



BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

COSME VENANCIO COSTA DA SILVA CUNHA

**COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE SISAL COMO INOVAÇÃO
TECNOLÓGICA NA REGIÃO SISALEIRA**

**CONCEIÇÃO DO COITÉ – BA
2021**

COSME VENANCIO COSTA DA SILVA CUNHA

**COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE SISAL COMO INOVAÇÃO
TECNOLÓGICA NA REGIÃO SISALEIRA**

Artigo apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II como requisito básico para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade da Região Sisaleira.

Orientador: Prof^o. Me. Vinicius Velanes Borges Giffoni Veloso

Coorientadora: Prof^o Me. Camila Louzado d'El Rei Dantas

**CONCEIÇÃO DO COITÉ – BA
2021**

**Ficha Catalográfica elaborada por:
Joselia Grácia de Cerqueira Souza – CRB-Ba. 1837**

C972c Cunha, Cosme Venancio Costa da Silva

Compósitos reforçados com fibra de sisal como inovação tecnológica na região sisaleira. .- Conceição do Coité (Ba.), FARESI, 2021.

26 fls., il.

Referências: fls. 23 -26

Monografia apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II como requisito básico para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil pela Faculdade da Região Sisaleira.

Orientador: Prof^o Me. Vinicius Velanes Borges Giffoni Veloso

Coorientadora: Prof^a Me. Camila Louzado d'El Rei Dantas

1. Fibras vegetais. 2. Compósitos cimentícios. 3. Aplicação. 4. Comportamento. I. Título.

CDD 620.197

EPÍGRAFE

*“Aceite que às vezes as pessoas te
decepcionam Mas também te surpreendem
A vida é um mistério
E com ela a gente aprende”*

(O Rouxinol e a Cotovia; Givaldo Souza)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela dádiva da vida e poder ter a graça de chegar onde cheguei, só Ele ver tudo, só Ele sabe de tudo que passei para concluir essa etapa em minha vida.

Aos meus pais, Pedro Paulo e Alexsandra, por terem me educado todos esses anos, e terem me proporcionado uma educação de qualidade nos mais belos princípios do ser humano. A minhas irmãs, Carolaine e Paola por serem pessoas de luzes em minha vida, estando presente em todos os momentos. Aos meus avós e toda minha família, por sempre transbordarem humildade em minha criação. Agradeço também a minha esposa Maria Neila, por ser uma parceira incrível e que me impulsionou adentrar nos meus objetivos.

Agradeço aos professores dos quais tive o imenso prazer de troca de experiências, que hoje os tenho como amigos e colegas de profissão. Aos meus caríssimos colegas, que se tornaram minha família, por termos vividos e passados por todas as situações juntos.

Agradeço aos colaboradores da instituição Faresi, pela acolhida de sempre. Especial o pessoal da higienização, por estarem sempre dispostos em nos receber como ambientes aptos ao convívio.

Ao professor da matéria de TCC, Rafael Reis Bacelar Anton, por ser esse ser humano incrível e nos deu maestria em ceder parte de seus conhecimentos comigo, muito obrigado mestre, você é luz.

Ao meu professor orientador e Engenheiro Civil, Vinicius Velanes Borges Giffoni Veloso, por sua orientação e disponibilidade para que este artigo fosse possível de sua realização.

E por fim, agradeço a minha coorientadora Camila Louzado d'El Rei Dantas, pela atenção de sempre e por servir de inspiração para discursão deste tema, sou muito grato por ter participado de sua docência, e será sempre lembrada em minha formação.

COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE SISAL COMO INOVAÇÃO TECNOLÓGICA NA REGIÃO SISALEIRA

Cosme Venancio Costa da Silva Cunha¹

Vinicius Velanes Borges Giffoni Veloso²

Camila Louzado d'El Rei Dantas³

RESUMO

A utilização das fibras vegetais como reforço nos compósitos cimentícios tem-se colocado como um produto de grande potencial para a construção civil, isto devido a suas boas propriedades físicas e mecânicas, capazes de melhorar alguns modelos estruturais. Entretanto, a sua ampla utilização ainda depende de tratamentos do material como forma de reduzir a sua elevada capacidade de absorção de água, e consequentemente sua melhora quanto a interação fibra-matriz, como forma de garantir a transmissão dos esforços. Muitas pesquisas, concentram-se hoje na busca por tratamentos químicos e térmicos que possibilitem a utilização em ampla escala dessas fibras. Diante disso, o presente trabalho visa demonstrar a aplicabilidade dos compósitos cimentícios reforçados com fibra de sisal, especialmente na região Sisaleira, apontando diante de referências de pesquisas encontradas as vantagens de sua utilização. Além disso, por ser esta região uma das maiores produtoras de fibras de sisal no Brasil, a sua utilização criará grande impacto devido a inserção de um novo mercado da inovação tecnológica no campo das engenharias.

PALAVRAS-CHAVE: fibras vegetais, compósitos cimentícios, aplicação, comportamento.

ABSTRACT

The use of vegetable fibers as reinforcement in cementitious composites has become a product of great potential for civil construction, due to its good physical and mechanical properties, capable of improving some structural models. However, its wide use still depends on material treatments as a way to reduce its high water absorption capacity, and consequently its improvement in fiber-matrix interaction, as a way to ensure the transmission of efforts. Much research is currently focused on the search for chemical and thermal treatments that enable the wide-scale use of these fibers. Therefore, the present work aims to demonstrate the applicability of cementitious composites reinforced with sisal fiber, especially in the Sisaleira region, pointing out the advantages of its use in the face of research references found. Furthermore, as this region is one of the largest producers of sisal fibers in Brazil, its use will create a great impact due to the insertion of a new market for technological innovation in the field of engineering.

KEY-WORDS: vegetable fibers, cementitious composites, application, behavior.

¹ Discente de Engenharia Civil.

² Orientador.

³ Coorientador.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento tecnológico na engenharia civil depende, em grande parte, dos avanços na área de materiais. Muitas das estruturas concebidas nos mais diversos campos da engenharia foram possíveis devido ao melhor aproveitamento das propriedades de materiais tradicionais, tais como aço, alumínio, cerâmica e concreto. No entanto, os materiais mais utilizados têm em sua aplicação limites que precisam de aperfeiçoamento para o desenvolvimento de novas funcionalidades, gerando em consequência dessas inovações os impactos ambientais provenientes das atividades industriais. Em que se refere Vanderley M. John (2017):

Não existe material de construção que não cause impacto ambiental. Cabe ao técnico selecionar para cada situação o material que permita cumprir a função requerida com o mínimo impacto ambiental e que, simultaneamente, garanta o desempenho técnico adequado, seja viável economicamente e satisfaça os requisitos estéticos.

A ideia de materiais compósitos não é nova. A natureza apresenta inúmeros exemplos em que a ideia dos compósitos está presente. A madeira, por exemplo, é um compósito fibroso constituído de uma matriz de lignina e pectina reforçada com fibras de celulose. Além dos compósitos naturais, o homem, desde a antiguidade, utiliza intuitivamente o conceito de materiais compósitos ao combinar, por exemplo, palha e barro. (CORREIA, 2011).

Os avanços dos materiais tradicionais e o surgimento de novos materiais, como os polímeros, por exemplo, ampliaram significativamente as possibilidades de desenvolvimento de materiais compósitos. Assim, surgiram os compósitos com matriz metálica ou matriz polimérica reforçados com fibras de vidro, carbono ou de aço. (LIMA, 2004).

Na engenharia civil, os compósitos mais empregados são aqueles a base de cimento utilizados sob a forma de concreto com fibras, de argamassa armada (ferrocimento) e de cimento amianto (fibrocimento). Apesar de conhecido há muito tempo, o concreto com fibra representa somente uma pequena porcentagem do concreto produzido no mundo. Já o ferrocimento e o fibrocimento ainda são produzidos essencialmente com fibras de aço e asbesto respectivamente, apesar da imensa disponibilidade de outras fibras para reforço.

(LIMA, 2004).

Porém, a utilização do asbesto provocou muitos danos à saúde causando várias doenças respiratórias e câncer em países ao redor do mundo fazendo com que países como França e Suíça proibissem a sua aplicação. Na Áustria, Alemanha e Espanha foram proibidas a fabricação e importação de produtos que contenha asbesto. Segundo Lima (2004), no Brasil somente o uso do amianto crisotila ainda é permitido por Lei, conforme o disposto na Lei nº9.055, de 1º de junho de 1995, regulamentada pelo Decreto nº 2.350, de 15 de outubro de 1997, que proibiu a produção, a industrialização, utilização e comercialização das fibras de amianto do tipo anfíbio de produtos que a contenham.

Entretanto, em 2017 o STF por uma recomendação da Organização Mundial de Saúde (OMS) e demais agências de saúde atuantes no Brasil e no mundo resolve proibir a extração, industrialização, comercialização e a distribuição do uso do amianto na variedade crisotila em todo o País, compreendendo a inconstitucionalidade do artigo 2º da Lei Federal 9.055/1995 que permitia o uso desse tipo de amianto. A OMS recomenda também medidas para evitar a exposição ao amianto onde está localizado e durante a remoção de resíduos com a substância. Para a Organização, a melhora do diagnóstico precoce, do tratamento e dos serviços de reabilitação para as doenças relacionadas, sem esquecer da implementação dos registros de pessoas afetadas pela fibra mineral, também são ações que devem ser perseguidas pelas autoridades de saúde. (MINISTÉRIO DA SAÚDE. INSTITUTO NACIONAL DO CÂNCER - INCA., 2017).

Nos últimos vinte e cinco anos os princípios relativos à utilização de fibras como reforço de matrizes frágeis (tais como pasta de cimento, argamassa e concreto) começaram a ser debatidos com frequência entre pesquisadores. Com a adição de fibras, a fissuração da matriz frágil é reduzida, uma vez que as fissuras são interligadas pelas mesmas, e como resultado há um aumento na tenacidade e na resistência à tração e ao impacto. A forma como essas propriedades vão ser modificadas vai depender do tipo de matriz, das propriedades físicas e geométricas das fibras e da interação entre a fibra e a matriz. (LIMA, 2004).

Vários produtos que empregam fibras naturais vegetais estão sendo desenvolvidos, principalmente para peças de acabamento interno de veículos, onde outras propriedades mecânicas, térmicas e acústicas são relevantes. Algumas fibras ocorrem espontaneamente na natureza e/ou são cultivadas como atividade agrícola. (PUKANSKY, B, 2005). O campo de emprego das fibras naturais é bastante amplo, abrangendo aplicações clássicas na indústria têxtil, o uso como reforço em matrizes poliméricas termoplásticas e termofixas e, mais recentemente, a utilização como materiais absorventes de metais pesados no tratamento de resíduos industriais, entre outras aplicações. (MARINELLI, BRANCIFORTI, et al., 2008)

O aperfeiçoamento dos estudos acerca das propriedades dos compósitos tende a melhorar o desempenho e abrir novos campos de aplicação. Para isso é preciso que, além do aperfeiçoamento do material em si, os métodos de análise e dimensionamento sejam adaptados ou mesmo desenvolvidos, permitindo a aplicação dos materiais compósitos de forma otimizada e segura. (LIMA, 2004).

Esse trabalho busca demonstrar a aplicabilidade dos compósitos de matriz de cimento reforçada com fibras vegetais, notadamente a fibra de sisal, como passo inovador na região sisaleira entendendo o comportamento dos compósitos, e associando suas propriedades mecânicas a modelos teóricos de análise e dimensionamento através de experimentos ao longo do processo de pesquisa e comprovação dos resultados.

2. JUSTIFICATIVA

O sisal (agave sisalana) não é um vegetal nativo do semiárido baiano, é originário da península de Yucatán, no México, e encontrou no semiárido as condições edafoclimáticas e socioeconômicas adequadas para tornar-se um produto comercial. (SANTOS e SILVA, 2010). A produção de sisal tem na região Sisaleira uma importância fundamental, em que neste trabalho é considerada uma das principais fontes para o projeto de pesquisa, e apontar a sua utilização na construção civil requer comprovar através de ensaios laboratoriais de campo como o seu manuseio contribui para as novas tecnologias na região Sisaleira.



Figura 1: Máquina Paraibana, utilizada na desfibrilação do sisal (Fonte: Próprio autor, 2021)



Figura 2: Agave Sisalana (Fonte: Próprio autor, 2021)

Atualmente, as fibras de sisal são utilizadas na produção de cordas e tapetes, não sendo empregada em uma outra cadeia de produção que ofereça uma alternativa de desenvolvimento tecnológico com a sua aplicação.

Entretanto, na construção civil, a utilização dos compósitos reforçados com fibras de sisal a exemplo daqueles à base de cimento utilizados sob a forma de concreto com fibras, de argamassa armada (ferrocimento) e de cimento amianto (fibrocimento), poderão apresentar grande importância técnica e econômica na região, associando as suas boas propriedades mecânicas, com a sua ampla disponibilidade, e conseqüentemente uma nova forma de enriquecer a economia local.

A fim de uma renovação tecnológica e se tratando de uma implantação para novos modelos de construção, no que se referem seguir as normas que controlam a qualidade desses produtos e aplicação, seguindo ABNT NBR 5641- (1977), NBR 6118NB-1 (1978), NBR 7215- (1979), NBR 16935 (2021).

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GERAL

Demonstrar a aplicabilidade dos compósitos cimentícios reforçados com fibra de sisal, especialmente na região Sisaleira.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Discutir os estudos sobre utilização de fibras de sisal como reforço de matrizes a base de cimento;

Apresentar a durabilidade das fibras de sisal e sua morfologia;

Determinar através de análise teórica o comportamento à flexão de vigas reforçadas com fibras de sisal.

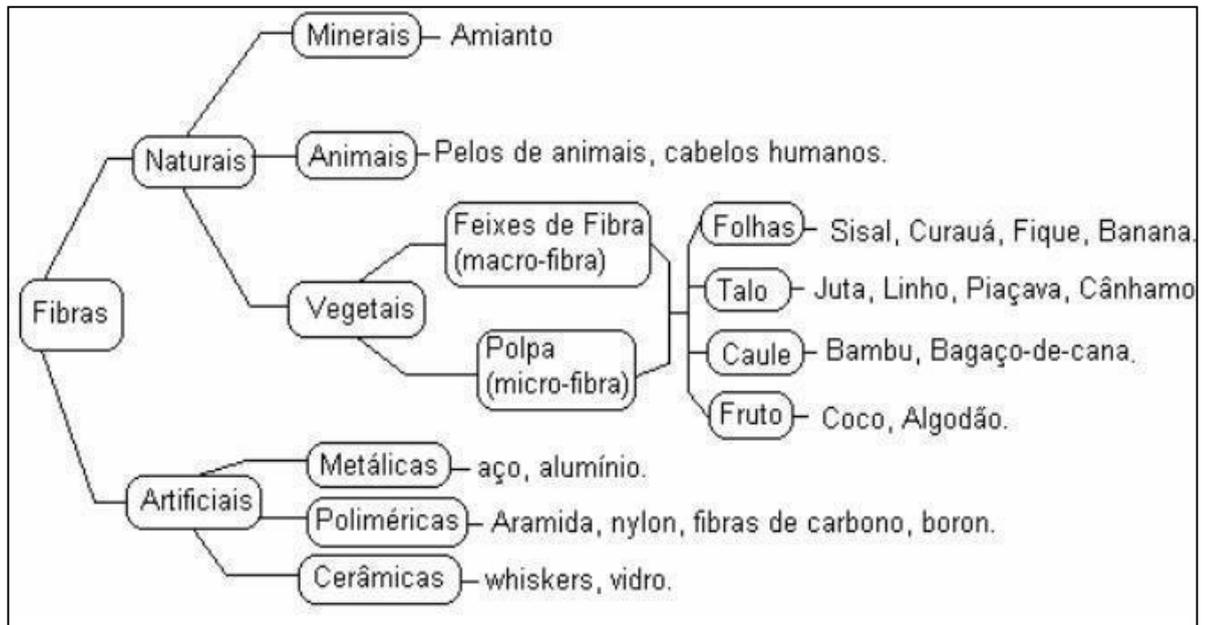
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. UTILIZAÇÃO DE FIBRAS VEGETAIS EM MATRIZES CIMENTÍCIAS

No Brasil, os primeiros estudos sobre a aplicação de fibras naturais no concreto foram desenvolvidos pelo Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, na Bahia, com a utilização de fibras de coco, sisal, bambu, piaçava e bagaço de cana-de-açúcar. Foram produzidas vigas e placas de concreto-fibra e fibrocimento, sendo detectado uma melhor performance da fibra de sisal em comparação com as demais fibras (CEPED, 1982). Desses resultados, foi possível a produção de telhas e pias, na tentativa de embora tardia impedir o uso da fibra sintética o amianto. Com base em sua morfologia, as fibras podem ser classificadas como mostra a Figura 3.

A importância dos compósitos na engenharia deve-se ao fato de se poder alcançar um material com características superiores às convencionais, numa estratégia de produção de materiais avançados por introdução de outros componentes (TESSARO; POLLNOW et al, 2004). Devido às restrições do uso do amianto e conseqüentemente do modelo das matrizes à base de cimento serem facilmente desmoldadas, iniciaram as pesquisas em busca de novas composições que pudessem servir como adições constituído de fibras vegetais sintéticas que substituíssem as propriedades de suportar os limites de cargas exigidos por normas.

Figura 3: Classificação das fibras



(Fonte: PIKANÇO, 2005).

As fibras vegetais, além de biodegradáveis, possuem baixo custo de produção e podem ser utilizadas localmente na produção de fibrocimento, favorecendo a construção de infraestrutura de países em desenvolvimento. O estudo da durabilidade do fibrocimento produzido com fibras vegetais é fundamental para a implementação industrial, utilização em larga escala e aumento da competitividade comercial desse produto (LIMA; TOLEDO FILHO, 2007). No contexto da região do sisal acomodam-se num vasto território com grande facilidade de tais implantações, porém ainda não iniciadas, uma vez que o clima do semiárido nordestino o qual se localiza, facilita a produção em grande escala não somente do sisal, mas do coqueiro, licurizeiro, e variados vegetais que produzem fibras e são descartados na caatinga.

A partir da experiência do CEPED, vários outros centros iniciaram seus estudos sobre o aproveitamento dos materiais vegetais na confecção de acessórios para automóveis como o curauá cujo nome científico é *Neoglaziovia variegata*, pertence à família Bromeliaceae. (SALES et al, 2014), assim como na área da construção civil, como bambu (GHAVAMI, 1989), fibras de sisal e coco (TOLEDO FILHO et al, 1990), fibras e resíduos vegetais (AGOPYAN, 1991; SAVASTANO et al, 1997).

As pesquisas iniciadas pelo CEPED desencadearam uma procura maior

pele campo de pesquisa, à procura da disponibilidade das fibras vegetais e suas características. Agopyan (1991) realizou um amplo estudo sobre as fibras vegetais disponíveis no Brasil e a possibilidade do seu emprego na construção civil, destacando como importante a quantificação de sua disponibilidade e distribuição geográfica. A avaliação das características físicas, custos, durabilidade e possibilidade de cultivo no Brasil, definiu as mais adequadas ao uso como reforço de matrizes cimentícias, em comparação a outras fibras já utilizadas, como as de amianto e as de polipropileno. (CALDAS, 2002). O Quadro 1 apresenta o resumo do levantamento realizado sobre alguns resíduos potencialmente úteis ao emprego como reforço de matrizes cimentícias (SAVASTANO Jr., 2000).

Quadro 1: Resíduos oriundos do processamento de fibras ligno-celulósicas

Fibra	Produto principal	Resíduo				
		Denominação	Aproveitamento para outro fim	Valor mercado US\$/ton	Quadde (t/ano) - abrangência	Relação (%)
Malva	Fibra bruta limpa	Fibra tipo 4	Tecelagem e fiação com baixo rendimento	340	1180 Brasil	20
Coco	Fibras longas e médias	Fibras curtas (1 - 3 cm)	Parcial: filtros, mantas tapetes e substrato agrícola	270	3000 Brasil	40
Polpa de celulose eucalipto	Produção de papel	Rejeito	Papel de qualidade inferior	15	17000 Aracruz/ES	0,5
Sisal	Fibra verde antes da secagem	Bucha verde (já separada do bagaço)	Uso potencial para produção de celulose	Nulo	3000 Apaeb/BA	300
	Fios e cordas	Bucha branca (sem tratamento)	Produção de celulose (uso total)	180	25 Crispim	1,5
	Tapetes	Retalhos de fios (tiginmento a quente)	Uso potencial para produção de celulose	Nulo	54 Cosibra	6

Fonte: (SAVASTANO Jr., 2000.)

De acordo com as informações do Quadro 1 percebem-se parâmetros importantes para definição da viabilidade da reciclagem dos resíduos fibrosos, entre eles: quantidades de resíduos disponíveis, sua dispersão geográfica, as características das fibras e seu valor de mercado. Estes dados devem ser analisados em conjunto, permitindo uma avaliação sistêmica para cada caso (CALDAS, 2002).

Apesar dos avanços nas pesquisas, o desenvolvimento de produtos compósitos reforçados com fibras vegetais, como sisal e coco, ainda é incipiente, não sendo comercializado ainda, no Brasil, nenhum produto reforçado com as mesmas (LIMA, 2004). Muitas análises ainda estão em andamento, mesmo reconhecendo que se tratam de materiais de baixo custo, tendo a necessidade de conhecer os variados potenciais de suas propriedades como absorção de água, fazendo com que a utilização ainda não seja amplamente realizada.

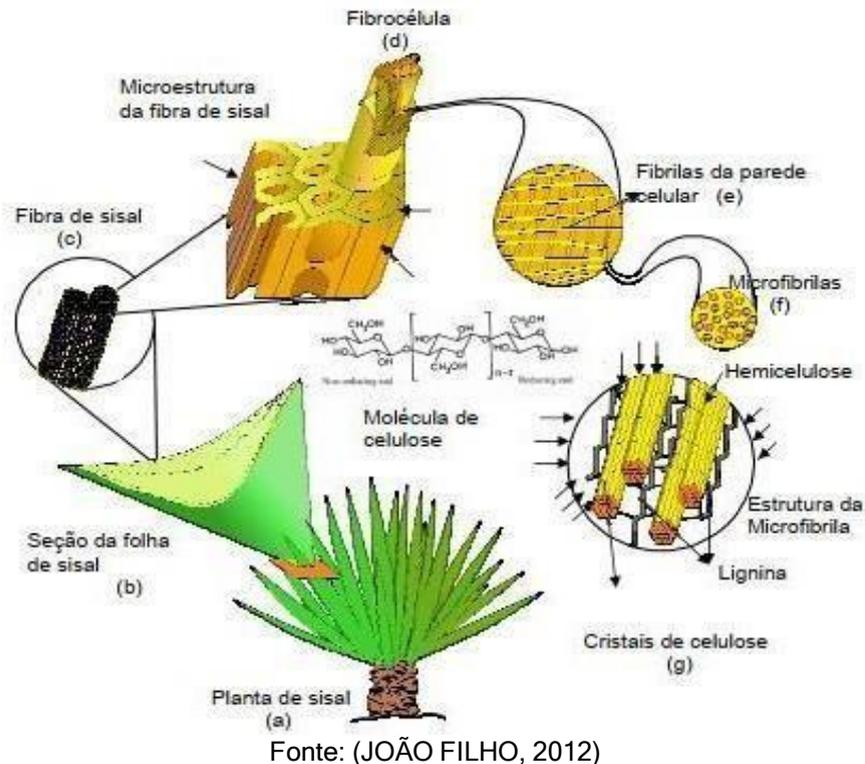
4.1.1 FIBRAS DE SISAL

A exploração do sisal no Brasil concentra-se no Nordeste, geralmente em áreas de pequenos produtores, cujas condições de clima e solo são pouco favoráveis à exploração de outros cultivos que ofereçam resultados econômicos satisfatórios. (JOÃO FILHO, 2012). As fibras de sisal são extraídas das folhas da planta de sisal (*agave sisalana*) e é cultivado por agricultores que desenvolvem a agricultura familiar, tanto por grandes produtores quanto por pequenos arrendatários.

A cadeia produtiva do sisal está subdividida em três etapas distintas. A primeira tem-se início no campo com o plantio, colheita e desfibramento de suas folhas em um processo rudimentar executado na propriedade com a utilização da máquina “paraibana”. A segunda, é a separação do refugo (a fibra embuchada e apodrecida) das fibras limpas, e em seguida pesadas para serem secadas em varais estendidos na própria propriedade pôr em média um dia ao ar livre. Na terceira etapa ocorre o transporte das fibras para depósitos de bateadeiras, ocorrendo outro processo manual em que consiste em transformar a fibra em fios que posteriormente serão industrializados e comercializados como cordas e materiais afins.

Na Figura 4, um desenho esquemático mostra desde a escala macro até a escala micro da estrutura da fibra de sisal. Cada planta de sisal produz cerca de 200 folhas e cada folha produz em média 1000 fibras. Quando uma seção transversal de uma única fibra de sisal é examinada ao microscópio (MEV), a estrutura da fibrocélula, esquematizada na Figura 4, é vista claramente. (SILVA E BELTRÃO, 1999, SILVA, 2009).

Figura 4: Estrutura da fibrocélula



Na figura acima se observam, (a) Planta de sisal; (b) secção transversal da folha de sisal; (c) fibra de sisal; (d) Fibrocélula; (e) fibrilas da parede celular; (f) microfibrilas e (g) cristais de celulose.

A folha de sisal é uma estrutura sanduíche que contém aproximadamente 700- 1400 fibras com comprimento variando de 0,5 a 1,0 m (OKSMAN et al, 2002). Cada fibra contém ainda numerosas fibrocélulas individuais com cerca de 1-8 mm de comprimento e 6-10 μm de diâmetro. Cada fibrocélula individual é formada por quatro partes, chamadas parede primária, parede secundária espessa, parede terciária e lúmen. As fibrocélulas são mantidas unidas por meio da lamela média, que consiste de hemicelulose e lignina. O lúmen varia em tamanho, mas é usualmente bem definido. Cada parede é formada por um conjunto de fibrilas unidas por lignina. Na parede primária a fibrila tem uma estrutura reticulada. Na parede secundária exterior a fibra é arranjada em espirais que formam um ângulo de 40° com a direção longitudinal da fibra. Na parede secundária interna, a fibrila tem um declive mais acentuado entre 18° e 25° (MWAMILLA, 1987). Fina e mais interna, a parede terciária tem uma estrutura fibrilar paralela e próxima ao lúmen. As fibrilas são, por sua vez,

constituídas de micro-fibrilas com espessura de cerca de 20 nm, compostas de cadeias de moléculas de celulose com espessura de 0,7 nm e comprimento de poucos nm. Essas cadeias são unidas por meio de hemicelulose (GRAM, 1983).

Nos últimos anos, em todo o mundo, tem crescido o interesse sobre o potencial de aplicação das fibras vegetais, como o sisal, como possível substituto da fibra de asbesto devido à sua disponibilidade, baixo custo, biodegradação e baixo consumo energético de produção quando comparado com as fibras manufaturadas (MOHR et al., 2006; ROMA et al., 2008; TOLEDO FILHO et al., 2000). Com a mão de-obra poucovalorizada, esses fatores são facilitados para que atinjam esses parâmetros ainda não projetados como engajamento tecnológico na região Sisaleira.

A utilização da fibra de sisal, é estratégica para o desenvolvimento nacional, uma vez que o Brasil é o principal produtor e exportador mundial dessa fibra. (SANTOS; SILVA 2017). A exportação de sisal chegou a representar, para o país, receitas superiores a 100 milhões de dólares (SILVA E BELTRÃO, 1999). Em destaque, o território do sisal aponta a cidade de Conceição do Coité como maior exportadora. (SANTOS; SILVA, 2017).

Figura 5: Campo de secagem das fibras.



Fonte: (SEAGRI - BAHIA, 2010)

A utilização das fibras de sisal como reforço de componente para construção deverá agregar valor ao produto além de garantir uma maior demanda para as fibras. Esse aumento de preço e de consumo propiciará ao produtor de sisal maiores condições de manter-se na região semiárida, evitando

o êxodo e a conseqüente desertificação da região (LIMA, 2004). Um novo modelo de políticas públicas já perpassa pelo sentido de oferecer o fortalecimento de uma economia sólida, afim de garantir aos colaboradores do campo uma valorização pelos seus serviços manuais para a devida extração do produto, desencadeando para além de ofertar a fibra para aplicação das novas tecnologias favorecendo o crescimento socioeconômico da região.

Além do aspecto socioeconômico, é de grande importância debater sobre o aspecto técnico. De acordo com Toledo Filho (1997), a adição de fibras vegetais reduza resistência à compressão da matriz e, de forma desprezível, o módulo de elasticidade. O que desperta um maior aprofundamento da aplicabilidade das fibras, principalmente para combater o corpo frágil do material cimentício, por ter baixa resistência a tração e flexão.

Akers e Studinka (1989), estudaram o efeito do grau de polimerização (GP) da celulose e sua influência na resistência da fibra e do compósito em que está inserida. As fibras foram submetidas ao ataque alcalino em elevadas temperaturas, o que resultou em um decréscimo considerável no GP da celulose. Em compósitos curados normalmente houve uma queda, após 05 (cinco) anos de envelhecimento, de 20% no GP; para os compósitos auto - clavados essa diminuição chegou a 35%.

Aluizio (2002) exemplifica que os resultados contrastam que com a tendência de aumento na resistência a tração na flexão e no módulo de elasticidade, que apresentaram um aumento com o passar da idade. Assim, os autores concluíram que o efeito enfraquecedor, esperado pela redução do GP, é aparentemente compensado por outros fatores, como a carbonatação e a densificação.

Estudos realizados por Toledo Filho (1997) mostram que a adição de fibras de sisal e coco às matrizes de argamassa de cimento reduziu a resistência à compressão das matrizes em cerca de 18% a 32%. A redução do módulo de elasticidade nos compósitos reforçados com fibras de sisal variou de 6% a 15%, enquanto nos com fibras de coco, a variação foi de 1,3% a 5% mas, em ambos os casos, não modificou, de forma significativa, o coeficiente de Poisson. Por outro lado, evitaram a propagação da primeira fissura aumentando a tenacidade

após sofrer as cargas de pico do material.

4.2. PROBLEMAS COM A UTILIZAÇÃO DE FIBRAS VEGETAIS

A utilização de fibras vegetais em matrizes cimentícias pode ser uma alternativa tecnológica sustentável, porém, ainda apresenta problemas relacionados com a compatibilidade química entre o cimento e a fibra. (MARQUES; LUZARDO et al, 2016).

Uma das grandes preocupações na aplicação das fibras de sisal é a durabilidade dos compósitos, visto que alguns produtos têm apresentado perda de resistência e rigidez com o tempo: placas fabricadas com matriz de cimento e reforçadas com fibras de sisal apresentaram fragilização e perda de ductilidade após seis meses de exposição em clima tropical (GRAM, 1983; BERHANE, 1994). Esses problemas de durabilidade estão associados com a deterioração e enfraquecimento da fibra causados por uma combinação de diversos fenômenos, como ataque alcalino da fibra, mineralização da fibra devido à migração de produtos de hidratação do cimento para seu interior, e variação volumétrica da fibra devido à alta absorção de água. (LIMA, 2004). Contudo, (SAVASTANO JR, 2000) exemplifica que a aderência da fibra-matriz é conseguida por meio do melhor desempenho da zona de transição, fazendo com que as duas faces (fibra e matriz) trabalhem em conjunto efetivamente, indicando que a melhor adesão se consegue pela redução da porosidade e pela menor concentração de portlandita (cristais de hidróxido de cálcio) nas proximidades da fibra.

Devido a alcalinidade da matriz cimentícia, as fibras naturais sofrem um processo denominado de mineralização. Este fenômeno acontece devido a migração do hidróxido de cálcio da matriz para o interior da fibra vegetal, provocando assim uma perda significativa de sua flexibilidade.

Esta elevada alcalinidade pode ser combatida através da modificação da composição da matriz a fim de reduzir ou eliminar os compostos alcalinos. Para isso são usadas adições pozolânicas como a microssílica, cinza volante, metacaulinita, resíduos cerâmicos e outros. Essas adições interagem com o hidróxido de cálcio existente na matriz, responsável por sua alcalinidade e formam o composto silicato de cálcio hidratado. Essas modificações é uma forma

eficaz para garantir a durabilidade dos concretos, mas a dosagem dos materiais de cimento deve ser cuidadosamente analisada a fim de obter um desempenho semelhante ou superior aos compósitos preparados apenas com cimento Portland comum. (DANTAS, 2019)

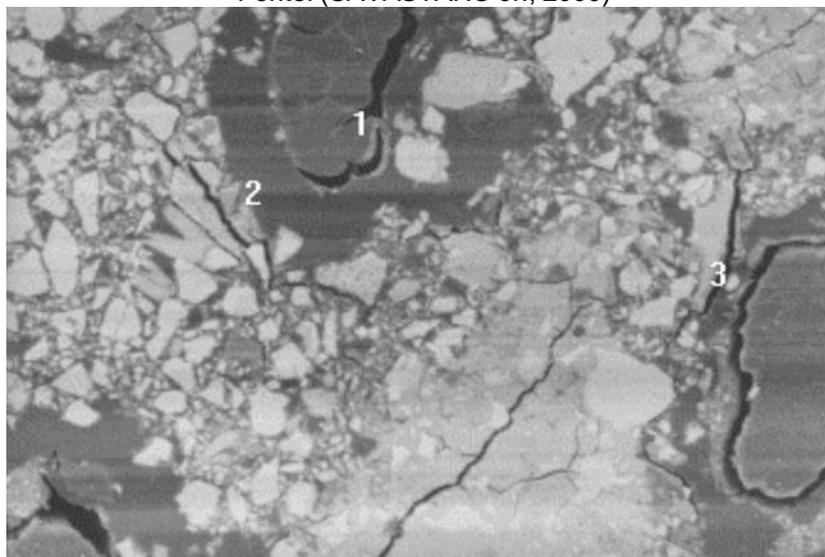
A eficiência do uso de pozolanas na redução da deterioração das fibras vegetais em compósitos à base de cimento, no entanto, é influenciada pelo tipo de pozolana e pela proporção de substituição em relação à massa de cimento (LIMA, 2017), visto que a composição química, a finura e a cristalinidade das pozolanas afetam sua reatividade com o hidróxido de cálcio. (LIMA; FILHO, et al., 2019).

Além de problemas relacionados a alcalinidade da matriz, temos as questões que envolvem a capacidade de absorção de água das fibras. Toledo Filho (1997) afirma que as fibras vegetais, por possuírem estrutura porosa, apresentam elevada capacidade de absorção de água e, conseqüentemente, sofrem inchamento quando umedecidas e retração quando submetidas a processos de secagem e tal comportamento provoca uma diminuição da aderência fibra/matriz.

As análises de correlações bivariadas apontam um favorecimento da compatibilidade dos compósitos com a diminuição dos valores de grau de inchamento, densidade pacote e massa específica. (MARQUES; LUZARDO et al, 2016). Para tais parâmetros, os tratamentos são utilizados de formas isolados, a depender do tipo de fibra a ser utilizada na massa cimentícia, pois cada uma apresenta suas características físicas diferentes.

A Figura 6 ilustra a imagem microscópica de elétrons retroespalhados de compósitos à base de cimento Portland comum com relação água/cimento igual a 0,38 e 7 dias de idade. A fibra de malva, de baixa densidade aparece na micrografia como uma região mais escura. Há nítido aumento da porosidade nas proximidades da fibra, e as fissuras tendem a atravessar a zona de transição. (SAVASTANO Jr., 2000)

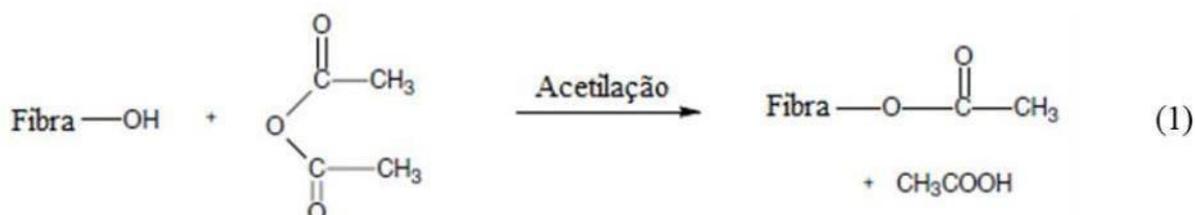
Figura 6: Imagem por elétrons retroespalhados.
Fonte: (SAVASTANO Jr., 2000)



Pode-se destacar na figura acima: 1 - fibra descolada da matriz; 2 - macrocristal de hidróxido de cálcio e 3 - microfissuras.

Uma forma de solucionar este é problema é através da modificação da superfície das fibras com tratamentos químicos ou térmicos para aumentar a reduzir sua capacidade de absorção de água e, conseqüentemente, aumentar sua estabilidade na matriz cimentícia. (IZQUIERDO, RAMALHO, 2014). Porém, os tratamentos químicos, apesar de eficientes tornam-se mais caro, e implicam na utilização de reagentes químicos de difícil descarte.

Como exemplo desses métodos químicos, o tratamento por acetilação consiste em um tratamento através da utilização de anidrido acético. Esse composto reage com as hidroxilas presentes nas paredes celulares, formando grupos acetilas, conforme equação 1, e fornecendo as fibras um caráter apolar, típico do composto formado (BESSADOK et al., 2007; LOPES et al., 2010).

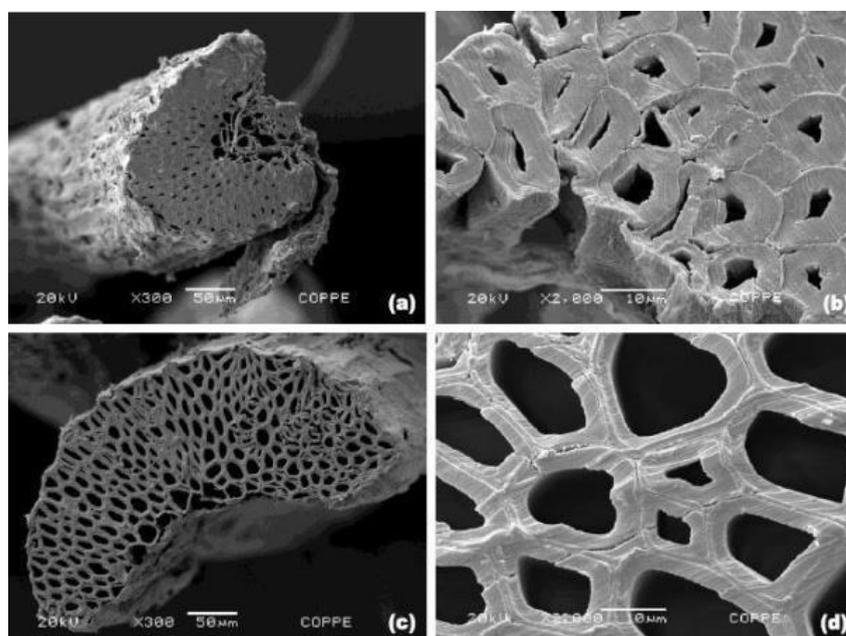


Outros processos de tratamentos mais acessíveis também podem ser adotados, em que nesse sentido consiste no ato de molhagem e secagem visando estabilizar o dimensionamento da fibra, que é o processo de hornificação. Os ciclos,

do processo, possibilitam a formação de pontes de hidrogênio entre fibrilas e microfibrilas criando ligações covalentes entre as moléculas de celulose, contribuindo para a remoção de teores de hemicelulose (meia celulose) que são polissacarídeos.

Independente do real mecanismo durante este tipo de tratamento, dentre os benefícios da realização deste processo, observa-se uma redução do lúmen e expansão das paredes celulares, como observado na Figura 7, que confere uma menor capacidade de inchamento das fibras (FERREIRA, 2012).

Figura 7: Seção transversal da fibra de sisal hornificada (a e b) e natural (c e d)



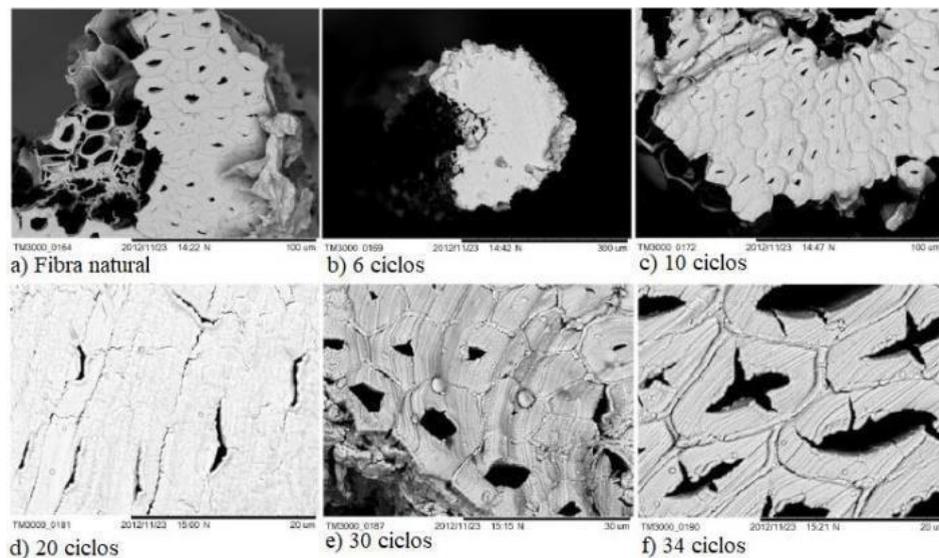
Fonte: (FERREIRA, 2012)

Entretanto, os benefícios deste tratamento dependem do número de ciclos realizados. Santos et al. (2015) observaram a redução dos lúmens entre 6 e 10 ciclos. Porém, a partir de 20 ciclos de molhagem e secagem ocorreu o aparecimento de fissuras entre as fibrocélulas, indicando a dissolução da lignina e danos à estrutura da fibra. Para 30 e 34 ciclos (Figura 8) os autores destacaram a reabertura dos lúmens, e propagação de fissuras em seu interior. O surgimento desses danos nas fibras interferiu diretamente em seu comportamento mecânico (DANTAS, 2019).

Para 6 e 10 ciclos, houve uma queda de até 3% da resistência à tração em comparação com a fibra natural. Contudo, quanto maior o número de ciclos, mais expressiva foi a redução da resistência à tração, o que é consistente com

os danos encontrados na análise morfológica das fibras. O mesmo desempenho foi observado durante ensaio de arrancamento, no qual as fibras tratadas com 6-10 ciclos apresentaram melhor desempenho que as tratadas por períodos acima desses. (DANTAS, 2019).

Figura 8: Efeito da hornificação em fibras de sisal após vários ciclos.



Fonte: (SANTOS et al., 2015)

4.3 VANTAGENS NA UTILIZAÇÃO DE FIBRAS DE SISAL NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na construção civil, compósitos de seção fina reforçados com fibras curtas são conhecidos desde o século XVIII, quando, na Áustria, Ludwing Hatschek produziu placas de cimento e asbesto com uma máquina de prensar papel modificada (GALE, 1994). O aperfeiçoamento desse processo de fabricação, denominado Hatschek, fez com que, a partir de sua produção em série, o cimento amianto (cimento + fibras de asbesto) se tornasse o principal produto laminado, utilizado na construção civil sob a forma de telhas, caixa d água, painéis e divisórias. (MELO FILHO, 2012).

Segundo os autores (SWAMY,1990; SAVASTANO Jr., 2000) a utilização de fibras vegetais em compósitos reforçados para a construção civil pode ser de grande interesse para os países em desenvolvimento e seria capaz de contribuir para o crescimento de suas infra-estruturas. Além das contribuições estruturais, têm-se levado em consideração os impactos ambientais e socioeconômicos da utilização das novas tecnologias com fibras vegetais.

Considerando-se os fatores que incidem diretamente na composição dos

custos dos materiais de construção (transporte, combustível e produção), os quais elevam consideravelmente o valor unitário da construção, a utilização de materiais alternativos produzidos por meio de resíduos disponíveis em grande quantidade e diversidade mostra-se uma alternativa econômica no mercado da construção. (IZQUIERDO, RAMALHO, 2014)

As fibras de sisal, apesar de apresentarem características que podem afetar o reforço de pastas de cimento Portland, apresentam outras favoráveis que interferem no bom desempenho do compósito. Esses fatores positivos poderão ser bem aproveitados com o desenvolvimento de técnicas de produção e de conservação dos compósitos fibrosos adequadas a essas fibras. (IZQUIERDO, 2011)

Para a região do Nordeste, outra vantagem a ser notada é uma boa disponibilidade da matéria prima juntamente com baixo custo para produção e conseqüentemente o manejo das fibras, além de atender aos esforços estruturais de resistência testados em laboratório.

Velasco (2008) observa que a partir do ensaio de compressão e do seu diagrama tensão x deformação é possível obter, além da resistência à compressão, outras propriedades necessárias ao dimensionamento estrutural, como deformação de pico, módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e tenacidade.

Figura 9: Teste de carga pontual em compósito reforçado com fibra de sisal.



Fonte: (LIMA, 2021)

Em testes de resistência a tração na flexão, Guimarães (1984) avaliou o comportamento mecânico de argamassas de cimento reforçadas com fibras de coco e sisal, considerando o comprimento da fibra, as relações água-cimento e

areia- cimento da matriz, a fração volumétrica das fibras no compósito e o processo de moldagem, observando que as fibras de sisal podiam aumentar a resistência à flexão e a ductilidade, enquanto as fibras de coco tinham menor peso específico e também garantiam uma ductilidade pós-fissuração.

Assim como na avaliação do comportamento à compressão e flexão, o comportamento à tração de compósitos reforçados com fibras é governado pela matriz até o surgimento da primeira fissura. Após a fissuração da matriz há uma transferência de carga da matriz para as fibras, permitindo o desenvolvimento de tensões e deformações maiores para o compósito (VELASCO, 2008).

A ABNT NBR 16935/2021, norma recém aprovada regulamenta que as fibras utilizadas como reforço estrutural melhoram o comportamento do concreto reforçado com fibras (CRF) no estado-limite último (ELU) e no Estado Limite de Serviço (ELS), podendo reforçar totalmente ou em conjunto com armadura passiva ou ativa. De forma abrangente, a norma regulariza todas as pesquisas e permite o uso fibras vegetais em projetos estruturais, seguida da norma NBR 6118.

Quadro 2: Características físicas e mecânicas das fibras vegetais, de celulose, amianto e polipropileno.

Fibras	Propriedades				
	Massa específica (Kg/m ³)	Absorção máxima (%)	Alongamento na ruptura (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Coco	1177	93,8	23,9 a 51,4	95 a 118	2,8
Sisal	1370	110	4,9 a 5,4	347 a 378	15,2
Malva	1409	182,2	5,2	160	17,4
Amianto	2200 a 2600	-	2	560 a 750	164
Polipropileno	913	-	22,3 a 26,0	250	2
Celulose	1609	643	-	700	10 a 40

Fonte: (AGOPYAN; SAVASTANO Jr. (1997); NOLASCO (1998) e SWAMY (1998)).

A compreensão do quadro acima permite concluir que, apesar da variabilidade nas características das fibras, seu uso como reforço pode melhorar as propriedades dos compósitos à base de cimento. (SILVA, 2002).

As fibras vegetais são fibras de baixo módulo de elasticidade e elevada resistência à tração. Seu emprego como reforço proporciona às matrizes cimentícia maior resistência ao impacto, causada por maior absorção de energia, possibilidade de trabalho no estágio pós fissurado e um aumento na capacidade de isolamento térmico-acústico (AGOPYAN; SAVASTANO Jr., 1997).

5. METODOLOGIA

Este artigo consiste em uma revisão bibliográfica baseada em levantamento de artigos científicos, livros e periódicos, normas ABNT NBRs das engenharias através de busca na internet e bases de dados Google Acadêmico, *Scielo*.

A princípio selecionou-se trabalhos publicados nas áreas de engenharia de materiais e estruturais, em foco de pesquisas relacionadas a matrizes cimentícias e compósitos reforçados com fibras vegetais. Utilizou-se as palavras-chaves como “fibras vegetais”, “compósitos cimentícios”, “aplicação” e “comportamento”. Tratando-se de um aprofundamento teórico de uma pesquisa qualitativa acerca da utilização da matéria prima do sisal (*agave sisalana*).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No âmbito das pesquisas laboratoriais os pesquisadores identificam os mesmos parâmetros físicos e mecânicos das fibras vegetais, o que correspondem um aglomerado fonte de informações referente as inovações tecnológicas com compósitos reforçados com fibras vegetais. No contexto do uso em escala ainda reduzida a norma NBR 16935/2021 regulamenta que o desempenho em serviço consiste na capacidade da estrutura de se manter em condições plenas de utilização durante sua vida útil, não podendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada.

Como mostra o Quadro 2, os levantamentos de dados fidedignos comprovam que de fato é possível constituir elementos construtivos afim de melhorar parâmetros almejados em pesquisa.

Segundo Bezerra (2014), é preciso investir no setor agrícola, aumentar

as áreas de plantio de fibras e ultrapassar barreiras comerciais que ainda existem em relação ao uso das mesmas. Santos (2006) apresenta dados das principais localizações de cultivos das fibras e seus respectivos nomes científicos (Quadro 3):

Quadro 3: Principais localizações de cultivos das fibras vegetais no Brasil e seus nomes científicos.

Fibra	Nome científico	Parte da planta	Centos Produtorres
Sisal	Agave sisalana	Folha	Semiárido da Bahia - BA e Paraíba - PB
Piaçava	Attalea	Bainha foliar	Região de Valença - BA
Coco	Cocos nucifera	Mesocarpo do fruto	Região de Recife - PE e Aracaju - SE
Algodão	Gossypiumherbaceum	Semente	Campina Grande - PB
Celulose de Eucalipto	Eucaliptusgrandis	Tronco	Aracruz - ES
Rami	Boemmiria nívea	Caule	Região de Londrina - PR
Banana	Musa cavendishii	Pseudocaule	Vale do Ribeira - SP
Malva	Urenalobata	Caule	Amazônia

Fonte: (SANTOS, 2006)

Nota-se que a região Nordeste domina a produção nacional de fibras vegetais. No Brasil, apenas 12 % dos grupos de pesquisa em engenharia de materiais realizam trabalhos com fibras vegetais e, deste total, menos de 3 % destes grupos estão no Nordeste (SILVA et al., 2009). Dentre estes do Nordeste, podendo destacar no interior do estado da Bahia, a Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS).

Por muitos anos de pesquisas, como abordado neste trabalho, as fibras vegetais se tornam objeto de pesquisa posteriormente preocupações ecológicas e os efeitos negativos da fibra sintética, além de serem um recurso renovável que exige pouca energia para seu processamento.

Gonçalves (2010) transcreve diversas vantagens e desvantagens oferecidas pelas fibras vegetais em relação às fibras sintéticas, como a busca pelo aproveitamento de recursos naturais renováveis de importância econômica

regional, objetivando-se a conscientização ecológica e os avanços em legislações relativas ao meio-ambiente, conforme apresentado no Quadro 4.

Quadro 4: Vantagens e desvantagens da utilização de fibras vegetais.

Vantagens	Desvantagens
Baixa massa específica	Baixa temperaturas de processamento
Maciez e abrasividade reduzida	Propriedades mecânicas acentuadamente variadas
Recicláveis, não tóxica e biodegradáveis	Forte influência com a época da colheita, tipo de solo, processamento após colheita
Estimula empregos	Sensibilidade significativa à variação de temperatura e de umidade
Baixo custo, baixo consumo de energia na produção.	Seções transversais da fibra variada e de geometria complexa e não uniforme.

Fonte:(GONÇALVES, 2010).

Segundo Bezzera (2014), as fibras celulósicas possuem características que tornam seu emprego vantajoso, como: baixo custo, diversidade, baixa densidade, resistência específica, não são abrasivas e, portanto, não desgastam os equipamentos de processo. Suas propriedades mecânicas são comparáveis às de outros reforços comumente empregados. As fibras vegetais são mais baratas que as fibras sintéticas e podem substituí-las em diversas aplicações onde o custo é fator mais importante do que a resistência (JOSEPH et al.,1999).

Ainda segundo Bezzera (2014) a utilização e pesquisas sobre materiais fibrosos e poliméricos tornam a área de estudo de compósitos crescente. A evolução da tecnologia permite o uso de plásticos reforçados com vantagens produtivas, econômicas e ecológicas. De acordo com Rowell et al. (1997) e Albuquerque Neto et al. (2007), as fibras vegetais mais utilizadas como material de reforço em compósitos poliméricos são as fibras de sisal, coco, juta e banana, além de fibras de madeira, bagaço de cana e bambu. (BEZERRA, 2014). O que facilita a implementação de uma produção com essa natureza de produtos na região Sisaleira, uma vez que viabiliza uma logística favorável, por ser grande exportadora de fibras de sisal.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante exposto pela pesquisa bibliográfica sobre o tema pode-se concluir que são cada vez mais as investigações que verificam os materiais alternativos para aplicações de novas tecnologias como um novo caminho para a sustentabilidade. É perceptível, que dentro do campo acadêmico e o setor industrial não existe integração, que poderiam facilitar a lançamento dessas matérias compostas por fibras vegetais no mercado, ficando subentendido a falta de disposição de ambas as partes.

As tecnologias pesquisadas, despontam um grande avanço para a nova era moderna, em que as utilizações desses insumos de baixo custo estimam uma valorização no mercado de modo geral. Para a regiões onde se encontram a grande parte da matéria prima, é evidente que sua acessibilidade gere bem mais impactos por se encontrarem a décadas numa classe demasiadamente entregue as migalhas da mão de obra barata.

Do ponto de partida dos estudos realizados em laboratórios, as propriedades morfológicas dos compósitos reforçados com fibras de sisal são de fundamental importância para aquisição de novos produtos na área de matérias de construção civil, adicionando uma nova derivação na cadeia de produção desses. Porém, uma nova jornada se inicia, afim de aprimorar as técnicas de tratamento das fibras vegetais, sendo este um dos principais desafios para conseguir neutralizar as manifestações patológicas e passar a produzir em grande escala.

REFERÊNCIAS

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 5641 Chapas estruturais de cimento amianto: determinação da resistência à flexão**, 1977

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 6118 (NB-1) Projeto e execução de obras de concreto armado - procedimento**, 1978

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 7215 Ensaio de cimento Portland**, 1979

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR**

Estruturas de concreto reforçado com fibra, 2021.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, **NBR 6023**

Informação e documentação – Referências – Elaboração, 2018.

BEZERRA, Ana Flávia Câmara. Desenvolvimento de compósito poliéster insaturado/fibras vegetais (caroá e coco). 2014.160 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2014. Disponível em:

<<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/233>>. Acesso em maio de 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde - Instituto Nacional de Câncer (INCA). **Em momento histórico, STF proíbe o uso do amianto crisotila em todo o País.** Disponível em: <<https://www.inca.gov.br/noticias/em-momento-historico-stf-proibe-o-uso-do-amianto-crisotila-em-todo-o-pais>>. Acesso em junho de 2021.

DANTAS, Camila L. D El Rei. **Tratamento hidrotérmico em fibras de sisal e sua influência no comportamento de compósitos cimentícios.** Tese de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2019. Disponível em: <http://www.ppgecea.uefs.br/arquivos/File/dissertacoes/2019/Camila_Louzado_Del_Rei_Dantas.pdf>. Acesso em maio de 2021.

FILHO, João de A. Melo. **Durabilidade química e térmica e comportamento mecânico de compósitos de alto desempenho reforçados com fibras de sisal.** Tese de doutorado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em:<http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/JoaoDeAlmeidaMeloFilho.pdf>. Acesso em maio de 2021.

Governo do Estado da Bahia - Secretaria da Agricultura, Pecuária, Irrigação, Pesca e Aquicultura. **Sisal baiano é certificado pela ISO e deve ganhar novos mercados em 2011.** Disponível em: <<http://www.seagri.ba.gov.br/noticias/2010/11/23/sisal-baiano-%C3%A9-certificado-pela-iso-e-deve-ganhar-novos-mercados-em-2011>>. Acesso em junho de 2021.

GUALBERTO, Suéllen Lopes. **Tratamento de fibras de sisal com lignosulfonato para aprimoramento das propriedades dos compósitos de fibrocimento.** Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em:<<http://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/30011/4/TratamentoFibrasSisal.pdf>>. Acesso em maio de 2021.

IZQUIERDO, Indara Soto. **Uso de fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural.** Tese de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, Departamento de estruturas, São Carlos, 2011. Disponível

em:<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde05042011164738/publico/2011ME_IndaraSotolzquierdo.pdf>. Acesso em maio de 2021.

IZQUIERDO, Indara Soto. RAMALHO, Marcio Antonio. **Aplicação de cinzas residuais e de fibra de sisal na produção de argamassas e concretos: Revisão.**

Ingeniería y Desarrollo [en línea]. 2014, 32 (2), 344-368. ISSN: 0122-3461. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85232596009>>. Acesso em maio de 2021.

JOHN, Vanderley M., et al. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. ed. G. C. Isaia. 3ªed. São Paulo, IBRACON, 2017. Volume2. Disponível em: <<http://ppgec.poli.usp.br/wp-content/uploads/sites/277/2017/05/VMJOHN-Materiais-e-o-meio-ambiente-2017-09-30-1.pdf>>. Acesso em junho de 2021.

LIMA, Paulo R. L. **Análise teórica e experimental de compósitos reforçados com fibras de sisal**. Tese (Doutorado em Ciência em Engenharia Civil) - Pós-Graduação

de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p.290. 2004. Disponível em: < [http://www.coc.ufrj.br/pt/component/docman/? task=doc_download&gid=753&Itemid=>](http://www.coc.ufrj.br/pt/component/docman/?task=doc_download&gid=753&Itemid=>). Acesso em outubro de 2020.

LIMA, Paulo Roberto Lopes; FILHO, Romildo Dias Toledo. **Uso de metacaulinita para incremento da durabilidade de compósitos à base de cimento reforçados com fibras de sisal.** Revista Ambiente Construído, Porto Alegre - RS, v. 8, n. 4, p. 7-19, out./dez. 2008.

LIMA, Paulo R. Lopes. FILHO, Romildo D. Toledo. NEUMANN, Reiner. BARROS, Joaquim A. Oliveira. **Efeito do envelhecimento acelerado sobre as propriedades de microconcreto reforçado com fibras longas de sisal.** Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ac/a/vDwHDP7SkvcQxq7dBJw6dCs/?lang=pt>>. Acesso em junho de 2021.

MARQUES, Maria L; LUZARDO, Francisco H. M; VELASCO, Fermin G; GONZÁLEZ, Luis Nieto; SILVA, Everton J; LIMA, Wellington G. **Compatibilidade de fibras vegetais com cimento Portland e sua relação com as propriedades físicas.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande - PB, vol. 20, nº. 5, p.1/1, maio, 2016. Disponível em:<https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662016010600001&script=sci_arttext_pr&lng=pt>. Acesso em novembro de 2020.

MARINELLI, Alessandra L. MONTEIRO, Marcos R. AMBRÓSIO, José D. BRANCIFORTI Márcia C. KOBAYASHI, Márcio. NOBRE, Antonio Donato. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica.** Disponível em:<<https://www.scielo.br/j/po/a/pKpnpz8VRnLhRtfPCdZd5Ds/?lang=pt>>. Acesso em junho de 2021.

SANTOS, Edinusia Moreira Carneiro; SILVA, Onildo Araujo . **Sisal na Bahia – Brasil.** Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-22012017000100228&lng=en&nrm=isso>. Acesso em outubro de 2020.

SAVASTANO Jr., H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibras vegetais: reciclagem de resíduos para construção de baixo custo.** Tese de doutorado. Departamento de Engenharia de Construção Civil/EPUSP, São Paulo, 2000. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-08102007-155734/publico//Holmer.pdf>>. Acesso em maio de 2021.

II SEMINARIO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA CIVIL, 2021, Moquegua, Perú: Universidad Nacional de Moquegua (UNAM), 2021. 1 *online*. Tema: Inovação Tecnológica em Elementos Construtivos Reforçados com Fibras Vegetais. Disponível em: <<https://www.facebook.com/epic.unam/videos/2750093415300700>>. Acesso em 12 de maio de 2021.

SILVA, Aluizio Caldas. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose.** Tese de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em:< <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-05112002-172710/publico/Aluizio.pdf>>. Acesso em maio de 2021.

TESSARO, Alessandra Buss; GONÇALVES, Margarete Regina Freitas; GATTO, Darci Alberto; POLLNOW, Edilson Nunes; CARREÑO, Neftali Lenin Villarreal; DELUCIS, Rafael de Ávila. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras de eucalipto puras e tratadas com tetraetilortossilicato (TEOS 98%).** Revista Ambiente Construído, Porto Alegre - RS, vol. 15, nº. 3, p. 1-11, outubro, 2015.

Disponível em: <<https://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=S167886212015000300047#aff1>>. Acesso em novembro de 2020.