, então os pilares da sustentabilidade (ambiente, economia e sociedade) podem ser utilizados como ferramentas para análise de dados. Ou seja, pode ser avaliado o impacto da produção da matriz com fibra na economia local, na vida das pessoas (sociedade) e no meio ambiente.

No que se refere às pesquisas de matrizes reforçadas com fibra de bananeira, não foram encontrados estudos que envolvam a sustentabilidade na construção do contexto da introdução do artigo. Isso significa que os atuais estudos estão em sua primeira fase e há grande lacuna no estudo da influência desta fibra nas propriedades mecânicas e durabilidade das matrizes cimentícias desenvolvidas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização das fibras do pseudocaule da bananeira depende de aprofundamento nas pesquisas acerca da interação entre as matrizes cimentícias e a estrutura físico-química da fibra. Este estudo do estado da arte apontou que a utilização da fibra no reforço de matrizes cimentícias encontra-se em sua fase inicial, ou seja, ainda precisa avançar nos aspectos técnicos e fornecer subsídio teórico para a utilização na fabricação de produtos que possam interferir nas economias locais, potencializando-as. Nessa perspectiva, o conceito de sustentabilidade só é empregado para estabelecer uma ponte teórica e de provável contribuição.

As pesquisas que avaliam a interferência da inserção de fibras nas propriedades de matrizes cimentícias focam na avaliação das propriedades mecânicas. O conceito de sustentabilidade (quando é empregado) é utilizado apenas no início da introdução para construir um contexto entre as demandas atuais por sustentabilidade, os resíduos gerados por alguma cadeia produtiva e a utilização do resíduo na pesquisa como alternativa para favorecer a sustentabilidade.

No que se refere, aos estudos sobre a utilização das fibras do pseudocaule da bananeira, os artigos focam apenas as propriedades mecânicas. Não existem estudos que abordem a durabilidade de matrizes cimentícias reforçadas com fibra do pseudocaule da bananeira. No que se refere à sustentabilidade, não foram encontrados artigos que relacionem o reforço de matrizes cimentícias com fibra de bananeira e a sustentabilidade. Ou seja, enquanto as pesquisas com outras fibras vegetais (sisal, cânhamo...) utilizam o conceito de sustentabilidade como retórica na construção do

contexto na introdução, os estudos com FB não utilizam os princípios da sustentabilidade para contextualizar a cadeia produtiva da banana, a quantidade de resíduos gerados e como a utilização desses resíduos no desenvolvimento de novos produtos podem contribuir para estimular a sustentabilidade na cadeia produtiva da construção civil. Esse resultado aponta para a necessidade de aprofundamento das pesquisas acerca da interferência da fibra de bananeira quando empregada como reforço em matrizes de cimento Portland. Só assim, será possível desenvolver novos produtos que permitam o amadurecimento da linha de pesquisa com este resíduo avaliando os impactos na economia, sociedade e no meio ambiente.

Isso significa que há uma enorme lacuna no estudo do impacto da utilização de fibras vegetais no reforço de matrizes cimentícias na sociedade, economia e meio ambiente. A avaliação do ciclo de vida dessas fibras pode ser uma alternativa de construir inter-relações entre o desenvolvimento de novos produtos e os pilares da sustentabilidade.

AGRADECIMENTOS

O projeto conta com o apoio do CNPq (Programa MAI DAI, Auxílio nº 403644/2020-8) e o segundo autor agradece ao CNPq pela bolsa de pós-doutorado (Auxílio nº 102164/2022-3).

REFERÊNCIAS

- AKINYEMI, B. A.; DAI, C.** Development of banana fibers and wood bottom ash modified cement mortars. *Construction and Building Materials*, v. 241, p. 118041, 2020.
- BELHADJ, B. et al.** Evaluation of the thermal performance parameters of an outside wall made from lignocellulosic sand concrete and barley straws in hot and dry climatic zones. *Energy and Buildings*, v. 225, p. 110348, 2020.
- CÉSAR, F. et al.** Marketing De Banana: Preferências Do Consumidor Quanto Aos Atributos De Qualidade Dos Frutos 1 Fernando César Akira Urbano Matsuura 2 , Jane Iara Pereira Da Costa 3 , Marília Ieda Da Silveira Folegatti 2. v. 3, p. 48–52, 2004.
- CHANDRASEKARAN, R. G.; RAMAKRISHNA, G.** Experimental investigation on mechanical properties of economical local natural fibre reinforced cement mortar. *Materials Today: Proceedings*, n. xxxx, p. 3–8, 2021.
- DHALI, K. et al.** A review of nanocellulose as a new material towards environmental sustainability. *Science of the Total Environment*, v. 775, p. 145871, 2021.
- DHAWAN, A. et al.** Evaluation of mechanical properties of concrete manufactured with fly ash, bagasse ash and banana fibre. *Materials Today: Proceedings*, n. xxxx, p. 6–11, 2020.
- DÍAZ, S. et al.** Assessment of the effect of autohydrolysis treatment in banana's pseudostem pulp. *Waste Management*, v. 119, p. 306–314, 2021.
- ELBEHIRY, A. et al.** Performance of concrete beams reinforced using banana fiber bars. *Case Studies in Construction Materials*, v. 13, p. e00361, 2020.
- ELLENBERGER, A. et al.** Utilização Das Fibras Do Pseudocaule Da Bananeira. *Revista Científica Rural*, v. 22, n. 1, p. 185–204, 2020.
- GAIROLA, S. P. et al.** Fabrication and mechanical property evaluation of non-woven banana fibre epoxy-based polymer composite. *Materials Today: Proceedings*, v. 44, p. 3990–3996, 2020.
- GURUNATHAN, T.; MOHANTY, S.; NAYAK, S. K.** A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, v. 77, p. 1–25, 2015.
- HAMDAOUI, O. et al.** Thermal and mechanical properties of hardened cement paste reinforced with *Posidonia-Oceanica* natural fibers. *Construction and Building Materials*, v. 269, p. 121339, 2021.

HUMMELS, H.; ARGYROU, A. Planetary demands: Redefining sustainable development and sustainable entrepreneurship. *Journal of Cleaner Production*, v. 278, p. 123804, 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola Municipal 2020. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, p. 1–8, 2021.

KLUGE, R.A.; SCARPARE FILHO, J.A.; VICTÓRIA FILHO, R. Densidade e sistema de espaçamento de bananeiras “Nanicão” (Musa AAA subgrupo Cavendish): produção de ráquis e relação ráquis/cacho. *Scientia Agricola*, v. 56, n. 4, p. 811–818, 1999.

LAXSHAMAN RAO, B. et al. Review on properties of banana fiber reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings*, v. 47, p. 2825–2829, 2021.

LI, M. et al. Recent advancements of plant-based natural fiber-reinforced composites and their applications. *Composites Part B: Engineering*, v. 200, n. February, 2020.

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*, v. 8, n. 4, p. 7–19, 2008.

LUHAR, S.; CHENG, T. W.; LUHAR, I. Incorporation of natural waste from agricultural and aquacultural farming as supplementary materials with green concrete: A review. *Composites Part B: Engineering*, v. 175, n. March, p. 107076, 2019.

MEHTA, P. K. MONTEIRO, P. J. M. *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 2ª edição ed. São Paulo: [s.n.].

MERLI, R. et al. Recycled fibers in reinforced concrete: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, v. 248, p. 119207, 2020.

NIYASOM, S.; TANGBORIBOON, N. Development of biomaterial fillers using eggshells, water hyacinth fibers, and banana fibers for green concrete construction. *Construction and Building Materials*, v. 283, n. December 2020, p. 122627, 2021.

OKAFOR, C. E. et al. Optimal route to robust hybridization of banana-coir fibre particulate in polymer matrix for automotive applications. *Materialia*, v. 16, n. April, p. 101098, 2021.

PACHECO-TORGAL, F.; JALALI, S. Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review. *Construction and Building Materials*, v. 25, n. 2, p. 575–581, 2011.

POMPONI, F.; MONCASTER, A. Circular economy for the built environment: A research framework. *Journal of Cleaner Production*, v. 143, p. 710–718, 2017.

POONGODI, K. et al. Strength properties of hybrid fibre reinforced quaternary blended high performance concrete. *Materials Today: Proceedings*, n. xxx, 2020.

POONGODI, K.; MURTHI, P. Impact strength enhancement of banana fibre reinforced lightweight self-compacting concrete. *Materials Today: Proceedings*, v. 27, p. 1203–1209, 2020.

POONGODI, K.; MURTHI, P.; GOBINATH, R. Evaluation of ductility index enhancement level of banana fibre reinforced lightweight self-compacting concrete beam. *Materials Today: Proceedings*, n. xxx, p. 0–5, 2020.

RALEGAONKAR, R. et al. Application of chopped basalt fibers in reinforced mortar: A review. *Construction and Building Materials*, v. 164, p. 589–602, 2018.

RUGGERIO, C. A. Sustainability and sustainable development: A review of principles and definitions. *Science of the Total Environment*, v. 786, p. 147481, 2021.

SANJAY, M. R. et al. Characterization and properties of natural fiber polymer composites: A comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, v. 172, p. 566–581, 2018.

SOUZA, E. L. et al. Bioethanol from fresh and dried banana plant pseudostem. *Chemical Engineering Transactions*, v. 38, p. 271–276, 2014.

TISKATINE, R. et al. Thermo-physical analysis of low-cost ecological composites for building construction. *Journal of Building Engineering*, v. 20, n. April, p. 762–775, 2018.

TOLEDO FILHO, R. D. et al. Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites. *Cement and Concrete Composites*, v. 22, n. 2, p. 127–143, 2000.

ZULAICA, L. Is Mar del Plata (Argentina) a sustainable city? An evaluation of the sustainability of urban and peri-urban areas using indicators. *Sustentabilidade em Debate*, v. 10, n. 2, p. 10–27, 2019.

