

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS  
CURSO DE MESTRADO**

**CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS EM GERMOPLASMA DE  
ABACAXI PARA A FORMULAÇÃO DE COMPÓSITOS  
CIMENTÍCIOS**

**Julianna Matos da Silva**

**CRUZ DAS ALMAS-BAHIA  
2016**

# **CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS EM GERMOPLASMA DE ABACAXI PARA A FORMULAÇÃO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS**

**JULIANNA MATOS DA SILVA**

Licenciada em Biologia  
Universidade de Pernambuco (UPE), 2014

Dissertação submetida ao Colegiado de Curso do Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia e Embrapa Mandioca e Fruticultura, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Recursos Genéticos Vegetais.

**Orientadora: Dra. Claudia Fortes Ferreira**

**Coorientadora: Dra. Fernanda Vidigal Duarte Souza**

**Coorientador: Dr. Paulo Roberto Lopes Lima**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA  
MESTRADO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS  
CRUZ DAS ALMAS, BAHIA, 2016

## FICHA CATALOGRÁFICA

S586 Silva, Julianna Matos da.

Caracterização de fibras em germoplasma de abacaxi para a  
formulação de compósitos cimentícios / Julianna Matos da Silva. – Cruz  
das Almas, BA, 2016.  
97f. il.; 30 cm.

Orientadora: Dra. Cláudia Fortes Ferreira  
Coorientador: Prof. Dra. Fernanda Vidigal Duarte Souza.  
Coorientador: Dr. Paulo Roberto Lopes Lima.

Dissertação (Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais)-  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2016.

1. Abacaxi. 2. Fibra vegetal. I. Ferreira, Cláudia Fortes. II. Souza,  
Fernanda Vidigal Duarte. II. Lima, Paulo Roberto Lopes. III. Universidade  
Federal do Recôncavo da Bahia IV. Título.

CDD: 634.774

**COMISSÃO ORGANIZADORA**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS**

**COMISSÃO EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE  
JULIANNA MATOS DA SILVA**

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Cláudia Fortes Ferreira  
Embrapa Mandioca e Fruticultura  
(Orientadora)

---

Dr. Rogério Mercês Ferreira Santos  
Universidade Estadual de Feira de Santana  
(Examinador Externo)

---

Dr. Ricardo Fernandes Carvalho  
Universidade Federal da Bahia  
(Examinador Externo)

Dissertação homologada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em Recursos Genéticos Vegetais em....., conferindo o Grau de Mestre em Recursos Genéticos Vegetais em .....

## **DEDICATÓRIA**

A minha família e amigos por todo apoio e carinho que me proporcionaram durante todo esse tempo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse, por ter me dado coragem, sabedoria e fé para superar todos os desafios que encontrei ao longo dessa jornada.

Aos meus pais, Francisco e Marluvia, que estiveram sempre ao meu lado, me apoiando e me ensinando a agir com dignidade, honestidade e respeito, o apoio de vocês foi fundamental para eu chegar até aqui, o meu muito obrigada, amo vocês.

Aos meus irmãos, Danillo e Lucas, em especial a Danillo, que me fez perceber que quando a gente quer tudo é possível. Obrigada por todo incentivo e apoio, essa conquista é nossa!

Aos meus tios, tias, primos, primas, avô e amigos, que estiveram sempre prontos para o que eu precisasse me dando todo apoio.

Ao meu namorado Jair II que sempre me incentivou e acreditou em mim até mesmo quando eu achava que não seria capaz. Obrigada por todo apoio, carinho, amor e atenção.

A minha orientadora Dra. Cláudia Fortes, obrigada pela sua orientação, por todos os conhecimentos transmitidos e por estar sempre disposta a ajudar.

A minha co-orientadora Dra. Fernanda Vidigal, por toda atenção, paciência e disponibilidade em me ajudar no que eu precisei.

Ao meu co-orientador Dr. Paulo Roberto, por toda orientação e paciência em me ensinar a realizar cada etapa desse trabalho.

Aos meus colegas do Mestrado, por todas as experiências trocadas, em especial a minhas amigas Lory, Mara e Alda, obrigada pela amizade de cada uma, vocês são muito especiais.

Aos amigos do grupo 'Chora Rita'; foram muitos momentos de descontração.

Ao Núcleo de Biologia Avançada (NBA) no qual encontrei uma família. Nunca trabalhei em um laboratório tão unido e cheio de gente de bom coração. Vocês foram essenciais, agradeço a cada um e em especial a Kátia Pestana que foi uma mãe, pegou na minha mão e me ensinou tudo (porque eu não sabia nada rrsrs), obrigada por toda paciência e amizade, serei eternamente grata a você. Aos técnicos Vandeson (com sua alegria contagiante) e Seu Raimundo (com suas piadas que me faziam rir). À analista Andressa por toda atenção, cuidado e amizade.

Ao Dr. Everton Hilo, por está sempre disposto a ajudar, obrigada por toda paciência (que é muita), amizade e dedicação, você é uma pessoa iluminada.

Aos amigos que fiz na UEFS, em especial a Mirna, por toda ajuda, paciência e mais importante ainda, pela sua amizade. Ao professor Adilson, que me ajudou bastante a entender o mecanismo desse trabalho. À minha amiga Flaviane, por todo apoio, amizade e caronas.

Às minhas parceiras Josélia e Jucieny, as quais eu convivi nos últimos meses e que me faziam rir o tempo inteiro. Obrigada pela amizade de cada uma, foram bons momentos.

À UFRJ, UFBA e UEFS pela disponibilidade dos laboratórios para realização de alguns ensaios.

Ao Programa de Pós Graduação em Recursos Genéticos Vegetais da UFRB, pela oportunidade de me tornar mestre e por todos os ensinamentos que foram transmitidos pelos professores.

À Embrapa Mandioca e Fruticultura pela disponibilidade dos laboratórios para realização desse trabalho.

À Capes/Embrapa pela concessão da bolsa.

Enfim, a todos que direta e indiretamente contribuíram para que eu chegasse até aqui, o meu muito obrigada!

## EPÍGRAFE

"Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá."

Ayrton Senna

## CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS EM GERMOPLASMA DE ABACAXI PARA A FORMULAÇÃO DE COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS

**Resumo:** Com o avanço da indústria, a busca por materiais causadores de um menor impacto ambiental tornou-se de grande importância, com o intuito de diminuir o acúmulo de resíduos gerados no meio ambiente. As folhas do abacaxizeiro possuem fibras ricas em hemicelulose, baixa densidade e menor custo de produção, por isso vem se tornando uma alternativa viável para o uso como reforço em materiais compósitos. No presente estudo foi utilizado a fibra vegetal proveniente das folhas do abacaxizeiro de onze variedades pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG) da Embrapa Mandioca e Fruticultura. O objetivo geral deste trabalho foi analisar as propriedades físicas, químicas, mecânicas e morfológicas das fibras, avaliar o seu uso como reforço em compósitos com matriz de cimento e a variabilidade genética a partir do uso de marcadores moleculares ISSR. Foram realizadas análises de raio-X, microscopia eletrônica de varredura, ensaio de tração direta, absorção de água e variação dimensional. Os resultados indicam que os valores para resistência à tração, módulo de elasticidade e índice de cristalinidade variaram de 224 a 480 MPa, 8 a 18 GPa e 61 a 67%, respectivamente, indicando que possuem propriedades mecânicas aceitáveis para uso em compósitos. Os compósitos reforçados com o genótipo FIB-POT apresentou melhor comportamento pós-fissuração. A possibilidade de associação de 131 bandas provenientes de 16 marcadores ISSR com características de qualidade de fibra foi investigada por meio de testes não paramétricos - correlação de Spearman e Kruskal-Wallis. O estudo de diversidade genética por meio dos marcadores moleculares e pelas variáveis quantitativas, demonstraram a existência de variabilidade. Foram selecionadas 11 bandas a partir das suas altas correlações, que variaram de -0,64578\* a 0,72457\*\*, com três variáveis para a qualidade da fibra, possibilitando a seleção de bandas promissoras. Dessas, duas bandas foram purificadas, sequenciadas e blastadas (*no hit*) contra sequências depositadas no genbank do NCBI (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) e posteriormente serão validadas com possibilidade de uso na seleção assistida por marcadores moleculares no melhoramento genético do abacaxizeiro para qualidade de fibra.

**Palavras Chaves:** *Ananas sp.*, fibra, associação não-paramétrica, compósitos cimentícios

## CHARACTERIZATION OF FIBERS IN PINEAPPLE GERMPLASM FOR FORMULATION OF CEMENT COMPOSITES

**ABSTRACT:** The construction industry is increasing rapidly and the search for environmentally friendly composites becomes a main focus aiming to decrease the accumulation of residues generated by the environment. Pineapple leaf fibers are rich in hemicellulose, have low density with cheaper production costs, making them a viable alternative for use as reinforcement of composites. The present study used plant fiber from pineapple leaves from eleven varieties belonging to the pineapple collection at Embrapa Cassava and Fruits. The objective of this work was to analyze the physical, chemical, mechanical and morphological properties of the fibers as well as to evaluate its use as reinforcements of composites in cement matrices and genetic variability using ISSR markers. X-ray analysis, scanning electronic microscopy, direct traction assay, water absorption and dimensional variation, were carried out. Results show that values for traction resistance, elasticity module and cristality index varied from 224 to 480 MPa, 8 to 18 GPa and 40 to 65%, respectively, indicating that they have acceptable mechanical properties for use in composites. The composites reinforced with FIB-POT presented best post-fissure behavior. Also, the possibility of association of 131 bands from 16 ISSR markers with characteristics of fiber quality was also investigated using non-parametric tests – Spearman correlation and Kruskal- Wallis. Genetic diversity study using molecular markers and quantitative variables showed variability. Eleven bands were selected due to high correlation, which varied from - 0.64578\* to 0.72457\*\*, for three variables of fiber quality, enabling the identification of promising bands. Of these eleven bands, two were purified, sequenced and blasted (*no hit*) against the NCBI genbank (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>), and will be validated with possible use in the pineapple genetic breeding program for fiber quality.

**Key words:** *Ananas* sp., fiber, non-parametric association, cement composites

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> <b>POTENCIALIDADE DE USO DE FIBRAS DE ABACAXI COMO REFORÇO DE</b> <b>COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 2</b> <b>DIVERSIDADE GENÉTICA E ASSOCIAÇÃO DE MARCADORES ISSR PARA</b> <b>QUALIDADE DE FIBRA DE ABACAXI PARA USO NA CONSTRUÇÃO</b> <b>CIVIL.....</b>	<b>68</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>88</b>

## INTRODUÇÃO

### A cultura do abacaxi e a importância socioeconômica

O Abacaxi [*Ananas comosus* (L.) Merr] é uma das frutas mais consumidas no mundo e o seu cultivo tem apresentado grande importância socioeconômica devido à geração de emprego e renda (ARAÚJO et al., 2008; DANSO et al., 2008). O gênero *Ananas* pertence à ordem Bromeliales e à família Bromeliaceae, que se constitui de aproximadamente 58 gêneros e 3352 espécies (CABRAL et al., 2004; LUTHER, 2012).

O centro de origem do gênero *Ananas* compreende as regiões Sul, Sudeste e Centro-oeste do Brasil e Norte da Argentina e do Paraguai (COLLINS, 1960). No Brasil vegeta uma grande diversidade genética do gênero, que pode ser encontrado em muitas regiões do país, nas formas silvestres ou cultivado (LEAL; ANTONI, 1981; FERREIRA; CABRAL, 1993 SOUZA et al., 2012).

Segundo Coppens D'Eeckembrugge e Leal (2003), o gênero *Ananas* abriga duas espécies: *Ananas comosus*, que inclui cinco variedades botânicas (*A. comosus* var. *ananassoides*, *A. comosus* var. *bracteatus*, *A. comosus* var. *erectifolius*, *A. comosus* var. *paraguazensis* e *A. comosus* var. *comosus*) e *Ananas macrodentes*. Dentre os gêneros existentes na família bromeliaceae, o *Ananas* é considerado o de maior importância econômica, sendo utilizado na indústria e para consumo *in natura* (FAO, 2015).

Os países que se destacam na produção de abacaxi são: a Costa Rica (2,7 milhões de toneladas), Filipinas (2,4 milhões de toneladas), Tailândia (2,2 milhões de toneladas) e a Indonésia (1,8 milhões de toneladas) (FAOSTAT, 2015). O Brasil é o segundo maior produtor mundial apresentando uma produção média de aproximadamente 2,5 milhões de toneladas, sendo a fruta cultivada na maioria dos estados, com uma área plantada de 60,65 hectares em 2013 (FAO 2016).

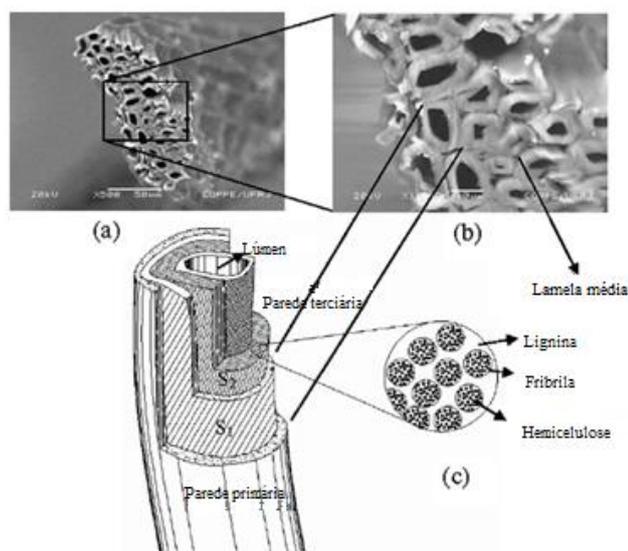
Atualmente, as principais cultivares de abacaxi exploradas são a Gold, 'Smooth Cayenne', Singapore Spanish, 'BRS Pérola', Queen, Española Roja e Perolera. No Brasil, a 'BRS Pérola' é responsável por 88% da produção nacional e por quase 100% da produção comercial no Nordeste e no Norte do País. Já a 'Smooth Cayenne', tem seus plantios concentrados no Sudeste, representando 12% da produção nacional (SANCHES; MATOS, 2013).

Além de serem utilizadas na alimentação, outras variedades de *A. comosus* apresentam outros potenciais, como a produção de fibras para indústria automotiva (LEÃO et al. 2009; SENA NETO et al. 2013; 2015), produção de papel (MARQUES et al. 2007), enzimas de ação proteolíticas, (MANETTI et al. 2009; HARVEY et al. 2000) uso ornamental (SOUZA et al., 2012; 2014), na alimentação animal (FAGUNDES; FAGUNDES, 2010; SANTOS et al., 2014), além da produção de fibras, para fabricação de material rústico como cordas e tecidos (ZAH et al., 2007; LEÃO et al., 2009; SENA NETO et al., 2013; 2015).

### **Fibras vegetais**

As fibras vegetais são constituídas basicamente de carboidratos (celulose e hemicelulose), lignina e outros componentes. A celulose é o principal componente estrutural das plantas. É um polissacarídeo linear de fórmula geral  $(C_6H_{10}O_5)_n$  e de alto peso molecular (MELO FILHO, 2012). A hemicelulose é responsável por promover a flexibilidade das plantas, é um polissacarídeo de baixa massa molecular e cadeias ramificadas, que atua como agente de ligação entre a celulose e a lignina nas paredes da planta. A lignina é um polímero de estrutura amorfa, com constituintes aromáticos e alifáticos e exerce a importante função de unir as fibras celulósicas para a formação da parede celular. Além disso, é responsável pela resistência mecânica dos vegetais que enrijece a parede celular e protege os carboidratos contra danos físicos e químicos (SILVA, 2010).

As fibras vegetais são conjuntos de filamentos formados por fibrilas que são unidas por componentes químicos, orgânicos e não cristalinos (SILVA, 2002). De acordo com Savastano Jr (2000), as fibras vegetais possuem células que são compostas por quatro camadas de microfibrilas, a camada primária (mais externa), a camada secundária (S1), a camada secundária (S2) e camada terciária (mais interna) (Figura 1).



**Figura 1** - Micro-célula da fibra: (a) corte transversal mostrando fibrocélula, lúmen e lamela média; (b) ampliação da seção transversal; (c) desenho esquemático das camadas da célula individual

Fonte: Silva et. al. (2009)

Na parte interna da célula encontra-se uma cavidade no centro com seção elíptica, denominada lúmen, que é responsável pelo grande volume de poros permeáveis nas fibras, resultando em uma alta absorção de água (SAVASTANO JR, 2000).

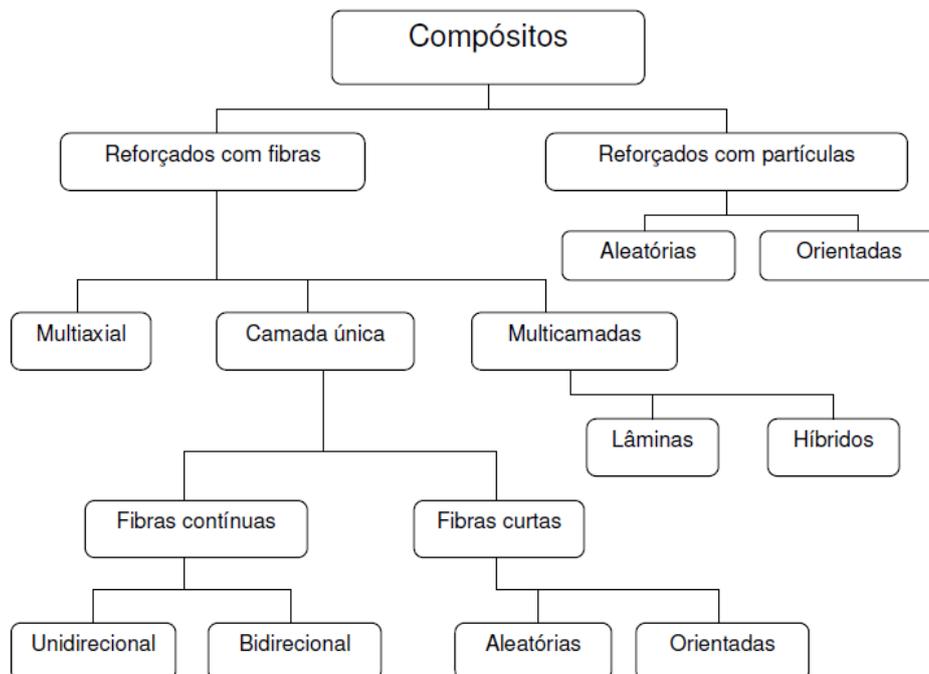
Atualmente tem crescido o interesse pela utilização de matérias de fontes renováveis e sustentáveis, devido principalmente, à busca pelo equilíbrio no uso dos recursos naturais. Com isso, tornou-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias com o intuito de produzir materiais com alto desempenho a partir de fontes renováveis (SOUZA, 2010).

As fibras naturais como de sisal, juta, coco, abacaxi, soja e banana, vem sendo estudadas como reforço e enchimento em compósitos (ZHU et al., 2013, ROMANZINI et al. 2013, CAO et al. 2006, LIU et al. 2005, MISHRA et al. 2004, MOHANTY et al.,2000). Na Índia, as fibras das folhas do abacaxizeiro são utilizadas para fabricação de fios e tecidos para aplicação têxtil em produtos de artesanatos. Nas Filipinas, utilizadas em forros para esteiras, camisas, bermudas, bolsas, capachos, cobertor, material isolante acústico e térmico (MUKHERJEE; SATYANAYRANA, 1986).

Dentre as fibras vegetais utilizadas, a fibra do curauá, um abacaxi (*Ananas comosus var. erectifolius*), vem se destacando por suas qualidades e já vem sendo usada na indústria. No entanto, de acordo com Aquino (2006) na maioria das regiões que cultivam essa planta, é aproveitado somente o fruto e as folhas do abacaxizeiro são descartadas. Estudos têm demonstrado que as folhas do abacaxizeiro possuem resistência mecânica superior à das fibras de sisal, juta e linho (LEÃO et al., 2000; SANTOS et al., 2009; SENA NETO et al., 2013; 2015) despertando o interesse de produtores nacionais e internacionais (OLIVEIRA et.al., 2008).

## Materiais Compósitos

Os materiais compósitos são formados a partir da combinação entre dois ou mais materiais de modo a formar um novo produto, possuindo características diferentes de seus constituintes originais (VENTURA, 2009). Os compósitos são produzidos através da mistura física de uma fase dispersa (partículas, fibras ou mantas) em uma fase contínua, que é denominada matriz (SHELDON, 1982; BODIG; JAYNE, 1993; HULL; CLYNE 1996). Levy Neto e Pardini (2006) propõem uma classificação dos compósitos de acordo com o esquema apresentado na Figura 2.



**Figura 2 - Classificação dos compósitos**

Fonte: Levy Neto e Pardini (2006)

De acordo com Gibson (1994), para a obtenção de um compósito bem projetado, busca-se que as cargas mecânicas, a qual a estrutura está submetida no serviço, sejam suportadas pelo reforço. As propriedades de um compósito dependem da matriz, do reforço e da interface (camada limite entre os dois). Além disso, é necessário analisar qual tipo de matriz será usado (metálica, cerâmica ou polimérica), o tipo de reforço (fibras ou partículas), as proporções relativas, a geometria do reforço, método de cura e a natureza da interface. É de grande importância o controle destas variáveis, a fim de se produzir um material otimizado para as circunstâncias a qual será submetido.

A maioria dos compósitos são desenvolvidos com o intuito de melhorar as suas propriedades mecânicas, como a rigidez, resistência e tenacidade (CALLISTER, 2007). Nos últimos 20 anos vem sendo pesquisado o uso de fibras naturais para reforço em matrizes poliméricas e cimentícias (DEFOIRD et al., 2010). Por serem biodegradáveis, possuem excelentes propriedades mecânicas, baixa densidade, baixo consumo de energia e serem ambientalmente favoráveis, essas fibras têm despertado o interesse da comunidade científica e seu uso tem sido foco de estudos (SILVA et al., 2012; ALI et al., 2013; RAMLI et al., 2013; YAN; CHOUW, 2013; AZAMBUJA et al., 2014; SILVA et al., 2014; WEI; MEYER, 2014 e LECOMPTE et al., 2015).

### **Compósitos cimentícios reforçados com fibras vegetais**

Na antiguidade, já era uma prática diária a utilização de fibras com a finalidade de reforçar matrizes frágeis, como a aplicação de capim ou palha utilizados como reforços em tijolos de barro (BENTUR; MINDESS, 2007 BALAGURU; SHAH, 1992). O uso de fibras vegetais utilizada como reforço em matrizes cimentícias iniciou de forma sistemática em 1970 na Inglaterra (SAVASTANO; AGOPYAN, 1998). Na década de 80, contribuições importantes foram dadas para o estudo de fibras vegetais aplicadas a elementos construtivos no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Bahia (GUIMARÃES, 1980). No entanto, somente após a identificação dos mecanismos de interação química entre fibra vegetal e matriz de cimento, foi possível a produção de um material compósito durável (GRAM, 1983; TOLEDO FILHO et al, 2000).

Atualmente, o desenvolvimento de novas tecnologias na construção civil que contribuam para um menor impacto ambiental, apresentem baixo custo, menor consumo de energia e promovam a substituição das fibras sintéticas, são de grande importância. Há alguns anos, produtos que continham fibras de amianto foram proibidos em vários países. A constatação de que essa fibra prejudica a saúde e causava câncer de pulmão em diversos trabalhadores, foi determinante para a busca de um material que a substituísse. Tôledo Filho (1997) ressalta que a utilização das fibras vegetais torna-se cada vez mais necessário e de acordo com Marinelli et al., (2008) são alternativas com potencial econômico para a fixação de carbono na natureza, reduzindo assim, a emissão de CO<sub>2</sub> durante as suas etapas de produção, processamento e utilização.

Embora as fibras apresentem uma baixa durabilidade em meio alcalino, como a da matriz cimentícia, quando é utilizada uma mistura adequada e considerando as propriedades mecânicas das fibras, é possível o desenvolvimento de um material com propriedades viáveis para a construção civil (AGOPYAN et al., 2005). As fibras oferecem um sistema denso de micro-fissuras que substituem as fissuras longas, proporcionando mais segurança e durabilidade ao concreto (ROSA, 2010, BRANDT et al. 2008) e melhorando as propriedades mecânicas, principalmente em relação à resistência ao impacto (MAGALHÃES, 2007).

Melhorar a durabilidade de compósitos reforçados com fibras naturais ainda é um desafio. A presença de substâncias nas fibras, como carboidratos, celulose e a hemicelulose, interferem diretamente na pega do cimento. Além disso, o ataque alcalino às fibras, que surge a partir da hidratação do cimento, e a fragilização por mineralização da fibra, onde proporcionam uma alta absorção de água, dificultam a aderência fibra-matriz (SALES, 2006). Em razão da sua capacidade de absorção de água, são observadas variações dimensionais após a secagem, podendo prejudicar a interação fibra-matriz e reduzir a ductilidade e resistência pós-pico do material (SAVASTANO Jr., 2000 e TOLEDO FILHO, 2009).

Tratamentos superficiais químicos e físicos das fibras vêm sendo estudados para solucionar problemas relacionados à interação interface fibra/matriz. Destaca-se o processo de hornificação (tratamento físico), que resulta em ciclos de molhagem e secagem das fibras, promovendo o enrijecimento da fibra vegetal e a redução da sua absorção (CLARAMUNT et al., 2010; FERREIRA, 2012). Quanto aos tratamentos químicos, tem se utilizado a aplicação de substâncias que

bloqueiam e repelem a água na superfície ou no interior das fibras vegetais (GONZALEZ et. al., 1999 ; FRANCO; GONZÁLEZ, 2005; SANTOS, 2015).

A literatura apresenta poucos estudos relacionados à aplicabilidade de fibras vegetais utilizadas como reforço em matrizes cimentícias, e que podem contribuir como uma alternativa que poderá ser prontamente utilizada pela indústria da construção civil, de forma sustentável e ambientalmente correta.

### **Melhoramento genético e caracterização molecular do abacaxizeiro**

No Brasil, os trabalhos de melhoramento genético do abacaxi começaram por volta de 1999, com programas do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Foram desenvolvidas novas variedades ('BRS Imperial', 'BRS Vitória', 'BRS Ajubá' e IAC Fantástico) e que possuem como grande vantagem, serem resistentes à fusariose, uma doença da cultura, que provocou perdas significativas na produção do abacaxi em todos os locais de plantio comercial no território nacional. Atualmente, o cultivo dessas cultivares melhoradas e das variedades mais tradicionais, como a 'BRS Pérola', está concentrado no Nordeste e Sudeste do País (SANCHES; MATOS, 2013). A Embrapa Mandioca e Fruticultura possui a maior e mais representativa coleção de abacaxi e espécies afins do mundo, com mais de 600 acessos do gênero *Ananas* e outras bromeliáceas (Souza et al. 2012).

A variabilidade genética conservada neste Banco de Germoplasma (BAG-Abacaxi) é um importante repositório de genes para o melhoramento genético da cultura, assim como para a prospecção de novos produtos e outros usos, além da alimentação. Dentre os trabalhos de prospecção que vêm sendo conduzidos, destaca-se o desenvolvimento de híbridos de valor ornamental (Souza *et al.*, 2012; 2014), assim como uma série de estudos voltados para a qualidade da fibra destes híbridos e de outros materiais conservados nesta coleção (Sena *et al.*, 2013; 2015). Esses estudos deixam evidente o grande potencial para a produção de diversos produtos, incluindo fibras para uso como reforço em compósitos biodegradáveis para a produção do plástico verde.

Os resultados evidenciam que a fibra dos abacaxizeiros avaliados possui qualidade diferenciada para ser usada como reforço em matrizes poliméricas (Sena et al., 2015). Por outro lado, considerando que o BAG-abacaxi possui mais de 600

acessos, a ampliação desse estudo poderia mostrar novas possibilidades no que se refere a fibras de qualidade. Entretanto, seria impossível aumentar esse espectro de avaliação por conta dos custos e do trabalho laborioso em relação às análises necessárias.

Em vista disso se faz necessário o uso de técnicas que possam auxiliar na seleção de prováveis acessos com fibras de qualidade. Novas técnicas da biologia molecular têm contribuído para o avanço nos programas de melhoramento genético. Dentre essas, destaca-se o uso dos marcadores moleculares, que detectam a variabilidade genética em nível da sequência de DNA, ou seja, determinam o polimorfismo genético (FERREIRA; GRATTAPAGLIA, 1998), que são variações no tamanho dos fragmentos de DNA e que quando comparados, pode-se fazer a distinção entre diferentes indivíduos (BORÉM, 2004).

Atualmente existem vários tipos de marcadores moleculares, cada um com suas vantagens e desvantagens, assim como sua utilização que depende de diversos fatores, entre eles: o objeto de estudo, a infraestrutura disponível, recursos financeiros, treinamento apropriado e o conhecimento prévio da espécie que será estudada (FALEIRO, 2007). Os métodos de análise podem ser baseados na técnica de PCR (*Reaction Chain Polymerase*), sequenciamento e hibridização (BORÉM; FRITSCHÉ-NETO, 2013). Os marcadores moleculares mais comuns que utilizam a técnica de PCR são: SSR (*Simple Sequence Repeats* ou microssatélites); ISSR (*Inter Simple Sequence Repeats*); AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphism*); RAPD (*Random Amplified Polymorphic DNA*) e SCAR (*Sequence Characterized Amplified Regions*). Além disso, esses marcadores não sofrem influência do meio ambiente e podem ser utilizado em qualquer estágio de desenvolvimento da planta (FERREIRA; GRATTAPAGLIA, 2008).

O marcador molecular ISSR (Sequências simples repetitivas internas) é baseado na amplificação de regiões entre sequências microssatélites adjacentes do DNA via PCR (Reação em Cadeia de Polimerase), tendo a vantagem de não exigir o sequenciamento prévio do genoma da espécie que será estudada, além de possuir um elevado grau de polimorfismo, reprodutibilidade, baixo custo, sendo amplamente utilizados em estudos de diversidade e variabilidade genética (GONZALÉZ et al., 2002; BARTH, 2002).

O método para o desenvolvimento do marcador molecular SCAR (Regiões Amplificadas Caracterizadas por Sequência), consiste no isolamento e

sequenciamento do fragmento de interesse. A partir do fragmento sequenciado, são desenhados primers específicos de 16 a 24 nucleotídeos complementares às extremidades dos fragmentos. Primers mais longos como esses, amplificam sequências únicas no genoma. Dessa forma, com a utilização dos referidos primers, espera-se a presença de uma única banda no gel (BORÉM; CAIXETA, 2009). O primeiro marcador convertido em SCAR foi o RAPD, e estes estavam ligados a genes de resistência a doenças em plantas de alface (*Lactuca sativa* L.) (PARAN; MICHELMORE, 1993). Em outro estudo realizado, marcadores ISSR também foram convertidos com sucesso em marcadores SCAR (SOUFREMANIEN; GOLAKRISHNA, 2006).

Uma importante aplicação dos marcadores moleculares, tem sido a seleção assistida por marcadores (SAM). Essa técnica se baseia na seleção indireta utilizando dados fenotípicos e moleculares para presença ou ausência de um fenótipo desejado, isso por meio da sequência de bandas do marcador molecular que esteja localizado em um gene ou próximo deste (KUMAR, 1999). A SAM tem auxiliado os melhoristas em diversas técnicas, como a introgressão de genes via programa de retrocruzamento, na piramidação de genes de interesse em uma única variedade e na seleção para características de interesse (ALZATE-MARIN et al., 2005; BORÉM; CAIXETA 2009). Esse método foi desenvolvido a partir da biologia molecular e veio facilitar outros procedimentos utilizados durante o processo de melhoramento (ALZATE-MARIN et al., 2005).

Assim, a possibilidade de usar SAM é promissora para permitir a seleção precoce de outros materiais com potencial para o uso de suas fibras. No caso do abacaxi, ainda existe outro trabalho em andamento que visa identificar marcas moleculares que possam selecionar abacaxis com fibras para uso como reforço em compósitos poliméricos voltados para a indústria de injeção de peças (dados não apresentados).

Em vista disso, o objetivo do presente trabalho é caracterizar as fibras de variedades cultivadas e híbridos ornamentais considerando as propriedades de interesse para a formulação de compósitos cimentícios, assim como caracterizar molecularmente essas variedades com vistas a ter subsídios para a seleção assistida no germoplasma de abacaxi voltada para identificação precoce de acessos a serem usados na fabricação de compósitos para uso industrial.

## REFERÊNCIAS

- AGOPYAN, V.; SAVASTANO JUNIOR, H.; JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. **Developments on vegetable fibre-cement based materials in São Paulo, Brazil: an overview.** *Cement & Concrete Composites* 27 (2005) 527-536.
- ALI, M.; LI, X.; CHOUW, N. Experimental investigations on bond strength between coconut fibre and concrete. **Materials and Design**, v. 44, p. 596-605, 2013.
- ALZATE-MARIN, A.L.; CERVIGNI, G.D.L.; MOREIRA, M.A.; BARROS, E.G. Seleção assistida por marcadores moleculares visando ao desenvolvimento de plantas resistentes a doenças, com ênfase em feijoeiro e soja. **Fitopatologia Brasileira**, v.30, p.333-342, 2005.
- AQUINO, M. S. de. Desenvolvimento de uma desfibradeira para obtenção da fibra da folha do abacaxi. 2006. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN.
- ARAÚJO, R. F.; SIQUEIRA, D. L.; CECON, P. R. Multiplicação *in vitro* do abacaxizeiro ‘SmoothCayenne’ utilizando benzilaminopurina (BAP) e ácido naftalenoacético (ANA). **Revista Ceres**, v. 55, p. 455-460, 2008.
- AZAMBUJA, R. R.; LILGE, D. S.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R. Performance of two types of cement in production of Cement bonded wood panels combined with rice hull. **Floresta**, v. 44, n. 4, p. 715-724, 2014.
- BALAGURU, P. N., SHAH, S. P. 1992, **Fiber-Reinforced Cement Composites**, International Edition, 1992.
- BARTH, S. et al. Genetic diversity in *Arabidopsis thaliana* L. Heynh. Investigated by cleaved amplified polymorphic sequence (CAPS) and inter-simple sequence repeat (ISSR) markers. **Molecular Ecology**, v.11, p.495-505, jul. 2002.
- BENTUR, A., MINDESS, S., 2007, **Fibre reinforced cementitious composites** 2nd Edition, Modern Concrete Technology Series.
- BODIG J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of Wood and Wood Composites**. Krieger Pub Co, 1993.
- BORÉM, A.; CAXIETA, F. R. S. **Marcadores Moleculares**. 2.ed. UFV, 2009.
- BOREM, A.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Biotechnologia Aplicada ao Melhoramento de Plantas**. 1. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2013.
- BORÉM, A.; SANTOS, F. R. S. **Biotechnologia simplificada**. 2.ed. Viçosa:Suprema, 2004.
- BRANDT, AM (2008). Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering. **Composite Structures** 86: 3–9.

CABRAL, J. R. S.; CASTELLEN, M. D. S.; SOUZA, F. V. D.; DE MATOS, A. P.; FERREIRA, F. Banco ativo de germoplasma de abacaxi. Embrapa Mandioca e Fruticultura. **Documentos**, 2004.

CALLISTER, W. D. Jr. **Ciência e Engenharia de Materiais uma introdução**. Editora LTC, 2007.

CAO, Y, SHIBATA, S, FUKUMOTO, I. (2006) Mechanical properties of biodegradable composites reinforced with bagasse fibre before and after alkali treatments. **Composites: Part A** 37: 423-429.

CLARAMUNT, J., ARDANUY, M., GARCIA-HORTAL, J.A., “Effect of drying and rewetting cycles on the structure and physicochemical characteristics of softwood fibres for reinforcement of cementitious composites”, In: **Carbohydrate Polymers**, v. 79, 2010.

COLLINS, J. L. **The pineapple**. Botany, cultivation and utilization. New York, Interscience Publishers, 294 p. 1960.

COPPENS D'EECKENBRUGGE, G.; LEAL, F. Morphology, Anatomy and Taxonomy. In: BARTHOLOMEW, D. P.; PAULL, R. E.; ROHRBACH, K.G. (Eds.): **The Pineapple**: botany, production and uses. New York, CABI Publishing, p.13-32, 2003.

DANSO, K. E.; AYEYEH, K. O.; ODURO, V.; AMITEYE, S.; AMOATEY, H. M. Effect of 6-Benzylaminopurine and Naphthalene Acetic Acid on In Vitro Production of MD2 Pineapple Planting Materials. **World Applied Sciences Journal**, v. 3, p. 614-619, 2008

DEFOIRDT, N., BISWAS, S., VRIESE, L., TRAN, L.Q.N., ACKER, J.V., AHSAN, Q., GORBATIKH, L. VUURE, A.V., VERPOEST, I. Assessment of the tensile properties of coir, bamboo and jute fibre. **Composites: Part A**, v. 41, p. 588–595, 2010.

FAGUNDES, N. S.; FAGUNDES, N. S. Restos culturais do abacaxizeiro na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica Nutritime**, v, 7, n. 3, p. 1243-1247, 2010.

FALEIRO, F.G. **Marcadores genéticos moleculares aplicados a programas de conservação e uso de recursos genéticos**. Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2007. 102 p.

**FAO- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITES NATIONS** FAO. Database (2015). United States: FAO/FAOSTAT.

FERREIRA, F. R.; CABRAL, J. R. S. Pineapple germplasm in Brazil. **Acta Horticulturae** v. 334, p. 23-26, 1993.

FERREIRA, M. E.; GRATTAPAGLIA, D. Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética. 3.ed. Brasília: Embrapa Cenargen, (**Documentos**, 20), 220 p. 2008.

FERREIRA, M.E.; GRATTAPAGLIA, D (1998). Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética. 2. ed. Brasília: **EMBRAPA – CENARGEN**, p. 220.

FERREIRA, S. R. **Influência da hornificação na aderência fibra-matriz e no comportamento mecânico de compósitos cimentícios reforçados com fibras de sisal**. 2012, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – UEFS/DTEC/ Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Feira de Santana, Ba.

FRANCO P.J.H., GONZÁLEZ A. V., **A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites**, Composites Part B: Engineering, Volume 36, Issue 8, Pages 597-608, ISSN 1359-8368, December 2005.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) Database, United States: Database. [United States: **FAO/FAOSTAT**, Disponível em: <[http://faostat,fao,org](http://faostat.fao.org)>, Acesso em: 12 Jun 2015.

GIBSON R. F., 1994, **Principles of Composite Material Mechanics**. 1 ed. New York, Mc Graw Hill.

GONZÁLEZ, A.; COULSON, M.; BRETTELL, R. Development of DNA markers (ISSRs) in mango. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 575, p. 139- 143, 2002.

GONZÁLEZ A. V., CERVANTES J.M., OLAYO R. FRANCO P.J.H., **Effect of fiber surface treatment on the fiber–matrix bond strength of natural fiber reinforced composites**, Composites Part B: Engineering, Volume 30, Issue 3, Pages 309-320, ISSN 1359-8368, April 1999.

GUIMARÃES, S. S. Vegetable fiber-cement composites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON VEGETABLE PLANTS AND THEIR FIBRES AS BUILDING MATERIALS, 2., Salvador, 1990. Proceedings... London, Chapman and Hall, 1990. p. 98-107. (Rilem Proceedings, 7)

GRAM, H. E. **Durability of natural fibres in concrete**. Stockholm, Swedish Cement and Concrete Research Institute, 1983.

HARVEY, A. Strategies for discovering drugs from previously unexplored natural products. *Drug Discovery Today*, London, v. 5, p. 294-300, 2000.

HULL, D. CLYNE, T. W. **An Introduction to Composite Materials**. 2nd ed. Cambridge, 1996.

LEAL, F.; ANTONI, M.G. Espécies del género *Ananas*: origem y distribución geográfica. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v. 29, p. 5-12, 1981.

LEÃO, A. L.; CARASCHI, J. C.; TAN, I. H. Curauá fiber- A tropical natural fiber from Amazon - potential and applications in composites. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A. L.; MATTOSO, L. H. C. (Ed.). **Natural polymers and agrofibers composites**, Embrapa Instrumentação Agropecuária: São Carlos, p. 257-272, 2000.

LEÃO, A. L.; MACHADO, I. S.; SOUZA, S. F.; SORIANO, L. Production of curaua fibers for industrial applications: characterization and micropropagation. **Acta Horticulturae**, João Pessoa, v. 822, p. 227-238, 2009.

LECOMPTE, T.; PERROT, A.; SUBRIANTO, A.; LE DUGOU, A.; AUSIAS, G. A novel pull-out device used to study the influence of pressure during processing of cement-based material reinforced with coir. **Construction and Building Materials**, vol. 78, p. 224-233, 2015.

LEVY, F.N., PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. São Paulo: E. Blucher, 2006. Xv, 313 p.

LIU, W, MISRA, M, ASKELAND, P, DRZAL, LT, MOHANTY, AK (2005) Green composites from soy based plastic and pineapple leaf fiber: fabrication and properties evaluation. **Polymer** 46: 2710–2721.

LUTHER. H. E. An alphabetical list of Bromeliad binomials. 13. ed. Sarasota, FL: The Marie Selby Botanical Gardens; **The Bromeliad Society International**, 2012.

KUMAR, L.S. DNA markers in plant improvement: an overview. **Biotechnology Advances**, Amsterdam, v.17, p.143-182, 1999.

MAGALHÃES, A. C. T. V. Estudo de fibras vegetais, mucilagem de cacto e gesso e componentes construtivos. Brasília, 2007, 123p. **Dissertação** (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília (UnB).

MANETTI, L. M.; DELAPORTE, R. H.; LAVERDE JUNIOR, A. Metabólitos secundários da família Bromeliaceae. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n.7, p.1885-1897, 2009.

MARINELLI, A. L.; MONTEIRO, M. R.; AMBRÓSIO, J. D.; BRANCIFORTI, M.C.; KABAYASHI, M.; NOBRE, A.D. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade Amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, 18 (2), pp.92-99, 2008.

MARQUES, G.; GUTIÉRREZ, A.; DEL RIO, J. C. Chemical Characterization of Lignin and Lipophilic Fractions from Leaf Fibers of Curaua (*Ananas erectifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 55, n. 4, p. 1327-1336, 2007.

MELO FILHO, J. A. “Durabilidade química e térmica e comportamento mecânico de Compósitos de alto desempenho reforçados com fibras de sisal”. **Tese de Doutorado**, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2012.

MISHRA, S, MOHANTY, AK, DRZAL, LT, MISRA, M, HINRICHSEN, G. (2004) A Review on Pineapple Leaf Fibers, Sisal Fibers and Their Biocomposites. **Macromol. Mater. Eng.** 289, 955–974.

MOHANTY AK, KHAN MA, HINRICHSEN G. (2000) Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics-polyester amide composite. **Composites: Part A** 31:143–50.

MUKHERJEE, P. S.; SATYANARAYANA, K. G. **Structure and properties of some vegetable fibres. Part 2 Pineapple fibre (Anannus Comosus)**. Journal of Materials Science, 21 (1986), 51-56.

OLIVEIRA, E. C. P.; LAMEIRA, O. A.; SOUSA, F. I. B.; SILVA, R. J. F. Estrutura foliar de curauá em diferentes intensidades de radiação fotossinteticamente ativa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 2, p. 163-169, 2008.

PARAN, I.; MICHELMORE, R. W. Development of reliable PCR-based markers linked to downy mildew resistance genes in lettuce. **Theoretical and Applied Genetics**, New York, v. 85, n. 8, p. 985-993, 1993.

RAMLI, M.; KWAN, W. H.; ABAS, N. F. Strength and durability of coconut-fiber-reinforced concrete in aggressive environments. **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 554-566, 2013.

ROMANZINI, D, LAVORATTI, A, ORNAGHI JR., HL, AMICO, SC, ZATERRA, AJ. (2013) Influence of fiber content on the mechanical and dynamic mechanical properties of glass/ramie polymer composites. **Materials and Design** 4: 9–15

ROSA, P.H.C. **Compósitos Poliméricos**. Arquivado no curso de Engenharia. Universidade Federal do Espírito Santos, São Mateus, 2010.

SALES, A.T.C. **Retração, fluência e fraturas em compósitos cimentícios reforçados com polpa de bambu**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – PUC – Rio, 2006.

SANCHES, N. F.; MATOS, A. P. Abacaxi: o produtor pergunta, a Embrapa responde. **Coleção 500 perguntas, 500 respostas**. 2. ed.. Brasília, DF: Embrapa, 2013 196 p.il.

SANTOS, P.A., SPINACÉ, M. A. S., FERMOSELLI, K. G., PAOLI, M.A. Efeito da Forma de Processamento e do Tratamento da Fibra de Curauá nas Propriedades de Compósitos com Poliamida-6. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 19, nº 1, p. 31-39, 2009.

SANTOS, R. J. Aderência fibra-matriz e comportamento mecânico de compósitos reforçados com resíduos de sisal. **Dissertação de Mestrado** – Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2013.

SANTOS, S. C.; FERNANDES, J. J. R.; CARVALHO, E. R.; GOUVEA, V. N.; LIMA, M. M.; DIAS, M. J. Utilização da silagem de restos culturais do abacaxizeiro em substituição à silagem de cana-de-açúcar na alimentação de ovinos. **Ciência Animal Brasileira**, v.15, n. 4, p. 400-408, 2014.

SANTOS, H.M.C. Tratamento da fibra de sisal com polímeros de fontes renováveis para uso em compósitos à base de cimento. **Dissertação de Mestrado** - Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2015.

SAVASTANO JR., H.; AGOPYAN, V. Fibras Naturais para Produção de Componentes Construtivos. In: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE TELHADOS PARA HABITAÇÃO, 3., São Paulo, 1998. Anais... São Paulo, Cyted/USP, 1998. p. 11-27.

SAVASTANO JR, H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: Reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. 2000. Tese (Livre Docência) – Departamento de Engenharia de Construção Civil – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.

SENA NETO, Alfredo R. ; Araujo, Marco A.M. ; BARBOZA, RAIZA M.P. ; FONSECA, ALESSANDRA S. ; TONOLI, GUSTAVO H.D. ; Souza, Fernanda V.D. ; Mattoso, Luiz H.C. ; Marconcini, Jose M. . Comparative study of 12 pineapple leaf fiber varieties for use as mechanical reinforcement in polymer composites. **Industrial Crops and Products**, v. 64, p. 68-78, 2015.

SENA NETO, A. R.; ARAUJO, M. A.; SOUZA, F. V.; MATTOSO, L. H.; MARCONCINI, J. M. Characterization and comparative evaluation of termal, structural, chemical, mechanical and morphological properties of six pineapple leaf fiber varieties for use in composites. **Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 529-537, 2013.

SHELDON, R.P., **Composite Polymeric Materials**, ed.1, Applied Sci. Pub., England, 1982.

SILVA, A. C., “Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose”. **Dissertação de mestrado**. Departamento de Engenharia de Construção Civil/EPUSP. São Paulo, 2002.

SILVA, F. A.; MOBASHER, B.; TOLEDO FILHO, R. D. Cracking mechanisms in durable sisal fiber reinforced cement composites. **Cement & Concrete Composites** **31 (2009) 721–730**

SILVA, A. G. CARDOSO DA, Biodeterioração Da Fibra De Sisal Em Compósitos À Base De Cimento, **Dissertação** – Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2010.

SILVA, E. J.; MARQUES, M. L.; FORNARI JUNIOR, C. Aplicação de fibra de coco em matrizes cimentícias. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1555-1561, 2012.

SILVA, E. J.; SILVA, P. D.; MARQUES, M. L.; FORNARI JUNIOR, C. C. M.; VELASCO, F. G.; LUZARDO, F. M. Resistência à compressão da argamassa em função da adição de fibra de coco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12, p. 1268-1273, 2014.

SOUFRAMANIEN, J.; GOPALAKRISHNA, T. ISSR and SCAR markers linked to the Mungbean yellow mosaic virus (MYMV) resistance gene in blackgram [*Vigna mungo* (L.) Hepper]. **Plant Breeding**, Berlin, v. 125, p. 619-622, 2006.

SOUZA, E. H.; SOUZA, F. V. D.; COSTA, M. A. P.; COSTA JUNIOR, D. S.; SANTOS-SEREJO, J. A.; AMORIM, E. P.; LEDO, C. A. S. Genetic variation of the *Ananas* genus with ornamental potential. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 59, p. 1357-1476, 2012.

SOUZA, S. F. Obtenção de nanofibras de curauá e aplicação como reforço em compósitos baseados em PVA. **Dissertação** (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010.

TOLEDO FILHO, R. D., **Natural fibre reinforced mortar composites: experimental characterization**. D.Sc., DECPUC-Rio/DEC, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997.

TOLEDO FILHO, R.D., SILVA, F.A., FAIRBAIRN, E.M.R., MELO FILHO, J.A., **“Durability of Compression Molded Sisal Fiber Reinforced Mortar”** Construction & Building Materials – v. 10, p. 721 -730, 2009.

VENTURA, A. M. F. M. Os Compósitos e a sua aplicação na reabilitação de estruturas metálicas. **Ciência & Tecnologia dos Materiais**. v 21, n° 3/4, 2009.

WEI, J. MEYER, C. Degradation rate of natural fiber in cement composites exposed to various accelerated aging environment conditions. **Corrosion Science**, v. 88, p. 118- 132, 2014.

YAN, L.; CHOUW, N. A comparative study of steel reinforced concrete and flax fibre reinforced polymer tube confined coconut fibre reinforced concrete beams. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, v. 32, p. 1155- 1164, 2013.

ZAH, R.; HISCHIER, R.; LEÃO, A. L.; BRAUN, I. Curauá fibers in the automobile industry – a sustainability assessment. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 15, p. 1032-1040, 2007.

ZHU, J, ZHU, H, NJUGUNA, J, ABHYANKAR, H. (2013) Recent Development of Flax Fibres and Their Reinforced Composites Based on Different Polymeric Matrices. **Materials**, 6, 5171-5198.

## **CAPÍTULO 1**

### **CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS EM VARIEDADES CULTIVADAS E NOVOS HÍBRIDOS DE ABACAXI PARA USO COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS**

---

<sup>1</sup>Artigo a ser ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico científico Cement and Concrete Composites.

# **Caracterização de fibras em variedades cultivadas e novos híbridos de abacaxizeiros para uso como reforço em compósitos cimentícios**

**Autora:** Julianna Matos da Silva

**Orientadora:** Cláudia Fortes Ferreira

**Coorientadora:** Fernanda Vidigal Duarte Souza

**Coorientador:** Paulo Roberto Lopes Lima

**Resumo:** As fibras vegetais são encontradas em abundância na natureza e por serem resistentes, econômicas e ambientalmente favoráveis, tem despertado um grande interesse nos países em desenvolvimento para uso como reforço de materiais compósitos. No entanto, poucos estudos têm sido desenvolvidos para o aproveitamento da fibra de abacaxi como reforço de materiais à base de cimento, o que pode resultar em um material mais resistente e com maior tenacidade. O objetivo desse trabalho foi caracterizar as fibras obtidas de 11 variedades de abacaxi quanto as propriedades físicas, químicas, mecânicas e morfológicas, e avaliar o uso como reforço de compósitos com matriz de cimento. Foram realizadas análises de raio-X, microscopia eletrônica de varredura e ensaio de tração direta em todas as fibras. Após a análise da absorção de água e variação dimensional das fibras imersas em águas ao longo do tempo, 6 variedades de fibras foram selecionadas para serem utilizadas como reforço de argmassas de cimento. Os resultados indicam que os valores para resistência a tração, módulo de elasticidade e índice de cristalinidade variaram de 224 a 480 MPa, 8 a 18 GPa e 61 a 67%, respectivamente, indicando que possuem propriedades mecânicas aceitáveis para uso em compósitos. A aplicabilidade das fibras como reforço em compósitos cimentícios para utilização na construção civil foi avaliada através da produção de compósitos à base de cimento reforçados com 1,5% de fibras curtas ou 1,5% de fibras longas. Os compósitos reforçados com o genótipo FIB-POT apresentaram melhor comportamento pós-fissuração, com ganho de resistência ao se usar fibras longas, entre as variedades estudadas.

**Palavras-chave:** *Ananas comosus* (L.) Merr., fibras lignocelulósicas, compósitos.

# **Characterization of fibers in cultivated varieties and new pineapple hybrids for use as reinforcement in cement composites**

**Autora:** Julianna Matos da Silva

**Orientadora:** Cláudia Fortes Ferreira

**Coorientadora:** Fernanda Vidigal Duarte Souza

**Coorientador:** Paulo Roberto Lopes Lima

## **ABSTRACT:**

Plant fibers are abundant in nature and since they are resistant, economic and environmental friendly have attracted great interest in developing countries for use as reinforcement of composite materials. However, few studies have been developed regarding use of pineapple fiber as reinforcement of materials having cement as their base, which results in a much more resistant and tenacious material. The objective of the present work was to characterize fibers from eleven pineapple species as to physical, chemical, mechanical and morphological properties and evaluate its use as reinforcement of composites with a cement matrix. X-ray analysis, electronic scanning microscopy and direct traction, were carried out for all fibers. After the analysis of water absorption and dimensional variation of the fibers immersed in water throughout a time period, six fibers were selected to be used as reinforcement in cement mortar. Results show that values for resistance to traction, module elasticity and crystallinity index varied from 224 to 480 MPa, 8 to 18 GPa and 40 to 65%, respectively, indicating they have acceptable mechanical properties for use in composites. The applicability of fibers as reinforcement of cement composites for use in constructions was evaluated by the production of composites having cement as base reinforced with 1,5% of short fibers or 1,5% of long fibers. The composites reinforced with FIB-POT presented best post-fissure behavior with gain in resistance in comparison to the use with long fibers for the varieties studied.

**Key-words:** *Ananas comosus* (L.) Merr., lignocellulosic fibers, composites.

## INTRODUÇÃO

A busca por recursos naturais renováveis, que causem menor impacto ambiental e sejam de custo reduzido e baixo consumo de energia, tornou-se de fundamental importância para a melhoria de problemas socioeconômicos e ecológicos do mundo moderno. Entre esses recursos, encontram-se as folhas do abacaxizeiro (*Ananas Comosus (L). Merrill*) que de acordo com Oliveira et al., (2004), quando são adequadamente exploradas e processadas, fornecem fibras vegetais longas que podem ser utilizadas no artesanato, na indústria têxtil, fabricação de papel e mesmo como reforço de materiais compósitos.

Neste contexto, a substituição das fibras sintéticas pelas vegetais para a produção de diferentes compósitos tem sido cada vez mais estudada (SAVASTANO JR, 2003). As fibras naturais como a de sisal, juta, coco, abacaxi, soja e banana, vêm sendo utilizadas como reforço e enchimento em compósitos (ZHU et al., 2013, ROMANZINI et al. 2013, CAO et al. 2006, LIU et al. 2005, MISHRA et al. 2004, MOHANTY et al.,2000).

Dentre as fibras vegetais, as de abacaxi têm sido foco de diversos estudos com vistas à caracterização de suas propriedades térmicas, químicas, mecânicas e morfológicas e sua aplicabilidade como reforço em compósitos (Leão et al., 2000; 2009; Sena et al.,2013). Os resultados deixam evidente a qualidade dessas fibras e seu potencial para uso como reforço em compósitos.

O curauá (*Ananas comosus var. erectifolius*), um abacaxi de origem amazônica, vem se destacando pela qualidade de sua fibra, que já é usada na indústria apresentando resistência mecânica superior à das fibras de sisal, juta e linho (LEÃO et al., 2000; SANTOS et al., 2009; SENA NETO et al., 2013; 2015).

Recentemente, o reforço com fibras vegetais em concreto vem se destacando na construção civil (Brandt et al. 2008, Aziz et al. 2005). Com a proibição do uso do amianto em vários países, devido à constatação de que essa fibra prejudicava a saúde e causava câncer de pulmão em diversos trabalhadores, iniciou-se a busca por um material que a substituísse. Em face dos excelentes resultados obtidos com a fibra de abacaxi para outros tipos de compósitos, é relevante que se avalie seu desempenho em compósitos cimentícios.

Em vista disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar o comportamento mecânico de fibras de diferentes variedades cultivadas de abacaxi e a sua

aplicabilidade como reforço em compósitos cimentícios para utilização na construção civil.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1.1 Material vegetal

O material utilizado foi selecionado por já existir um sistema de cultivo. Foram selecionadas 5 variedades cultivadas de abacaxi (1 a 5), um novo híbrido para alimentação (6), quatro híbridos ornamentais que possuem o curauá como um dos parentais (7 a 10) e o curauá (11) usado como referencial (controle para qualidade de fibra), oriundo do BAG-Abacaxi (Figura 1). As variedades cultivadas e os híbridos foram obtidos dos campos de cruzamento e de matrizeiros da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas - Bahia (Tabela 1).

**Tabela 1.** Genótipos de abacaxi utilizados nos estudos de qualidade da fibra para uso como reforço em compósitos cimentícios.

<b>Variedades</b>	<b>Nome Científico</b>
1. 'BRS Imperial'	<i>A. comosus var. comosus</i>
2. 'BRS Pérola'	<i>A. comosus var. comosus</i>
3. 'Smooth Cayenne'	<i>A. comosus var. comosus</i>
4. 'BRS Vitória'	<i>A. comosus var. comosus</i>
5. 'BRS Ajubá'	<i>A. comosus var. comosus</i>
6. PE x SC - 73	<i>A. comosus var. comosus</i>
7. 'BRS Anauê'	<i>A. comosus var. erectifolius x A. comosus var. Bracteatus</i>
8. FIB-POT	<i>A. comosus var. erectifolius x A. comosus var. Bracteatus</i>
9. 'BRS Boyrá'	<i>A. comosus var. ananassoides x A. comosus var. erectifolius</i>
10. FIB-GOR	<i>A. comosus var. erectifolius x A. comosus var. Bracteatus</i>
11. 'Curauá'	<i>Ananas comosus (L.) Merr. var. erectifolius (L.B.Sm.) Coppens &amp; F.Leal</i>



**Figura 1.** Variedades de abacaxi. (a) 'BRS Imperial' (b) FIB-POT (c) 'Smooth Cayene' (d) 'Curauá' (e) 'BRS Pérola' (f) 'BRS Vitória' (g) 'BRS Ajubá' (h) PE x SC-73 (i) 'BRS Anauê' (j) 'BRS Boyrá' (l) FIB-GOR

### 2.1.2 Extração

As folhas das plantas de abacaxi foram levadas para a Associação de Desenvolvimento Sustentável e Solidário da Região Sisaleira (Apaeb) no município de Valente - Bahia, para ser realizada a extração dos feixes das fibras, utilizando-se uma máquina de decorticação (Figura 2.a). Em seguida, as fibras foram levadas para o Laboratório de Estruturas (LABEST) da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS-BA), onde foram realizados os procedimentos de caracterização morfológica das fibras, seguindo os protocolos já estabelecidos pelo laboratório.

### 2.1.3 Condicionamento

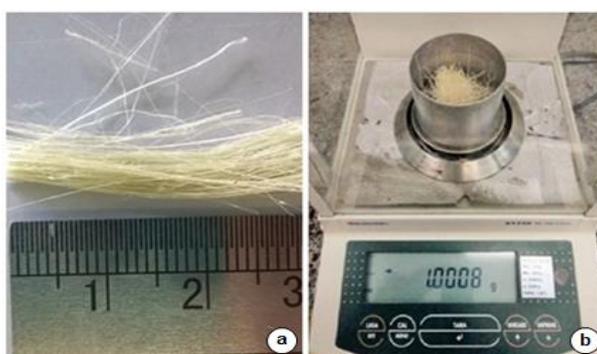
Após a extração, as fibras foram lavadas em água quente (50°C) para a retirada de graxas e óleos presentes na superfície, e que inibem o endurecimento do cimento (Figura 2.b). Posteriormente, foram levadas para estufa a 80°C por 24 horas para completa remoção de água, conforme Santos (2014). Por fim, as fibras foram penteadas com o intuito de desembaraçá-las e deixá-las mais uniformes para facilitar a execução dos ensaios.



**Figura 2.** (a) Extração dos feixes das fibras (b) Lavagem das fibras em água a 50°C

### 2.2 Ensaio de absorção

O ensaio de absorção de água foi realizado de acordo com Lopes (2010). As fibras foram cortadas em um comprimento de 30 mm, onde foi pesado cerca de 1 g das fibras (Figura 3).



**Figura 3.** (a) Preparo das amostras (b) Pesagem das fibras

Em seguida, as fibras foram imersas em recipientes com água e depois de algumas horas submetidas novamente à pesagem, sendo a primeira leitura com 3 horas da imersão, e a cada 24 horas durante 5 dias consecutivos. Para pesagem, as fibras foram retiradas da água e colocadas sobre um papel absorvente para remoção da água superficial. Foram definidas 4 repetições para cada tipo de variedade (Figura 4).



**Figura 4.** (a) Amostras imersas em água (b) Fibras secas superficialmente (c) Pesagem das fibras após imersão

O cálculo da absorção foi determinado de acordo com a equação 1 abaixo:

$$P(\%) = \frac{P_1 - P_0}{P_0} * 100$$

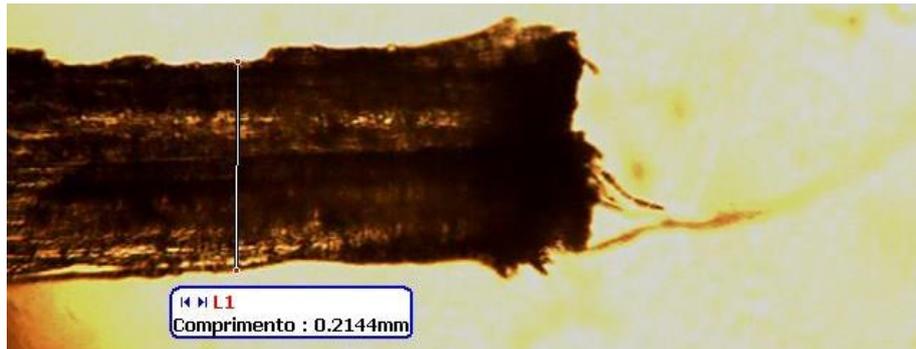
Equação 1

Onde:

P<sub>0</sub> - Peso seco inicial    P<sub>1</sub> - Após imersão em água

### 2.3 Ensaio de variação dimensional

Para a execução do ensaio de variação dimensional, inicialmente foram medidos os diâmetros das fibras em um ponto localizado a aproximadamente 50 mm da extremidade, utilizando-se o microscópio óptico da QUIMIS (modelo Q711FT). As fibras foram fotografadas com uma câmera acoplada ao microscópio e as leituras conduzidas por meio do programa Motic imagens plus 2.0 (Figura 5).



**Figura 5.** Fibra de abacaxi sendo aferida: MOTIC IMAGES PLUS 2.0, na escala de 1mm.

Após a medição, as fibras foram imersas em recipientes com água. Com 3 horas de imersão em água, foi feita uma nova medição das suas extremidades, com isso a cada 24 horas as medições foram realizadas durante um período de 6 dias consecutivos. Ao final do ensaio, foi obtido um gráfico de absorção de água (%) versus tempo de imersão (horas).

## **2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)**

A microscopia eletrônica de varredura foi realizada para analisar a superfície das fibras, suas características morfológicas, e sua seção transversal. As amostras foram imersas em água por 24 horas, logo após, foram cortadas com lâminas de aço inox e secar em estufa a 40°C por 30 min. A análise foi realizada no Laboratório de Estruturas da COPPE da Universidade Federal do Rio de Janeiro, utilizando microscópio aJEOL, modelo JSM 6510, com voltagens de aceleração of 2.5-15 kV. A imagem foi obtida com baixo vácuo e sem metalização.

## **2.5 Anatomia Foliar**

As análises anatômicas foram realizadas em secções transversais medianas da folha "D" de cinco plantas de onze genótipos de abacaxizeiros cultivados em campo experimental. As secções foliares foram fixadas em solução de FAA 70 % (formaldeído, ácido acético glacial, e etanol 70 % em água) por 48 horas, desidratadas em série etílica crescente (35-100 %), por 6 horas cada, infiltradas e emblocadas utilizando-se o kit

Historesina (hidroxietilmetacrilato, Leica Heidelberg, Alemanha). A polimerização da resina foi feita à temperatura ambiente por 48 horas. Cortes histológicos seriados (5  $\mu\text{m}$ ) foram obtidos em micrótomo rotativo Leitz, modelo 1516, dispostos em lâminas histológicas e corados com fucsina ácida (0,1% p/v), seguido de azul de toluidina (0,05% p/v) (FEDER; O'BRIEN, 1968). Os cortes histológicos foram analisados e fotografados em microscópio de fluorescência B x S1 (Olympus Latin America Inc). As medidas morfométricas foram calculadas com o auxílio do programa ImageJ 1.46r (RASBAND, 2012). Para comparação das médias, os dados foram submetidos à análise de variância e utilizou-se o teste Scott-Knott ( $p < 0,01$ ) via o programa SAS (SAS, 2010).

## 2.6 Difração de Raio-X

As medidas de difração de raio-X foram realizadas no Laboratório de Durabilidade de Materiais da Universidade Federal da Bahia, em um difratômetro utilizando-se um tubo de cobre e filtro de níquel ( $\text{CuK}\alpha$ ). As 11 amostras de fibras foram cortadas em pequenos pedaços e depositadas em porta-amostras de acrílico (Figura 6).



**Figura 6.** Ensaio de difração de raio-X: (a) amostra de fibra (b) equipamento

A difração de raio-x consiste em analisar a caracterização micro estrutural de materiais cristalinos. As amostras foram avaliadas quanto ao índice de cristalinidade de celulose ( $I_c$ ). Esse índice é um dos fatores mais importantes para determinação das propriedades mecânicas dos materiais ligno-celulósicos.

O índice de cristalinidade ( $I_c$ ) é calculado por meio da seguinte equação 2 abaixo (Segal et al., 1959):

$$\%I_{CR} = \left[ \frac{[(I_{022} - I_{am})]}{I_{022}} \right] \times 100$$

Equação 2

Onde:

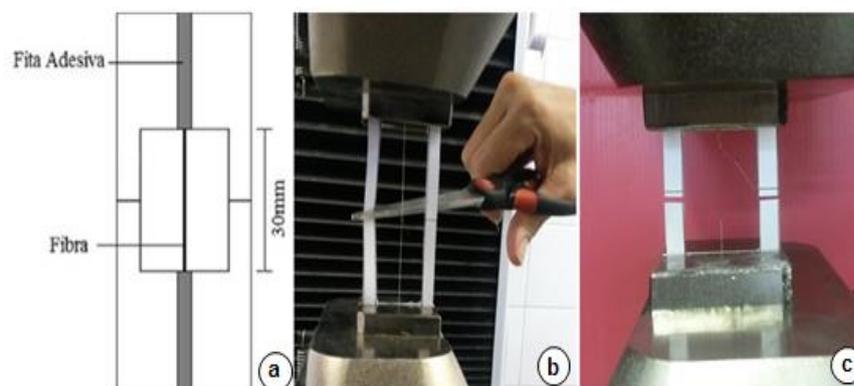
$I_C$  = Porcentagem de cristalinidade

$I_{022}$  = Intensidade no plano (022) (intensidade máxima de difração)

$I_{am}$  = Intensidade do material amorfo em ( $2\theta = 18^\circ$ )

## 2.7 Ensaio de tração direta nas fibras

Para realização do ensaio de tração, foram preparadas amostras por meio dos moldes de papel com abertura de 30 mm, 50 mm e 70 mm ao centro, onde são fixadas as fibras com cola e fita silver tape. Essa fita é constituída de um filme de polietileno na cor prata e trama de tecido com adesivo à base de resina e borracha, isso faz com que as fibras fiquem alinhadas no equipamento e evita o escorregamento das fibras nas garras do mesmo (Figura 7).



**Figura 7.** Ensaio de tração direta: (a) Molde utilizado no ensaio com fibra de 30 mm; (b) corte do molde de papel antes do início do ensaio (c) Fibra rompida no final do ensaio.

Foram realizados 15 repetições de cada variedade para o ensaio de tração das fibras. O equipamento utilizado no ensaio foi uma máquina universal SHIMADZU, com célula de carga de 1000 N, onde a taxa de deslocamento foi de 0,03 mm/s, conforme Santos (2013), sendo observado que o ensaio foi realizado de acordo com a norma ASTM C1557.

As fibras foram testadas a fim de se avaliar as propriedades mecânicas: resistência à tração, tensão-deformação e módulo de elasticidade. Os dados de força e deslocamento foram utilizados para o cálculo de resistência à tração ( $\sigma$ ) e módulo de elasticidade (E) por meio das equações 3 e 4, respectivamente:

$$\sigma = \frac{P_{max}}{A} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$P_{m\acute{a}x}$  - Carga máxima de tração (N), e  $A = \pi d^2/4$  - é a área da seção transversal ( $\text{mm}^2$ ) admitida como circular e com diâmetro medido através da utilização de microscópio, como mostra a figura 4.

Equação 4

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Onde:

$\varepsilon = \Delta L/L_o$  é a deformação (mm/mm), obtida ao se dividir o deslocamento total da fibra durante o ensaio ( $\Delta L$ ) pelo comprimento inicial  $L_o$ , que neste trabalho assumiu valores de 30 mm, 50 mm e 70 mm.

## 2.8 Produção dos compósitos cimentícios

Para a produção dos compósitos, foi utilizada uma matriz à base de cimento constituída de cimento Portland CP V - ARI, cinza volante e sílica ativa como aditivos minerais, aditivo superplastificante e agente modificador de viscosidade, a fim de garantir que a matriz seja auto adensável e livre de hidróxido de cálcio, conforme Roque (2015).

### 2.8.1 Cimento Portland

O cimento utilizado foi o CP V- ARI, por ser um cimento puro e livre de adições em sua composição dentre os encontrados no mercado. Na tabela 2 estão apresentadas as características com os devidos valores encontrados, estando de acordo com os valores especificados pela NBR 5733 (ABNT, 1991).

**Tabela 2.** Caracterização do cimento

Características e Propriedades	Unidade	Valores experimentais	
Resistência à compressão	1 dia de idade	MPa	16,7
	3 dias de idade	MPa	25,0
	7 dias de idade	MPa	38,4
Massa específica	g/cm <sup>3</sup>		3,04
Finura	%		0,7 <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Precisão da balança: 0,01g Fonte: Roque (2015)

### 2.8.2 Sílica Ativa

A sílica ativa foi utilizada nessa argamassa com a finalidade de consumir o hidróxido de cálcio que é produzido pela hidratação do cimento, e esta adição mineral é classificada como uma pozolona de alta reatividade. A caracterização da sílica foi realizada conforme a NBR NM 23 (ABNT, 2001), os resultados estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Característica da Sílica Ativa

Massa específica: 2,11 g/cm <sup>3</sup>									
Parâmetro	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	MnO
Resultados da amostra (%)	95,3	0,04	0,49	1,33	0,22	0,35	0,17	0,17	0,18

Fonte: Roque (2015)

### 2.8.3 Cinza Volante

A cinza volante foi utilizada porque contribui para a trabalhabilidade da argamassa e por ser também uma adição pozolânica, contribuindo para o consumo de hidróxido de cálcio. Na Tabela 4 encontra-se a caracterização da cinza volante.

**Tabela 4.** Característica da Cinza Volante

Massa específica: 1,98 g/cm <sup>3</sup>									
Parâmetro	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Outros
Resultados da amostra (%)	55,3	33,23	4,96	3,44	2,06	1,38	1,26	0,1	0,24

Fonte: Roque (2015)

### 2.8.4 Areia

Foi utilizada uma areia quartzosa, proveniente do município de Alagoinhas-BA, a qual foi caracterizada pelos os ensaios de massa específica segundo NM 52 (ABNT, 2009) obtendo-se o valor de 2,65 g/cm<sup>3</sup>, apresentando uma dimensão máxima de 1,18mm e um módulo de finura de 1,73 de acordo com a NM 248 (ABNT, 2003), conforme ensaios realizados por SANTOS (2014), (Tabela 5).

**Tabela 5.** Característica da Areia

<b>Características</b>	<b>Agregado natural</b>
Diâmetro máximo (mm)	1,18
Módulo de finura	1,73
Material pulverulento (%)	0,95
Absorção de água (%)	0,03
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,65

Fonte: Santos (2014)

### **2.8.5 Superplastificante e Agente Modificador de Viscosidade**

Para a produção dos compósitos cimentícios, foi necessário a utilização de uma matriz autoadensável, onde utilizou-se um dispersante à base de policarboxilatos (superplastificante Adiment Premium - Vedacit®). De acordo com os dados do fabricante, esse superplastificante apresenta massa específica igual 1,09 g/m<sup>3</sup> e proporção de 70% água e 30% sólidos.

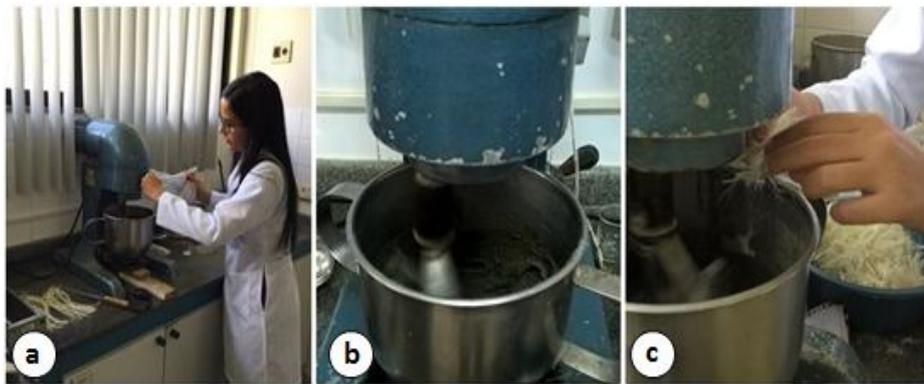
Foi utilizado também um agente modificador de viscosidade (V.M.A) Rheomac UW 410, fabricado pela empresa BASF, afim de reduzir a exsudação, evitar a segregação e manter a argamassa coesa.

### **2.8.6 Produção da matriz**

A água utilizada para a produção das argamassas deste estudo foi proveniente da rede de abastecimento da Universidade Estadual de Feira de Santana, cuja fonte é poço de uso comum.

A matriz utilizada para a produção dos compósitos para o ensaio de flexão, foi produzida conforme a NBR 13279/2005 com o traço 0,5: 0,1: 0,4: 1: 0,35 (cimento: sílica ativa: cinza volante: areia: água), em massa, sendo que houve a adição de 1,5% de fibras de abacaxi.

A moldagem consistiu em preparar as misturas em uma argamassadeira com capacidade de 20L (Figura 8) conforme Santos (2014), porém sofreu alteração sendo apresentado da seguinte forma: mistura prévia da água e superplastificante em um béquer e mistura dos materiais finos (cimento + cinza volante + sílica ativa). Com os materiais finos homogeneizados dentro da cuba, a água foi adicionada continuamente até um ponto de coesão. Ao mesmo tempo, a areia foi adicionada totalizando 5 minutos da mistura. Essas etapas foram realizadas com a argamassadeira na velocidade 1. . Em seguida, a argamassadeira foi desligada por 3 minutos para descanso da mistura e retirada do material aderido na cuba. Após esse tempo foi misturado o VMA por dois minutos.



**Figura 8.** (a) Matriz produzida conforme a NBR 13279/2005 (b) Mistura dos materiais (c) Adição das fibras

### 2.8.7 Produção do compósito

Para produção dos compósitos, foram utilizadas como reforço na matriz 6 variedades de fibras de abacaxi dentre as 11 estudadas nesse trabalho. As 6 variedades foram escolhidas por serem comerciais (1 a 3), híbridas ornamentais, porém com um dos seus parentais sendo o curauá (4 e 5) e o curauá (6) que serviu de controle do estudo. (Tabela 6).

**Tabela 6.** Variedades utilizadas para aplicação das fibras como reforço em compósitos cimentícios.

<b>Variedades</b>	<b>Nome Científico</b>
1. 'BRS Imperial'	<i>A. comosus var. comosus</i>
2. 'BRS Pérola'	<i>A. comosus var. comosus</i>
3. 'Smooth Cayenne'	<i>A. comosus var. comosus</i>
4. FIB-POT	<i>A. comosus var. erectifolius</i> x <i>A. comosus var. Bracteatus</i>
5. 'BRS Boyrá'	<i>A. comosus var. ananassoides</i> x <i>A. comosus var. erectifolius</i>
6. 'Curauá'	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr. var. <i>erectifolius</i> (L.B.Sm.) Coppens & F.Leal

Os compósitos foram moldados com dimensões de 28,5cm x 7,5cm x 1cm (comprimento x largura x altura), sendo três amostras com fibras curtas e três com fibras longas, para cada variedade.

A produção dos compósitos com reforço em fibras longas (24 cm) encontra-se na Figura 9, onde a seguinte sequencia foi utilizada: i) uma primeira camada de matriz, com 5 mm, foi adicionada; ii) camada com 0.75% de fibras longas posicionadas manualmente, e imersas com espátula; iii) camada de matriz; iv) camada com 0.75% de fibra; v) camada final de matriz até completar 10 mm de espessura.

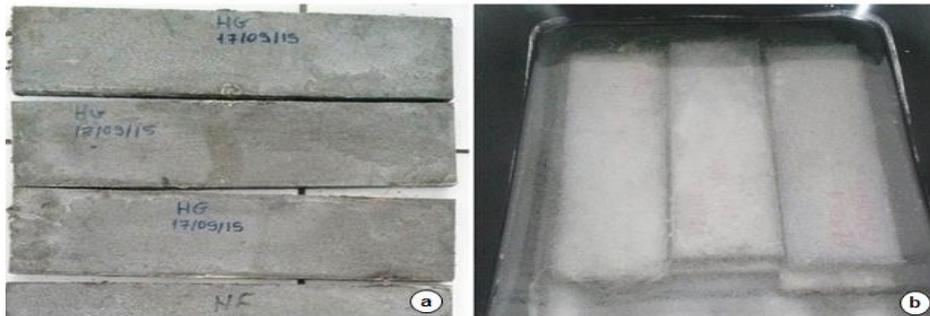
Para os compósitos com fibras curtas, após o processo de produção da matriz, a fibra curta (com comprimento de 30 mm) foi adicionada aleatoriamente. A mistura foi então lançada nos moldes com a espessura total de 10 mm.



**Figura 9.** (a) Moldagem dos compósitos (b) Fibras longas (c) Aplicação das fibras na matriz.

Após 48 horas, os compósitos foram desmoldados, e em seguida, colocados por um período de 28 dias imersos em água passando por um processo chamado de

cura, que é fundamental para evitar a perda de água para o meio ambiente, como mostra a Figura 10.



**Figura 10.** (a) Compósitos desmoldados (b) Compósitos imersos em água

Antes de se iniciar o ensaio de resistência à flexão, as placas foram pintadas com tinta branca, com o objetivo de realçar o aparecimento das fissuras.

O ensaio de 4 pontos, mostrado na Figura 11, foi realizado com vão livre de 240 mm, e pontos de aplicação de carga posicionados a 80 mm da extremidade. O ensaio foi realizado em uma máquina de ensaios eletromecânica modelo Shimadzu 100 AGX, com célula de carga de 1 kN, e velocidade de deslocamento de 0,5 mm/min.

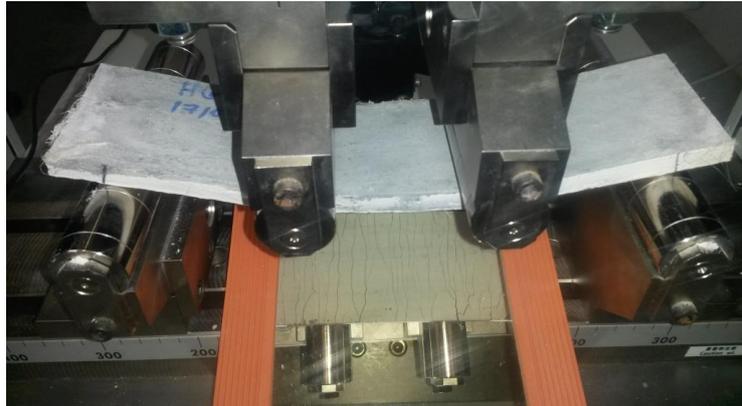
A aquisição dos dados foi feita pelo software Trapezium, que permite a determinação da carga-flecha no meio do vão por meio de um LVTD acoplado ao dispositivo. Com o intuito de se obter uma melhor precisão, foi utilizado um LVDT (Transformador Diferencial Variável Linear), acoplado ao aparato de flexão, que mediu a flecha na posição central do vão. Foram utilizados 3 corpos-de-prova de cada variedade.



**Figura 11.** Equipamentos utilizados durante o ensaio de flexão em 4 pontos

Para mapear o surgimento de fissuras ao longo da execução do ensaio, uma câmera digital foi usada para capturar as imagens em intervalos de 25 segundos. As

imagens da face de surgimento das fissuras foram obtidas através de um espelho posicionado sob a amostra (Figura 12).



**Figura 12.** Esquema do ensaio de flexão em quatro pontos.

A partir dos dados gerados no ensaio, a tensão equivalente foi calculada utilizando-se a Equação 5, afim de se observar o comportamento dos compósitos de acordo com cada tipo de variedade de fibra que foi utilizada.

$$\sigma = \frac{6M}{b.d^2} \sigma = \frac{6M}{b.d^2} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

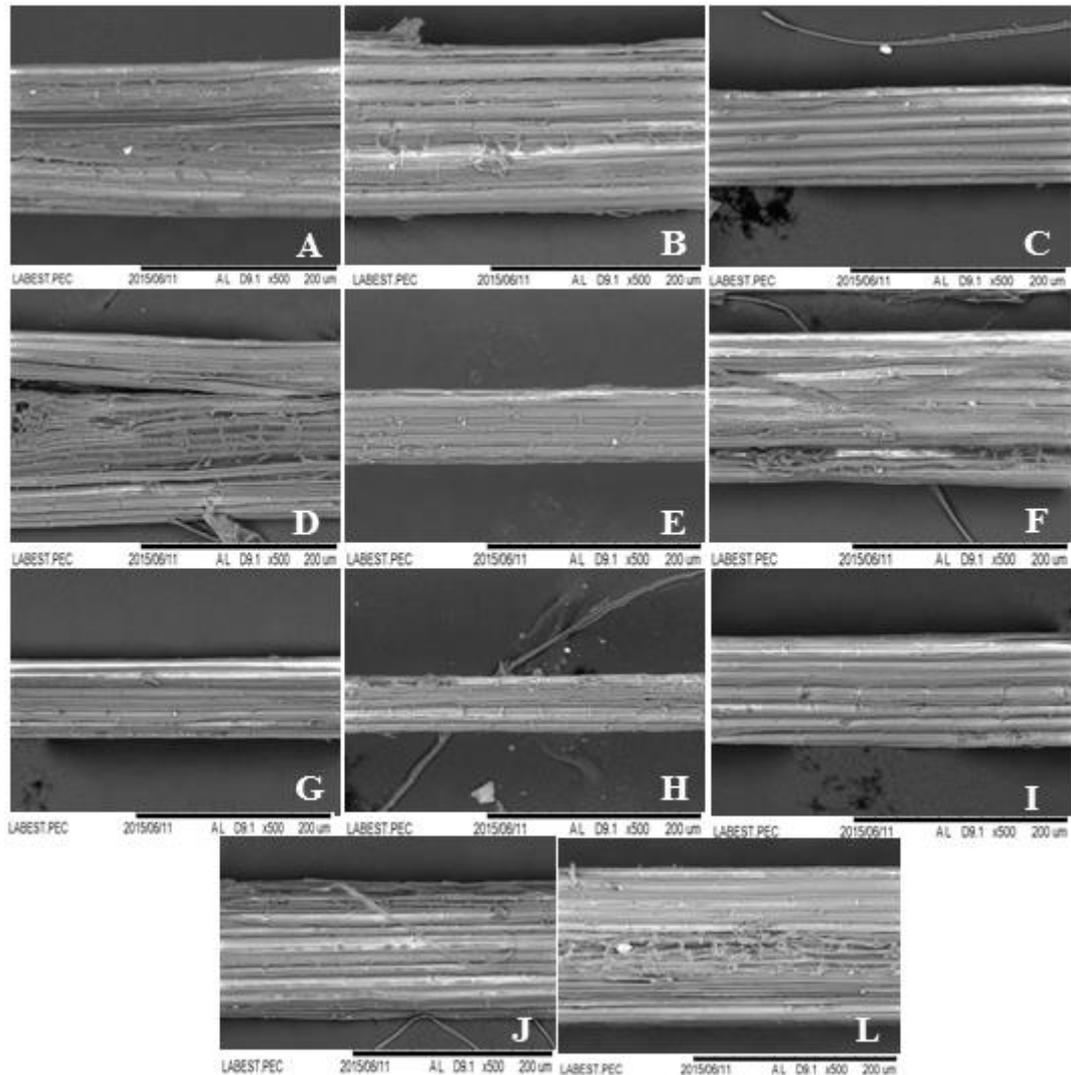
$\sigma$  = tensão equivalente  
M = momento fletor máximo  
b = largura da amostra  
d = altura da amostra

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

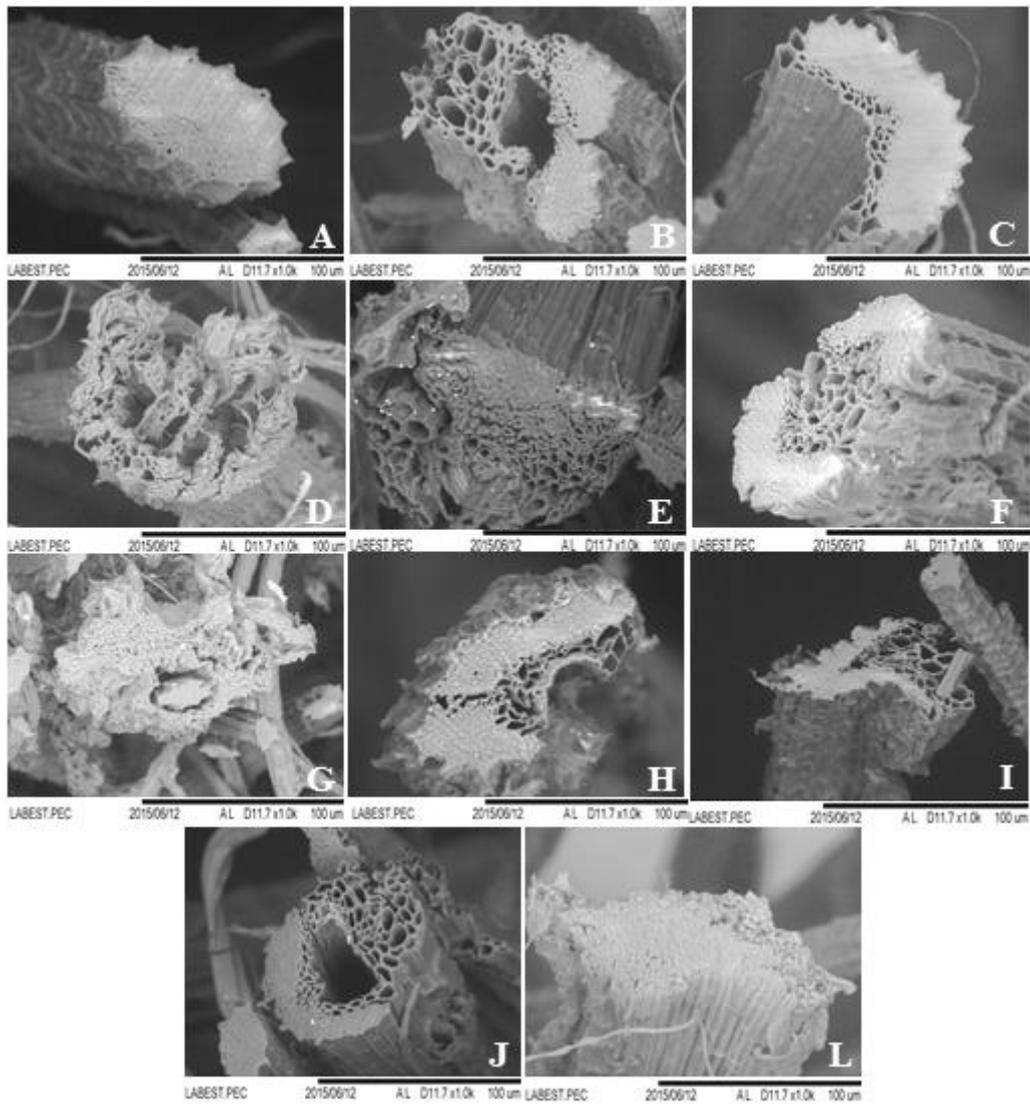
### Microscopia Eletrônica de varredura (MEV)

Os resultados das análises de MEV dos feixes das fibras das 11 variedades estudadas são apresentados nas Figuras 13 e 14. Nesse trabalho observou-se aspectos similares nas variedades de abacaxi referentes as micrografias da superfície longitudinal (Figura 13), porém, na imagem da superfície transversal (Figura 14), a variedade 'Curauá' e a PE x SC-73, apresentaram menor área de

lúmens. Segundo Fidelis et al. (2013), quanto menor a área de lúmens e mais espessa a parede celular, maior a resistência, e essas duas variedades apresentaram esse tipo de comportamento (Tabela 8). De acordo com Fidelis et al (2013), as fibras naturais apresentam morfologia semelhante, mas podem diferir na área interna dos lúmens. Por esse motivo é que as fibras possuem características físicas e mecânicas diferentes.



**Figura 13.** Micrografia obtida por MEV da superfície longitudinal das variedades de fibras de abacaxi, (A) Curauá; (B) Ajubá; (C) PE x SC-73; (D) BRS Anauê; (E) FIB-POT; (F) BRS Boyrá; (G) FIB-GOR; (H) BRS Imperial; (I) BRS Pérola; (J) Smooth Cayene; (L) BRS Vitória.



**Figura 13.** Micrografia obtida por MEV da superfície transversal das variedades de fibras de abacaxi, (A) Curauá; (B) Ajubá; (C) PE x SC-73; (D) BRS Anauê; (E) FIB-POT; (F) BRS Boyrá; (G) FIB-GOR; (H) BRS Imperial; (I) BRS Pérola; (J) Smooth Cayene; (L) BRS Vitória.

## Anatomia Foliar

Em todos os onze genótipos avaliados foi possível observar as mesmas estruturas anatômicas (tricomos peitados na superfície adaxial e abaxial, *presença de aerênquima no parênquima clorofiliano*, estômatos na superfície abaxial, epiderme uniestratificada revestida por uma camada espessa de cutícula, feixes vasculares distribuídos em ambos os parênquimas) (Figura 15). A diferença foi observada apenas na morfometria das camadas celulares e na quantidade das estruturas celulares (Tabela 7).

A maior espessura da folha foi observada nos genótipos FIB-GOR e ‘Smooth Cayenne’; em contra partida, a menor espessura foi observada em *FIB-POT* e ‘*BRS Boyrá*’. Em relação à espessura das duas epidermes (adaxial e abaxial), os genótipos FIB-POT, ‘BRS Anauê’ e ‘BRS Boyrá’ apresentaram os menores valores com 0,01 mm, e os demais não apresentaram diferenças significativas com 0,02 mm (Tabela 7).

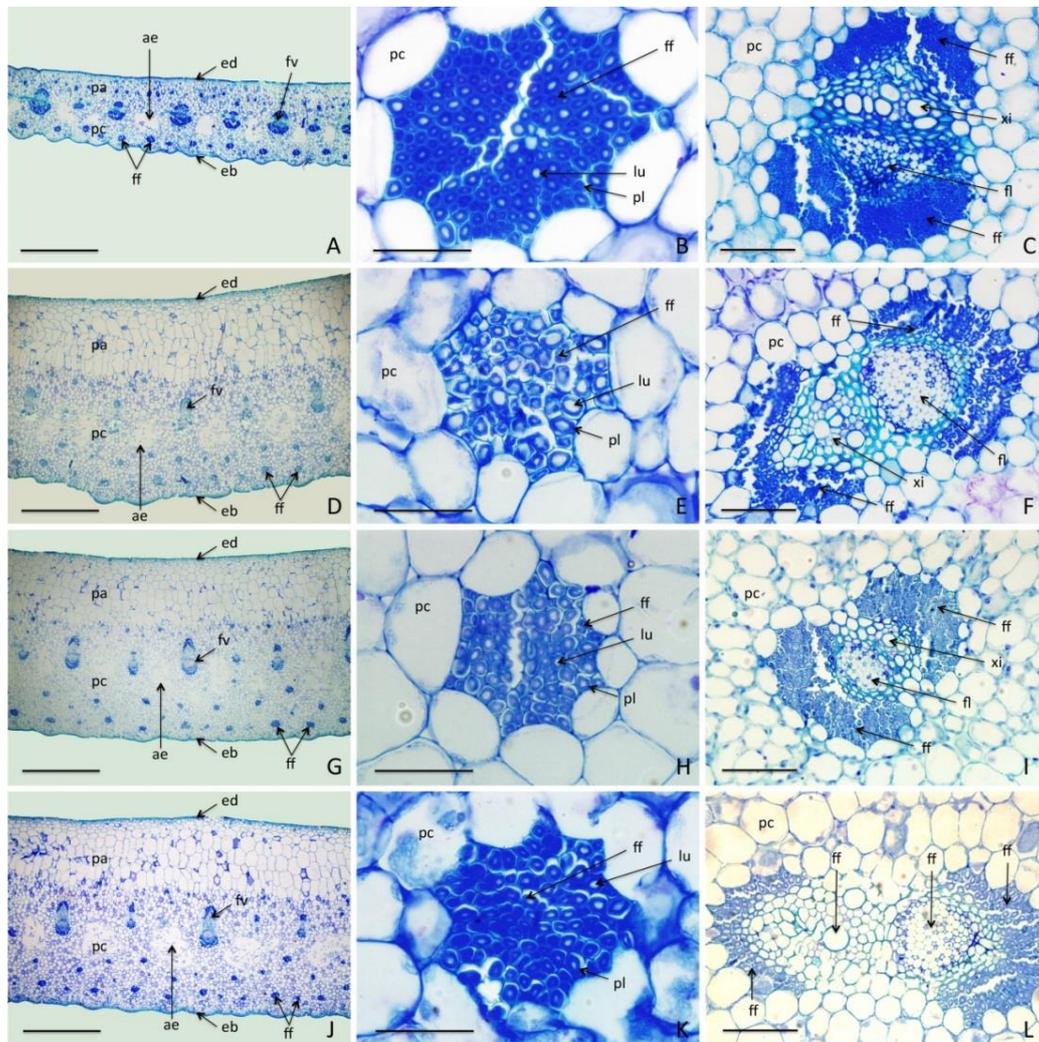
Abaixo da região adaxial observou-se o parênquima aquífero constituído por células grandes de formato irregular e por uma pequena quantidade de feixes de fibras (Figura 15). A espessura do parênquima aquífero foi menor do que a do parênquima clorofiliano para todos os genótipos estudados e apresentou uma variação de 0,25 mm na ‘*BRS Boyrá*’ a 1,08 mm no FIB-GOR (Tabela 7). O parênquima aquífero possui a função de armazenar água e o abacaxizeiro, por ser uma planta resistente à altas temperaturas e a seca, possui esta camada bem desenvolvida e importante para a sobrevivência da espécie (MALÉZIEUX et al., 2003).

**Tabela 7.** Características anatômicas da folha de abacaxizeiros [*Ananas comosus* (L.) Merr.].

Genótipo	EAD	EAB	PAQ	PCL	FOL	NFS	NFA	NFF	NFV	TFF
'Curauá'	0,02 a	0,02 a	0,79 a	1,18 b	2,01 b	351 c	120 c	132 c	315 d	122,467 c
FIB-POT	0,01 b	0,01 b	0,32 b	0,73 d	1,09 d	694 a	154 b	198 a	613 a	233,117 a
'BRS Anauê'	0,01 b	0,01 b	0,79 a	0,86 c	1,68 c	355 c	104 c	164 b	167 d	76,772 d
'BRS Boyrá'	0,01 b	0,01 b	0,25 b	0,58 e	0,85 d	373 c	183 a	213 a	363 c	141,869 b
FIB-GOR	0,02 a	0,02 a	1,08 a	1,50 a	2,61 a	267 d	51 e	122 c	377 c	51,644 e
'BRS Ajubá'	0,02 a	0,02 a	0,81 a	1,38 a	2,22 b	352 c	79 d	140 c	270 d	69,861 d
PEXSC-73	0,02 a	0,02 a	0,86 a	1,32 b	2,21 b	327 c	55 e	90 d	311 d	46,624 e
'BRS Imperial'	0,02 a	0,02 a	0,90 a	1,28 b	2,22 b	342 c	50 e	78 d	225 d	38,291 e
'BRS Pérola'	0,02 a	0,02 a	0,82 a	1,44 a	2,23 b	449 b	124 c	130 c	437 b	114,829 c
'Smooth Cayenne'	0,02 a	0,02 a	0,91 a	1,44 a	2,38 a	196 e	31 e	103 d	221 d	27,314 e
'BRS Vitória'	0,02 a	0,02 a	0,60 a	0,89 c	1,53 c	430 b	76 d	124 c	484 b	89,655 d
CV (%)	15,89**	21,49**	20,81**	10,11**	12,68**	17,09**	19,94**	18,05**	22,22**	26,68**

EAD = espessura da epiderme adaxial (mm); EAB = espessura da epiderme abaxial (mm); PAQ = espessura do parênquima aquífero (mm); PCL = espessura do parênquima clorofilado (mm); FOL = espessura da folha (mm); NFS = número de feixes de fibra por cm<sup>2</sup> de folha observado transversalmente; NFA = número de feixes associados ao feixe vascular por cm<sup>2</sup> de folha observado transversalmente; NFF = número de fibras por feixe observado transversalmente; NFV = número de fibras associados ao feixe vascular observado transversalmente; TFF = total de fibras por cm<sup>2</sup> de folha observado transversalmente. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Scott Knott.

A espessura do parênquima clorofiliano variou de 0,58 mm na ‘BRS Boyrá’ a 1,50 mm no FIB-GOR (Tabela 7). Nesse parênquima, foi possível observar células arredondadas e uma grande quantidade de feixes de fibras, arranjadas triangularmente, principalmente na região mais próxima da epiderme abaxial. Na região mediana do parênquima clorofiliano observou-se diversos aerênquimas intercalados com os feixes vasculares (Figura 15).



**Figura 15.** Anatomia foliar de genótipos de abacaxizeiros [*Ananas comosus* (L.) Merr.]. A-C) FIB-POT. D-F) ‘Curauá’. G-I) ‘Pérola’. J-L) ‘Smooth Cayenne’. A, D, G, J) Vista transversal da folha. B, E, H, K) Vista do feixe de fibra localizado no parênquima clorofiliano. C, F, I, L) Vista do feixe vascular localizado no parênquima clorofiliano. ae = aerênquima; eb = epiderme abaxial; ed = epiderme adaxial; ff = feixes de fibra; fl = floema; fv = feixe vascular; lu = lume; pa = parênquima aquífero; pc = parênquima clorofiliano; pl = parede celular lignificada da fibra; xi = xilema. Barras: A, D, G, J = 1 mm; B, E, H, K = 50 µm; C, F, I, L = 100 µm.

Pode-se observar que não existe uma relação direta entre a espessura da folha e a quantidade de fibras presentes nos genótipos, verificando-se assim a necessidade de estudos específicos para cada material.

O número de feixes de fibras por  $\text{cm}^2$  de folha observado em secções transversais variou de 694 para o FIB-POT a 196 na 'Smooth Cayenne' (Tabela 7). A maioria dos genótipos apresentou uma média de 350 feixes de fibras por  $\text{cm}^2$ , mesmo aqueles que tinham em comum o *A. comosus var erectifolius* na sua genealogia ('Curaúá', 'BRS Anauê' e 'BRS Boyrá'). O *A. comosus var. erectifolius*, conhecidos popularmente como *Ananas lucidus* ou curauá, além de apresentar um potencial ornamental, é muito utilizado na indústria têxtil e automobilística, uma vez que suas fibras apresentam alta qualidade em comparação com outras espécies vegetais (ZAH et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2012; SENA NETO et al., 2015).

Os feixes de fibras associados aos feixes vasculares estão distribuídos no parênquima clorofiliano na região mediana da folha e circundam o floema e xilema. O número de feixes de fibra associados ao feixe vascular variou de 31 para a 'Smooth Cayenne' a 183 para a 'BRS Boyrá'. Em relação ao número de fibras associados ao feixe vascular, o FIB-POT foi superior aos demais com 613 fibras, seguido das cultivares Pérola e BRS Vitória.

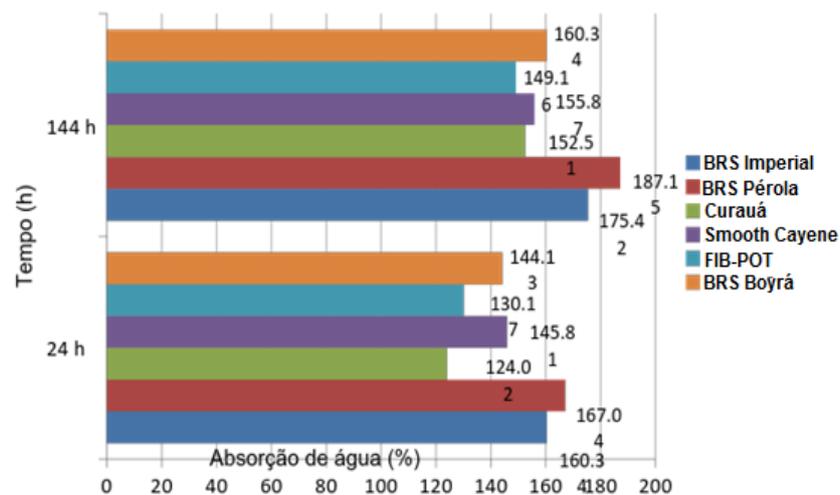
O FIB-POT foi o genótipo que apresentou o maior número total de fibras por  $\text{cm}^2$  na folha (233.117 fibras), ficando bem acima do 'Curauá', cultivar esta, muito utilizada para a produção de fibras. *Spinacé et. al.*, (2011) relatam que as fibras extraídas da folha do 'Curauá' possui um grande potencial para serem utilizadas como reforço em matrizes poliméricas, por possuírem propriedades mecânicas adequadas em relação a outras fibras vegetais. No entanto, a partir dos resultados obtidos, nota-se que o genótipo FIB-POT também possui características desejáveis para que suas fibras sejam utilizadas como reforço em matrizes.

As fibras apresentaram paredes celulares grossas, lignificadas, principalmente nos genótipos FIB-POT, FIB-GOR, 'Smooth Cayenne' e 'BRS Vitória' com lumens reduzidos. Em contra partida, os maiores lumes foram observados nos genótipos 'Curauá' e 'BRS Anauê' e conseqüentemente menor espessamento das paredes celulares. Pereira et al. (2012), a partir de um estudo realizado com a morfologia das fibras de Curauá, juta e sisal, concluiu que quanto mais espessa a parede celular e menor o lumen, maior será a resistência da fibra. Com isso, é

possível observar que cada tipo de fibra possui características físicas e mecânicas diferentes.

### Absorção de água e variação dimensional das fibras

Uma das características das fibras vegetais é a sua capacidade de absorver uma elevada quantidade de água, o que provoca uma elevada variação dimensional. Esse fenômeno é um dos principais motivos que podem influenciar no comportamento das fibras quando aplicadas em compósitos à base de cimento, pois quando submetidos à variação natural de umidade, a fibra pode reduzir de diâmetro e perder contato com a matriz a qual estava aderida. Isso faz com que haja um deslizamento da fibra quando o compósito for submetido a esforços, e redução da capacidade de resistência. Nas figuras 16 e 17, é possível observar o comportamento de 6 variedades utilizadas nesse estudo.

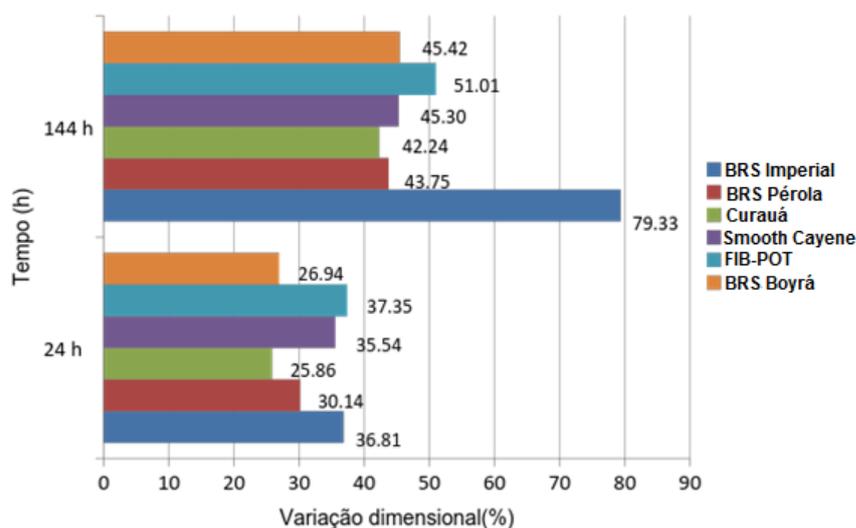


**Figura 16.** Comparativa de absorção de água de variedades de fibras de abacaxi.

A absorção de água nas fibras de abacaxi apresentou um valor maior que 120% em relação ao seu peso inicial nas primeiras 24 horas. Após 144 horas imersas em água, a variedade 'BRS Imperial' e 'BRS Pérola' foram as que mais absorveram água, chegando a atingir valores de 175 e 187%, respectivamente. De acordo com Santos (2015), essa alta absorção ocorre porque a estrutura interna das fibras é porosa e acaba acumulando água nos poros. Em um trabalho realizado pelo mesmo, foi encontrada uma alta absorção para a fibra de sisal, apresentando mais

de 150% do seu peso inicial. O FIB-POT e o 'Curauá', foram as variedades que absorveram menos água, com 149 e 153%, respectivamente.

A variação dimensional das fibras é apresentada na Figura 17. Verifica-se que, mesmo com valores de absorção de até 153%, a variação dimensional máxima é de 79.33%.



**Figura 17.** Comparativa de variação dimensional de variedades de fibras de abacaxi.

A variedade que apresentou maior variação dimensional foi o 'BRS Imperial', atingindo uma variação de 79% após 144 horas. O 'Curauá' e o 'BRS Pérola', foram os que obtiveram uma menor variação dimensional, com 42 e 44%, respectivamente. A área média das fibras secas das 6 variedades de abacaxi estudadas variou de 0,08 a 0,27 mm<sup>2</sup>, e após serem saturadas, de 0,27 a 0,79mm<sup>2</sup>.

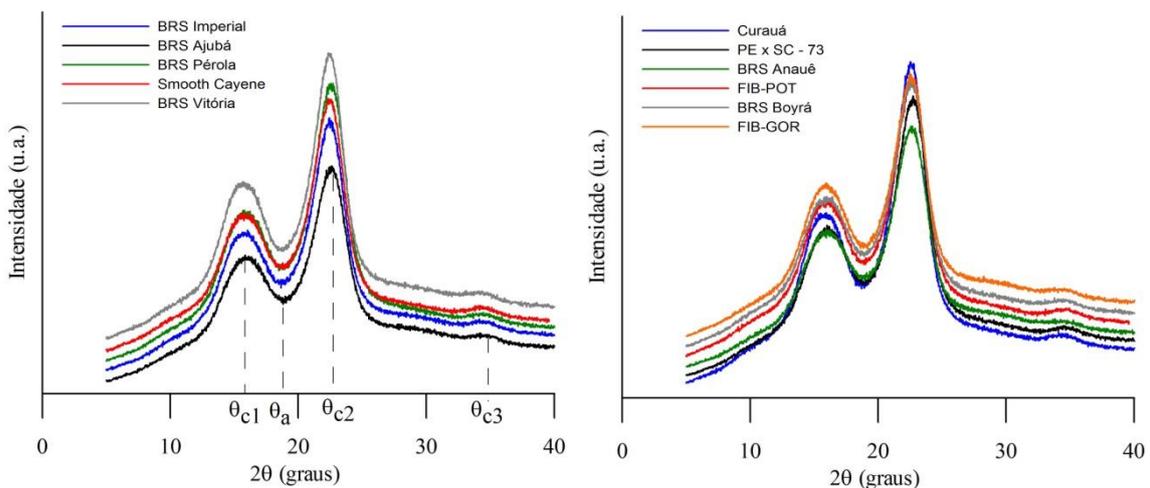
Ferreira et al., (2012), obteve os valores da área média das fibras de sisal em estado seco e saturado de 0,027 mm<sup>2</sup> e 0,037 mm<sup>2</sup> respectivamente. De acordo com esse autor uma consequência direta da redução da absorção, é a redução dimensional da fibra entre o estado seco e saturado. O mesmo realizou um estudo visando reduzir a capacidade de absorção de água de fibras de sisal a partir de ciclos de molhagem e secagem (hornificação), que resultaram na diminuição do índice de absorção de água e uma melhor aderência da fibra-matriz-cimentícia.

De acordo com Li et. al. (2008), essa redução de aderência é devida à alta capacidade que as fibras possuem de absorver água, causando variações dimensionais e resultando na perda do contato com a matriz.

Em termos de variação dimensional, verifica-se que as fibras do 'Curauá' (42%) apresentam menor valor após 144 horas imersa em água, seguido da variedade 'BRS Pérola' (44%), considerando-as apropriadas para se obter uma maior interação entre a fibra e a matriz.

## Difração de raio X

Os difratogramas resultantes por raios X foram similares para os onze feixes de fibras de abacaxis estudados (Figura 18). Outros trabalhos realizados com o ensaio de difração de raio x em espécies vegetais como a do 'Curauá e coco, apresentaram resultados semelhantes (CORRÊA, 2010; TOMCZAK, 2010).



**Figura 18.** Difratogramas de raios X das 11 variedades de abacaxi estudados.

O índice de cristalinidade indica a quantidade de celulose que se encontra em estado cristalino, e é um dos fatores que contribui para o comportamento das propriedades mecânicas dos materiais ligno-celulósicos. Os valores obtidos para o índice de cristalinidade das 11 variedades de abacaxi estudadas variaram de 60 a 67% (Tabela 8). Os maiores valores obtidos foram para as variedades Curauá (67%), BRS Vitória (66%) e FIB-POT (65%). Os resultados corresponderam ao que se esperava, pois estão de acordo com outros trabalhos que foram realizados e que mostraram variações de 44 a 60% (REDDY; YANG, 2005), 50,2% (TOMCZAK, 2010) e 49-64% (SENA NETO ET AL., 2013).

## Tração direta nas fibras

Os resultados do ensaio de tração direta das fibras estão apresentados na Tabela 8 para fibras com 30 mm de comprimento inicial.

**Tabela 8.** Resultados do ensaio de tração direta para as 11 variedades de abacaxi utilizadas no estudo.

Fibras (30mm)	Índice de cristalinidade (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Deformação (%)
'BRS Imperial'	63,82	321,47 b	11,94 b	0,03 a
'BRS Pérola'	64,25	257,48 b	10,40 b	0,03 a
'Smooth Cayenne'	63,98	396,12 a	15,79 a	0,03 a
PE x SC-73	64,69	451,04 a	12,14 b	0,03 a
'BRS Vitória'	65,58	376,91 a	13,96 a	0,03 a
'BRS Ajubá'	60,74	370,13 a	15,23 a	0,03 a
'BRS Anauê'	61,39	273,01 b	13,57 a	0,02 a
FIB-POT	64,50	336,70 b	12,14 b	0,03 a
'BRS Boyrá'	63,08	272,95 b	15,35 a	0,03 a
FIB-GOR	63,27	224,15 b	7,95 b	0,03 a
'Curauá'	67,53	480,23 a	17,80 a	0,03 a

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Scott Knott.

Os valores para resistência à tração, que é a tensão máxima obtida, variaram de 224 a 480 MPa, aproximadamente. Todas as variedades de abacaxi estudadas nesse trabalho obtiveram valores superiores aos das fibras de juta, coco e piaçava (FIDELIS et al., 2013). A partir do teste de média realizado foi possível observar que as variedades que se destacaram apresentando uma maior resistência à tração foram o 'Curauá' (480 MPa), PE x SC-73 (451 MPa), 'Smooth Cayenne' (396 MPa), 'BRS Vitória' (377 MPa) e 'BRS Ajubá' (370 MPa). Para o módulo de elasticidade os maiores valores encontrados foram para as variedades 'Curauá', 'BRS Boyrá', 'BRS Anauê', 'BRS Ajubá', 'BRS Vitória' e a 'Smooth Cayenne'. Em relação à capacidade de deformação, as variedades não apresentaram diferenças significativas.

As Figuras 19 e 20 apresentam o comportamento tensão x deformação e os resultados referentes às variedades de abacaxi analisadas.

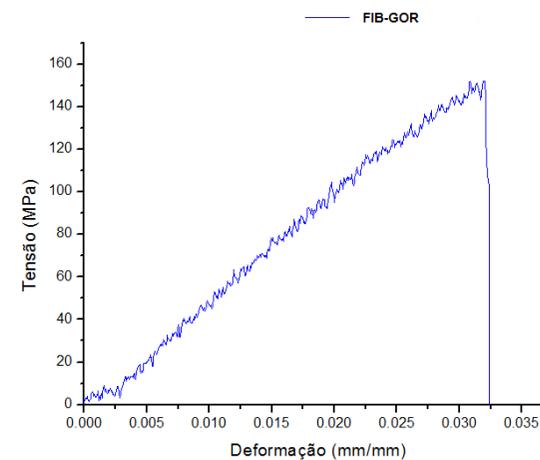
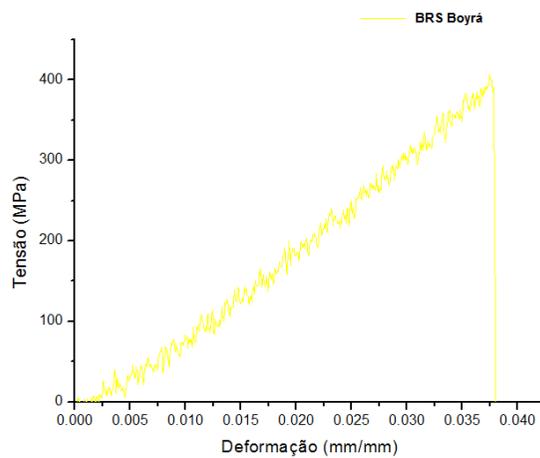
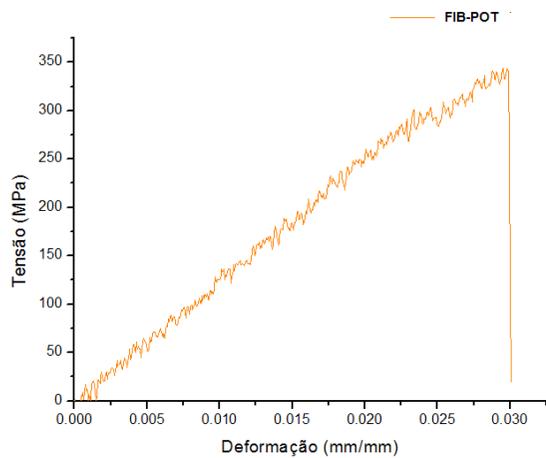
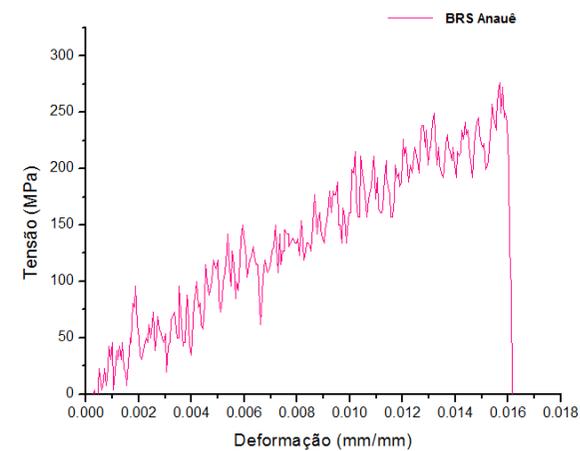
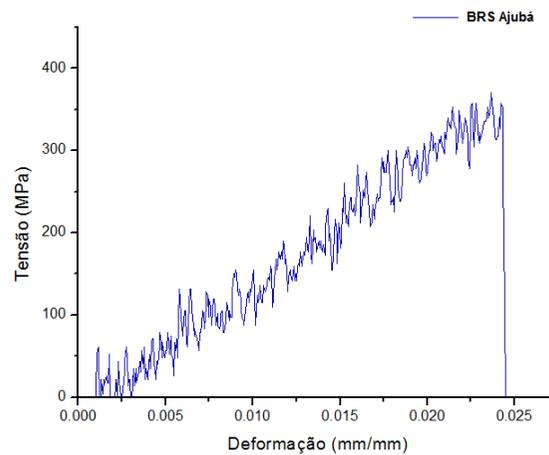
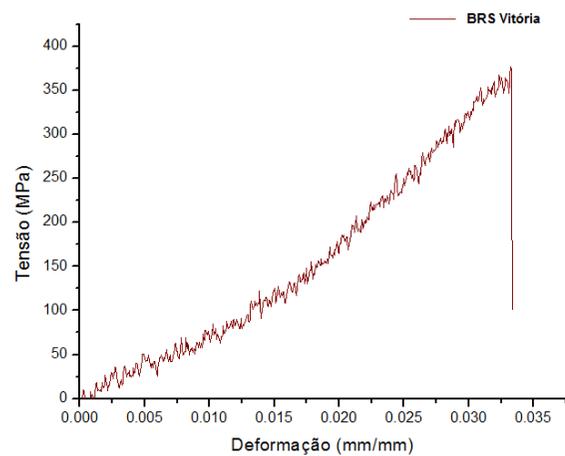
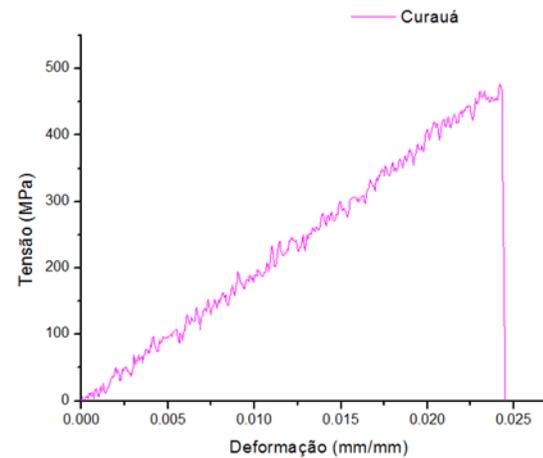
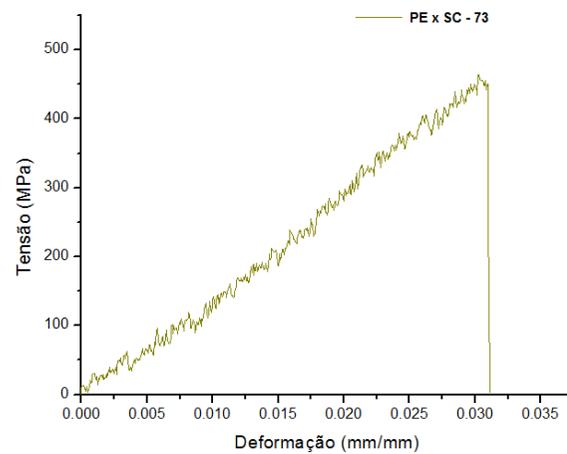
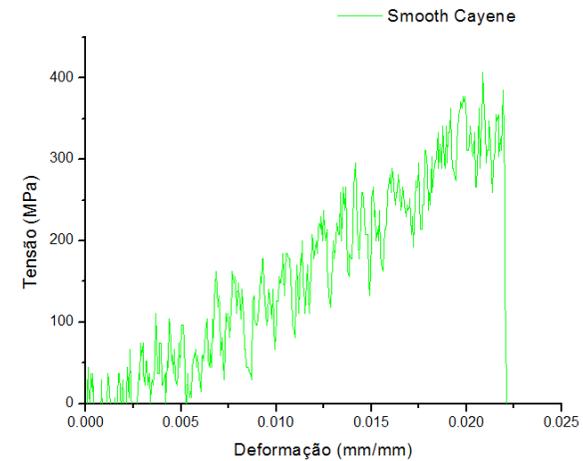
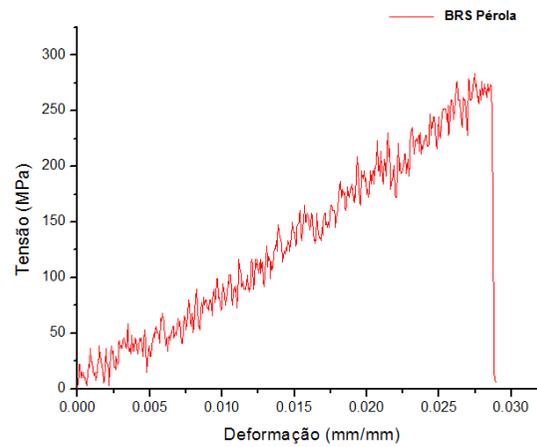
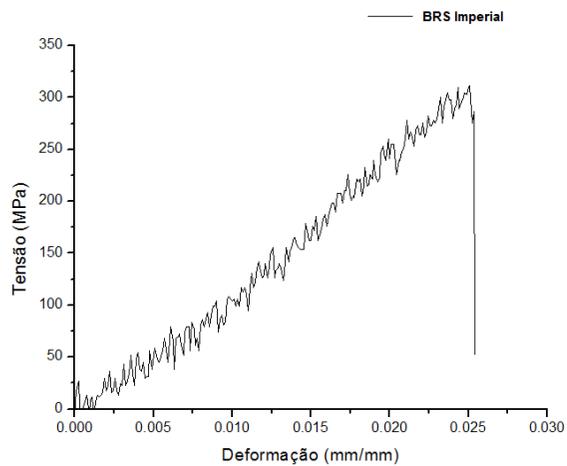


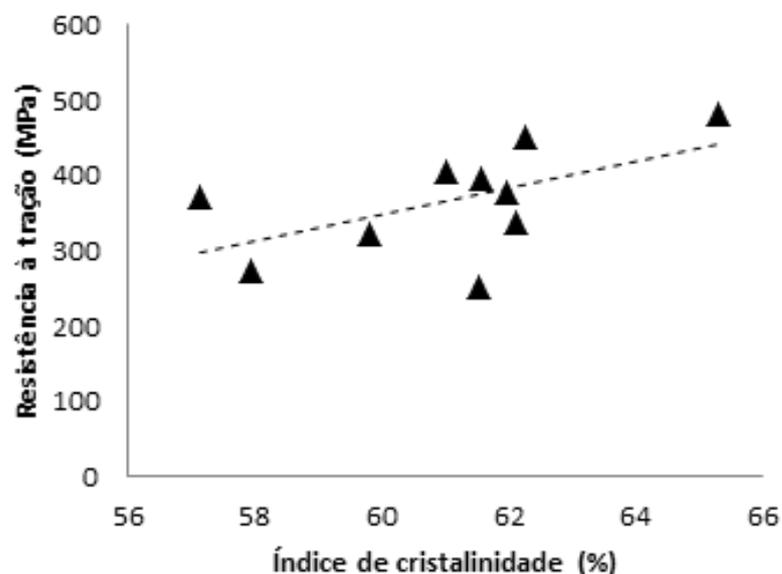
Figura 19. Curvas tensão x deformação do ensaio de tração das fibras de abacaxi.



**Figura 20.** Curvas tensão x deformação do ensaio de tração das fibras de abacaxi.

A fibra de 'Curauá' tem apresentado valores médios de resistência à tração, em torno de 310 MPa (TOMCZAK et.al.,2007), 492 MPa (PICANÇO, 2005), 543 MPa e módulo de elasticidade superior a 64 GPa, sendo comparado à fibra de vidro, que fica em torno de 70 GPa (FIDELIS, et al., 2013). A fibra de 'Curauá' apresenta um alto desempenho e tem sido utilizada como reforço mecânico. Dentre as variedades existentes de abacaxi, foi realizado um estudo por Sena Neto (2014), onde foi utilizada 18 variedades de abacaxi para avaliar a resistência mecânica de suas fibras, valores de módulo de elasticidade e resistência à tração. Os resultados encontrados foram superiores em relação à fibra de 'Curauá', que variou de 212 a 1309MPa.

Na Figura 20, verifica-se uma tendência de aumento da resistência à tração das fibras com o aumento do índice de cristalinidade, conforme previsto na literatura (SENA NETO, 2014).



**Figura 21.** Gráfico resistência á tração x índice de cristalinidade.

Neste trabalho foi realizado o ensaio de tração para 6 variedades de fibras de abacaxi em diferentes comprimentos com o intuito de avaliar o seu comportamento. Os valores médios estão apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9.** Resultados do ensaio de tração para seis variedades de abacaxi em diferentes comprimentos.

Variedades	Resistência á tração (MPa)		
	30 mm	50 mm	70 mm
'BRS Imperial'	321,47 b	289,77 b	276,33 b
'BRS Pérola'	257,48 b	255,64 b	260,77 b
'Smooth Cayenne'	396,12 a	391,62 a	387,65 a
FIB-POT	336,70 b	301,88 b	312,96 b
'BRS Boyrá'	272,95 b	242,86 b	228,77 b
'Curauá'	480,23 a	447,22 a	436,08 a

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste Scott Knott.

Na figura 22 podemos observar através do gráfico que as resistências á tração em diferentes comprimentos das fibras apresentaram variação. No entanto, é possível perceber que ao aumentar o comprimento da fibra, a tendência é que haja uma redução na resistência á tração, havendo aumento na probabilidade de falhas das fibras.

### **Compósitos cimentícios e flexão em quatro pontos**

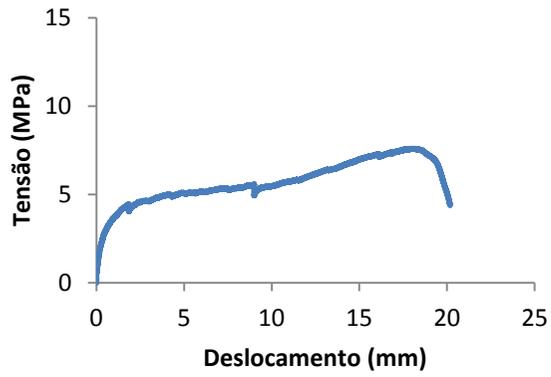
Foram realizados ensaios de flexão em quatro pontos nos compósitos cimentícios reforçados com as fibras de abacaxi. Nas Figuras 23 e 24 estão apresentadas as curvas de tensão versus o deslocamento para os compósitos estudados com fibras longas e fibras curtas a fim de analisar seus comportamentos. Na Tabela 10 encontram-se os resultados experimentais obtidos a partir da análise das curvas.

Observam-se comportamentos diferentes dos compósitos reforçados com 1,5% de fibras longas e curtas (Figuras 23 e 24). Os compósitos com fibras longas apresentaram uma fase de elevada tensão, variando de 6 a 12 MPa e o deslocamento variou de 16 a 24 mm, os maiores valores referentes à variedade 'BRS Pérola' e os menores valores ao FIB-POT, respectivamente. Em relação ao comportamento das fibras curtas nos compósitos, a tensão variou de 3 a 6 MPa, e o deslocamento de 8 mm, referentes ao 'BRS Boyrá' e à variedade 'BRS Pérola', onde este último obteve os menores valores para tensão também em fibras longas. Esse comportamento pode estar relacionado com os valores de resistência encontrados

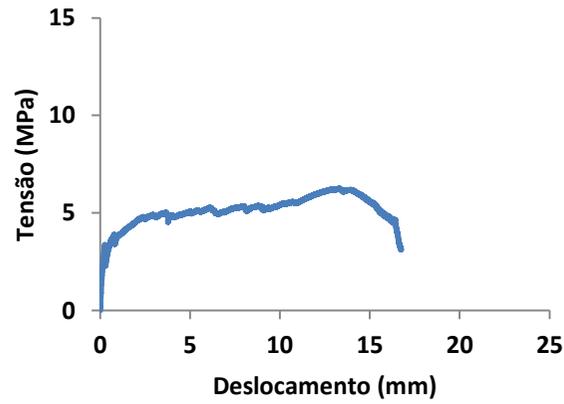
para as fibras durante o ensaio de tração. Para as fibras curtas, praticamente não houve variação entre as variedades.

De acordo com Lima (2004), o comportamento durante o ensaio de flexão é definido pelas propriedades dos compósitos quando esses são submetidos a esforços de tração e compressão ao mesmo tempo. Dessa forma, esse comportamento é controlado pelas curvas tensão-deformação do compósito, que podem ser descritas para determinar os valores de resistência na flexão.

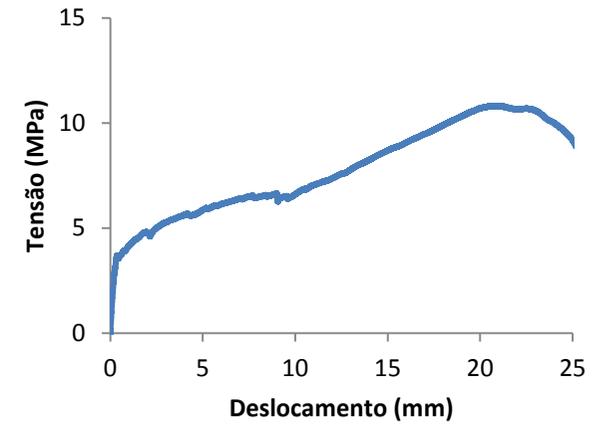
'BRS Imperial'



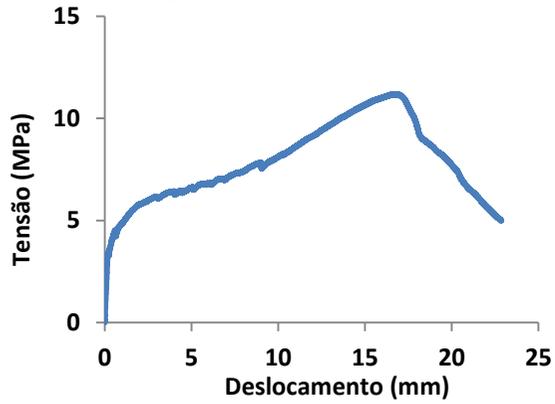
'BRS Pérola'



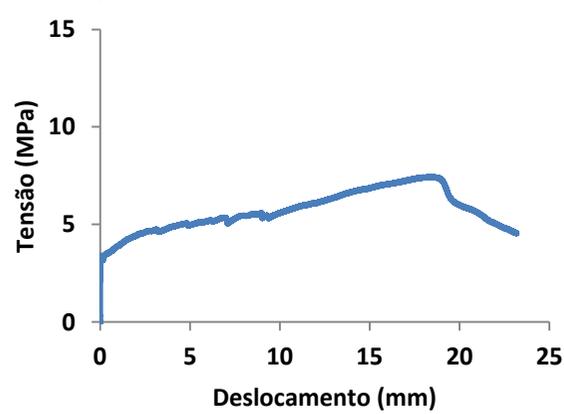
'Curauá'



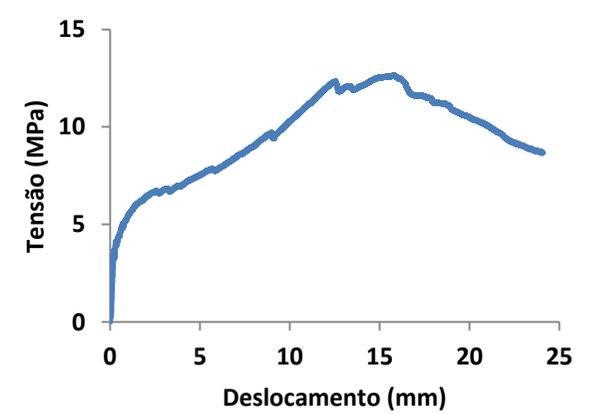
'Smooth Cayene'



'BRS Boyrá'

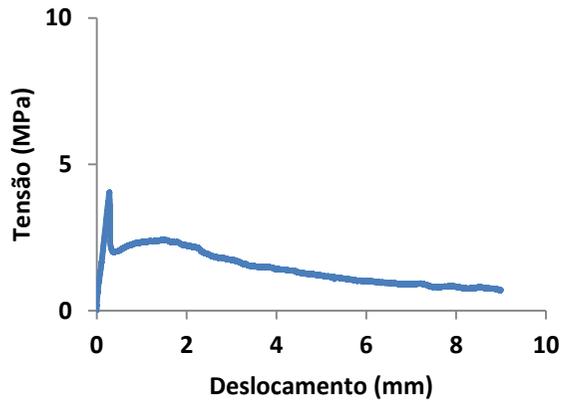


FIB-POT

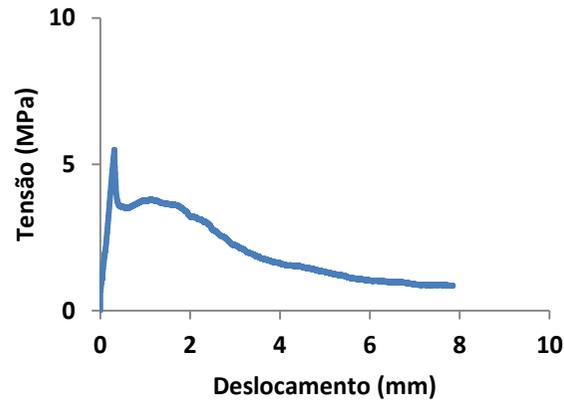


**Figura 23.** Curva carga-deslocamento na flexão para os compósitos reforçados com fibras longas.

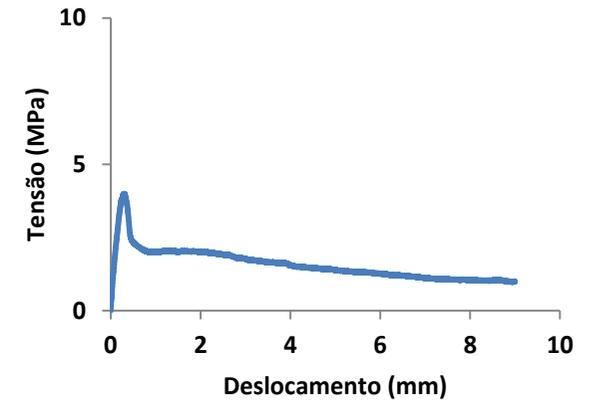
'BRS Imperial'



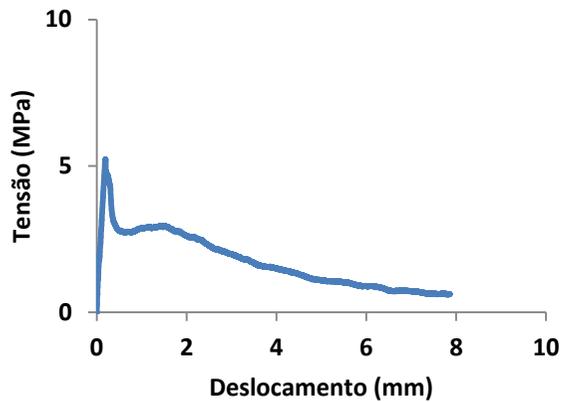
'BRS Pérola'



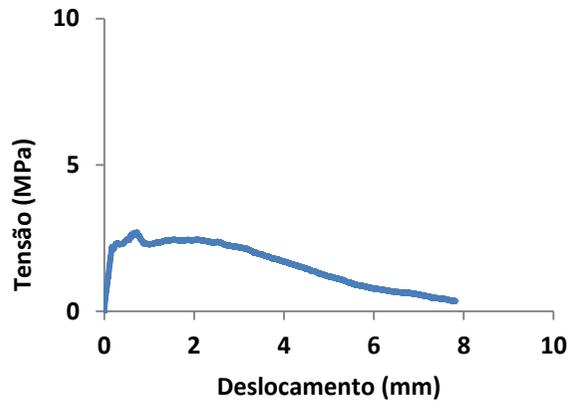
'Curauá'



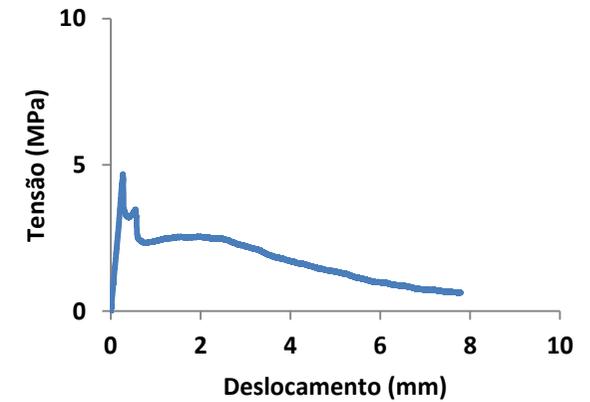
'Smooth Cayene'



'BRS Boyrá'



FIB-POT



**Figura 24.** Curva carga-deslocamento na flexão para os compósitos reforçados com fibras curtas.

Os resultados da tensão de pico, que representa o valor de abertura da primeira fissura, tensão pós-pico que se refere à tensão máxima e à elasticidade de pico referente ao deslocamento da primeira fissura, estão apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10.** Resultados experimentais de seis variedades de abacaxi durante o ensaio de flexão para os compósitos

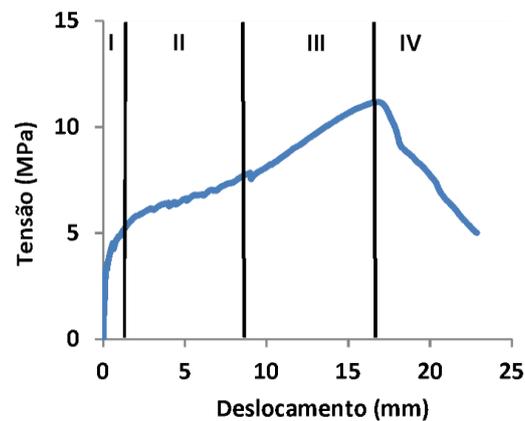
<b>Compósitos com fibras longas</b>			
<b>Mistura</b>	<b><math>\sigma</math> pico (MPa)</b>	<b><math>\delta</math> pico (mm)</b>	<b><math>\sigma</math> pós-pico (MPa)</b>
'BRS Imperial'	2,88 (19,55)	0,50 (55,76)	7,59 (22,35)
'BRS Pérola'	3,82 (17,98)	0,75 (57,13)	6,25 (13,32)
'Smooth Cayenne'	3,69 (25,83)	0,75 (56,63)	7,28 (23,58)
FIB-POT	3,41 (21,69)	0,25 (56,79)	12,64 (24,76)
'BRS Boyrá'	4,06 (17,19)	1,25 (59,35)	7,43 (21,48)
'Curauá'	3,74 (29,75)	0,75 (57,60)	10,89 (31,81)
<b>Compósitos com fibras curtas</b>			
<b>Mistura</b>	<b><math>\sigma</math> pico (MPa)</b>	<b><math>\delta</math> pico (mm)</b>	
'BRS Imperial'	4,05 (44,16)	0,29 (64,75)	
'BRS Pérola'	5,49 (53,69)	0,31 (64,34)	
'Smooth Cayenne'	5,22 (53,99)	0,19 (62,57)	
FIB-POT	4,67 (46,23)	0,27 (60,93)	
'BRS Boyrá'	2,71 (47,05)	0,74 (59,74)	
'Curauá'	5,14 (33,05)	0,46 (60,54)	

\*()Coeficiente de variação

Observa-se nesta tabela que para os compósitos reforçados com fibras longas, houve um aumento de tensão pós-pico variando de 6,25 a 12,64 MPa. O 'BRS Boyrá' foi o que obteve a maior tensão de pico. No entanto, o FIB-POT (12,64MPa) e o 'Curauá' (10,89 MPa), foram os que obtiveram a maior tensão pós-pico, o que indica que houve uma melhoria no compósito devido à utilização das fibras vegetais e que influenciou no comportamento do compósito, tornando-o mais resistente, ocorrendo múltiplas fissuras. Em relação aos compósitos reforçados com fibras curtas, a tensão de pico foi similar aos compósitos reforçados com fibras longas, ainda que não tenha havido o aumento de tensão pós-pico, pois os compósitos obtiveram apenas uma única fissura.

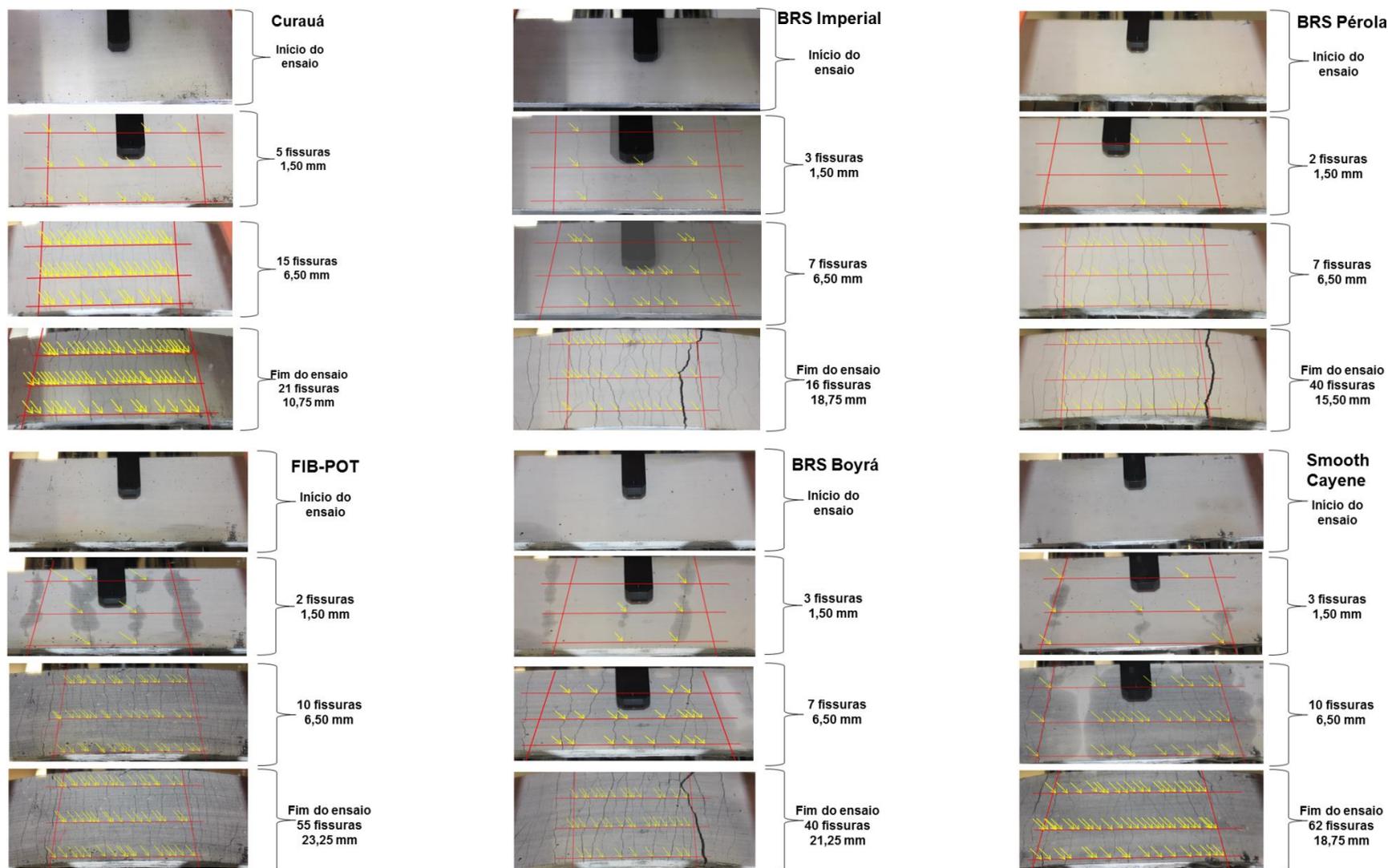
### **Análise de fissuração**

Na figura 25 pode-se observar o comportamento obtido para todas as placas submetidas ao ensaio de flexão em quatro pontos com quatro fases distintas.



**Figura 25.** Fases de fissuração dos compósitos sob flexão

A fase I corresponde à faixa de deslocamento, onde o comportamento do compósito é governado pela matriz e pelas fibras. Essa área termina com o aparecimento de fissuras na matriz, porém, sua capacidade de suportar carga não é influenciada pela presença das fibras. Na fase II, após o aparecimento da primeira fissura, há um aumento da sua dimensão devido ao aumento da tensão aplicada e à transferência de carga da matriz para as fibras. Essa fase é conhecida como multifissuração, pois é onde surgem diversas fissuras capazes de se propagarem por toda largura da amostra (Figura 25). Na fase III quase não ocorre abertura de novas fissuras, porém, ocorre a propagação e o aumento da abertura de fissuras já existentes. Na fase IV, nenhuma nova fissura é aberta e com isso ocorre o início da perda de aderência fibra-matriz. Nessa fase, a capacidade do compósito suportar carga é principalmente influenciada pelas fibras. O comportamento das placas submetidas ao ensaio foi similar aos resultados encontrados com a utilização de fibras de sisal em compósitos cimentícios (MELO FILHO, 2012; SANTOS, 2014; FILHO ARRUDA, 2015).



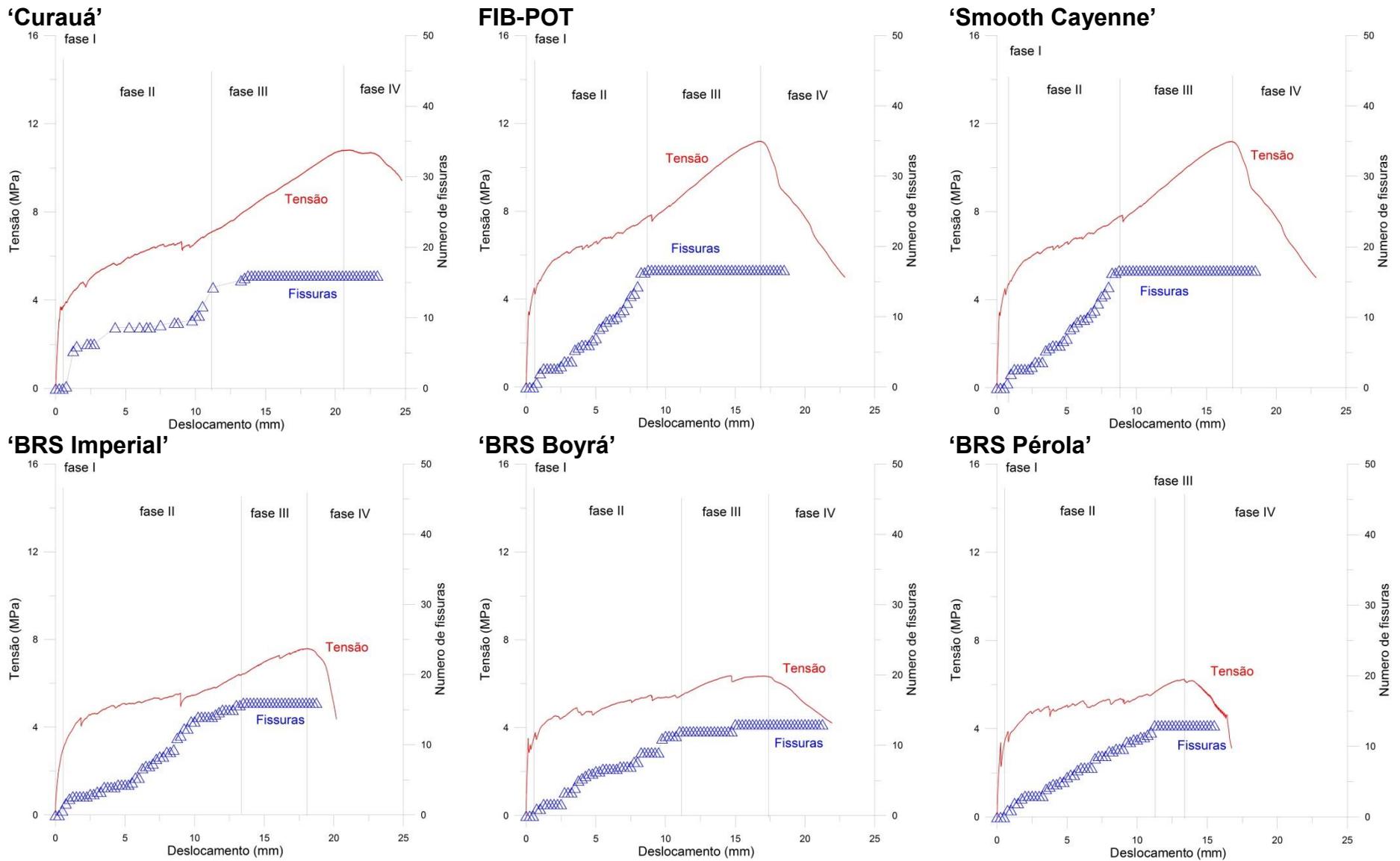
**Figura 26.** Número de fissuras e deslocamento das placas durante o ensaio de flexão.

Ao observar a Figura 26, é possível notar que houve interação entre a matriz e o reforço, pois ao surgir uma nova fissura na matriz, o reforço conseguiu impedir que a mesma continuasse a se propagar e aumentar as suas dimensões, então, logo outra fissura aparecia e impedia a sua expansão. Esse ciclo se repetiu gerando múltiplas fissuras no compósito. No entanto, é possível notar que no fim do ensaio, para as variedades 'BRS Imperial', 'BRS Pérola' e 'BRS Boyrá', houve a abertura de uma fissura já existente, onde se perde a aderência da fibra-matriz de forma progressiva e conseqüentemente a capacidade do compósito suportar a carga, que é influenciada pelas fibras. A média do número de fissuras variou de 13 a 21, e o espaçamento médio entre as fissuras variou de 4 a 6 mm (Tabela 11).

**Tabela 11.** Dados referentes à análise de fissuração

<b>Placa (variedade)</b>	<b>Média do número de fissuras</b>	<b>Espaçamento médio entre fissuras (mm)</b>
'BRS Imperial'	16	5
'BRS Pérola'	13	6
'Smooth Cayenne'	21	4
FIB-POT	18	4
'BRS Boyrá'	13	6
'Curauá'	19	4

Na figura 27 são apresentadas as fases de fissuração obtidas para cada um dos compósitos estudados.



**Figura 27.** Desenvolvimento da fissuração em compósitos reforçado com fibras de variedades de abacaxi.

É possível observar que mesmo utilizando o mesmo teor de fibras (1,5%) como reforço na mistura, as fibras longas apresentaram melhor comportamento mecânico no ensaio de flexão. A matriz reforçada com fibras curtas obteve uma única fissura e as reforçadas com fibras longas, permitiu um maior número de fissuras com menor espaçamento entre elas. De acordo com Ferreira (2012), isso ocorre porque quanto maior o volume e comprimento das fibras, menor serão os valores da primeira fissura quando submetidas a esforço na flexão dos compósitos. Neste trabalho, utilizando-se 1,5% de fibras longas alinhadas, a variedade 'BRS Pérola' foi a que obteve um menor número na média de fissuras e conseqüentemente um maior espaçamento entre as fissuras. A variedade 'Smooth Cayenne' apresentou maior valor para média do número de fissuras e menor valor para o espaçamento médio entre elas. O número e o espaçamento médio entre as fissuras é um parâmetro importante para a avaliação do desempenho dos compósitos, pois, são as fibras que controlam a abertura e o espaçamento entre as fissuras, as quais distribuem de forma mais uniforme as tensões dentro da matriz. Os resultados encontrados foram nesse trabalho foram similares a outros trabalhos utilizando fibras vegetais em matrizes cimentícias.

Lima (2004) estudou o comportamento sob flexão de compósitos reforçados com 1%, 2% e 3% de fibras de sisal e observou que a adição de fibras a matrizes reduziu a carga da primeira fissura.

Melo Filho (2012) estudou o comportamento sob flexão de compósitos reforçados com 2%, 4% e 6% de fibras curtas de sisal de 25 e 50 mm, e os resultados obtidos indicaram uma redução na tensão de primeira fissura, entre 1% e 6%, para as fibras com 25 mm e com os compósitos com fibras de 50 mm, a redução foi de 6,5% e 10%.

Santos (2014) produziu uma matriz autodensável utilizando areia reciclada de concreto para aplicar em compósitos reforçados com 4% e 6% de fibras de sisal e observou que as misturas apresentaram múltipla fissuração, chegando à conclusão de que a matriz é adequada para a produção de compósitos reforçadas com fibras vegetais.

Arruda Filho (2015) confeccionou tecidos com fibras de sisal e aplicou como reforço em uma matriz cimentícia. Os resultados obtidos indicaram um grande potencial, podendo ser utilizadas como elementos estruturais, semiestruturais ou de vedação.

Neste trabalho, as fibras do FIB-POT obtiveram o melhor comportamento quando aplicada à matriz cimentícia, influenciando diretamente na resistência do compósito, o que pode ser observado na Tabela 9. Sena Neto (2014) avaliando 18 variedades de abacaxi selecionou uma, Potyra, para ser utilizada como reforço mecânico em uma matriz polimérica e comprovou que a fibra desse abacaxi foi eficiente para reforço mecânico. O abacaxi Potyra é o mesmo FIB-POT estudado neste trabalho, e com base nesse estudo a melhor variedade para ser utilizada em matrizes cimentícios, é a FIB-POT, pois foi a que demonstrou os melhores resultados no ensaio dos compósitos.

## CONCLUSÃO

Durante o desenvolvimento desta pesquisa foi possível caracterizar fibras de variedades de abacaxi a partir das análises mecânicas, como também, avaliar a incorporação de fibras de abacaxi em matrizes cimentícias analisando seu comportamento durante os ensaios.

De acordo com os resultados obtidos, é possível concluir que:

- A absorção de água nas fibras de abacaxi apresentou um valor maior que 120% em relação ao seu peso inicial nas primeiras 24 horas. Isso é comum de acontecer, pois as fibras possuem a capacidade de absorver água por possuir sua estrutura interna porosa;
- A partir da MEV foi possível observar os aspectos similares da sua morfologia interna nas diferentes variedades;
- A análise de anatomia demonstrou que cada tipo de fibra possuiu suas características diferentes.
- O índice de cristalinidade foi similar a outros trabalhos, destacando-se o FIB-POT e o 'BRS Vitória com maiores índice (65%);
- As análises das propriedades mecânicas confirmam o excelente desempenho que essas fibras possuem, podendo ser utilizada na indústria;
- Em todos os compósitos reforçados com fibras longas, houve um aumento de tensão pós-pico, indicando que ocorreu uma melhoria do compósito devido à utilização das fibras vegetais;
- O uso de fibras de abacaxi com um maior comprimento obteve uma melhor aderência a matriz.
- O FIB-POT foi a variedade que apresentou um maior valor de tensão pós-pico, confirmando a sua utilidade como reforço em matrizes cimentícias em comparação com as demais variedades analisadas.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R. F.; SIQUEIRA, D. L.; CECON, P. R. Multiplicação *in vitro* do abacaxizeiro 'SmoothCayenne' utilizando benzilaminopurina (BAP) e ácido naftalenoacético (ANA). **Revista Ceres**, v. 55, p. 455-460, 2008.

ARRUDA FILHO, A. B. Placas cimentícias reforçadas com tecidos estruturais de sisal. **Dissertação** (mestrado) MEAU/UFBA, Salvador, 109 p., 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5733: **Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 23: **Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52: **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

AZIZ, SH, ANSELL, MP, CLARKE, SJ, PANTENY, SR. (2005) Modified polyester resins for natural fibre composites. **Composites Science and Technology** 65: 525–535.

BRANDT, AM (2008). Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering. **Composite Structures** 86: 3–9.

CABRAL, J. R. S.; CASTELLEN, M. D. S.; SOUZA, F. V. D.; DE MATOS, A. P.; FERREIRA, F. Banco ativo de germoplasma de abacaxi. Embrapa Mandioca e Fruticultura. **Documentos**, 2004.

CAO, Y, SHIBATA, S, FUKUMOTO, I. (2006) Mechanical properties of biodegradable composites reinforced with bagasse fibre before and after alkali treatments. **Composites: Part A** 37: 423-429.

CORRÊA, A. C. Preparação de nanofibras de celulose a partir de fibras de curauá para desenvolvimento de nanocompósitos poliméricos com EVA. **Tese** (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2010.

CLARAMUNT, J., ARDANUY, M., GARCIA-HORTAL, J.A., "Effect of drying and rewetting cycles on the structure and physicochemical characteristics of softwood fibres for reinforcement of cementitious composites", In: **Carbohydrate Polymers**, v. 79, 2010.

DANSO, K. E.; AYEYEH, K. O.; ODURO, V.; AMITEYE, S.; AMOATEY, H. M. Effect of 6-Benzylaminopurine and Naphthalene Acetic Acid on In Vitro Production of MD2 Pineapple Planting Materials. **World Applied Sciences Journal**, v. 3, p. 614-619, 2008

FEDER, N.; O' BRIEN, T.P. Plant microtechnique: some principles and new methods. **American Journal of Botany**, New York, v. 55, p.123-142, 1968.

FERREIRA, S. R. **Influência da hornificação na aderência fibra-matriz e no comportamento mecânico de compósitos cimentícios reforçados com fibras de sisal**. 2012, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – UEFS/DTEC/ Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Feira de Santana, Ba.

FIDELIS, M.E.A., PEREIRA, T.V.C., GOMES, O.F.M., SILVA, F.A., TOLEDO FILHO, R.D. The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers. **Journal of Materials Research and Technology**, v.2, p. 147-159, 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) Database, United States: Database. [United States: **FAO/FAOSTAT**, Disponível em: <[http://faostat,fao,org](http://faostat.fao.org)>, Acesso em: 12 Jun 2015.

HARVEY, A. Strategies for discovering drugs from previously unexplored natural products. **Drug Discovery Today**, London, v. 5, p. 294-300, 2000.

LEÃO, A. L.; MACHADO, I. S.; SOUZA, S. F.; SORIANO, L. Production of curaua fibers for industrial applications: characterization and micropropagation. **Acta Horticulturae**, João Pessoa, v. 822, p. 227-238, 2009.

LEÃO, A. L.; CARASCHI, J. C.; TAN, I. H. Curauá fiber- A tropical natural fiber from Amazon - potential and applications in composites. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A. L.; MATTOSO, L. H. C. (Ed.). **Natural polymers and agrofibers composites**, Embrapa Instrumentação Agropecuária: São Carlos, p. 257-272, 2000.

LI, Y.;HU, C.; YU, Y. Interfacial studies of sisal fiber reinforced high density polyethylene (HDPE) composites. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Volume 39, Issue 4, 570-578, 2008.

LIMA, P. R. L. **Análise teórica e experimental de compósitos reforçados com fibras de sisal**. 2004, 16,93p. Tese (Doutorado Engenharia Civil) – UFRJ/COPPE/ Programa de Engenharia Civil, Rio de Janeiro.

LIU, W, MISRA, M, ASKELAND, P, DRZAL, LT, MOHANTY, AK (2005) Green composites from soy based plastic and pineapple leaf fiber: fabrication and properties evaluation. **Polymer** 46: 2710–2721.

LUTHER. H. E. An alphabetical list of Bromeliad binomials. 13. ed. Sarasota, FL: The Marie Selby Botanical Gardens; **The Bromeliad Society International**, 2012.

MALÉZIEUX, E.; CÔTE, F.; BARTHOLOMEW, D.P. Crop environment, plant growth and physiology. In: BARTHOLOMEW, D.P.; PAULL, R.E.; ROHRBACH, K.G. (Ed.). **The pineapple: botany, production and uses**. New York: CABI Publishing, 2003. p.69-107.

MANETTI, L. M.; DELAPORTE, R. H.; LAVERDE JUNIOR, A. Metabólitos secundários da família Bromeliaceae. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n.7, p.1885-1897, 2009.

MARQUES, G.; GUTIÉRREZ, A.; DEL RIO, J. C. Chemical Characterization of Lignin and Lipophilic Fractions from Leaf Fibers of Curaua (*Ananas erectifolius*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 55, n. 4, p. 1327-1336, 2007.

MELO FILHO, J. A. Durabilidade Química e Térmica e Comportamento Mecânico de Compósitos de Alto Desempenho Reforçados com Fibras de Sisal. **Tese** (doutorado) COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 207 p., 2012.

MISHRA, S, MOHANTY, AK, DRZAL, LT, MISRA, M, HINRICHSEN, G. (2004) A Review on Pineapple Leaf Fibers, Sisal Fibers and Their Biocomposites. **Macromol. Mater. Eng.** 289, 955–974.

MOHANTY AK, KHAN MA, HINRICHSEN G. (2000) Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics-polyester amide composite. **Composites: Part A** 31:143–50.

MUKHERJEE, P. S.; SATYANARAYANA, K. G. **Structure and properties of some vegetable fibres. Part 2 Pineapple fibre (Anannus Comosus)**. Journal of Materials Science, 21 (1986), 51-56.

OLIVEIRA, E.L., LADCHUMANANANDASIVAM, R., ALEXANDRE, M.E.O., VERÍSSIMO, S.A., BEZERRA, C.M., SOUZA, E.C. Produção e caracterização das fibras das folhas do abacaxi. **COBEQ 2004**, Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Curitiba – PR, setembro de 2004.

OLIVEIRA, M.T., FERRAREZI, M.M.F., GONÇALVES, M.C. Morphological evolution of curauá fibers under acid hydrolysis. **Cellulose**, 19 (2012), pp. 1199–1207.

PEREIRA, T.V.C.; FIDELIS, M.E.A.; GOMES, O.F.M.; SILVA, F.A.; TOLEDO FILHO, R.D. Investigação da influência morfológica via análise de imagens na resistência à tração de fibras naturais. **ABM 2012**, Congresso anual internacional, Rio de Janeiro – RJ, agosto de 2012.

RASBAND, W.S. **ImageJ**, U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2012.

ROMANZINI, D, LAVORATTI, A, ORNAGHI JR., HL, AMICO, SC, ZATERRA, AJ. (2013) Influence of fiber content on the mechanical and dynamic mechanical properties of glass/ramie polymer composites. **Materials and Design** 4: 9–15

SALES, A.T.C. Retração, fluência e fraturas em compósitos cimentícios reforçados com polpa de bambu. 2006. **Tese** (Doutorado em Engenharia Civil) – PUC – Rio, 2006.

SANTOS, P.A., SPINACÉ, M. A. S., FERMOSELLI, K. G., PAOLI, M.A. Efeito da Forma de Processamento e do Tratamento da Fibra de Curauá nas Propriedades de Compósitos com Poliamida-6. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 19, nº 1, p. 31-39, 2009.

SANTOS, R. J., “**Aderência fibra-matriz e comportamento mecânico de compósitos reforçados com resíduos de sisal.**” Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2013

SANTOS, S. C.; FERNANDES, J. J. R.; CARVALHO, E. R.; GOUVEA, V. N.; LIMA, M. M.; DIAS, M. J. Utilização da silagem de restos culturais do abacaxizeiro em substituição à silagem de cana-de-açúcar na alimentação de ovinos. **Ciência Animal Brasileira**, v.15, n. 4, p. 400-408, 2014.

SAS Institute Inc. **SAS/STAT**: user’s guide, v.9,2. Cary, NC, 2010.

SAVASTANO JR, H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: Reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** 2000. Tese (Livre Docência) – Departamento de Engenharia de Construção Civil – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.

SENA NETO, A. R.; ARAUJO, M. A.; SOUZA, F. V.; MATTOSO, L. H.; MARCONCINI, J. M. Characterization and comparative evaluation of termal, structural, chemical, mechanical and morphological properties of six pineapple leaf fiber varieties for use in composites. **Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 529-537, 2013.

SENA NETO, A.R. Estudo de fibras de folhas de abacaxis (gênero *ananas*) e sua utilização em compósitos biodegradáveis com matriz de Poli(ácido láctico) (PLA). **Tese** (Doutorado em Ciência e engenharia dos materiais). Universidade Federal de São Carlos, 2014.

SENA NETO, Alfredo R. ; Araujo, Marco A.M. ; BARBOZA, RAIZA M.P. ; FONSECA, ALESSANDRA S. ; TONOLI, GUSTAVO H.D. ; Souza, Fernanda V.D. ; Mattoso, Luiz H.C. ; Marconcini, Jose M. . Comparative study of 12 pineapple leaf fiber varieties for use as mechanical reinforcement in polymer composites. **Industrial Crops and Products**, v. 64, p. 68-78, 2015.

SILVA,N..F.A. CHAWLA,R.D. TOLEDO FILHO. Tensile behavior of high performance (sisal) fibers. **Compos Sci Technol**, 68 (2008), pp. 3438-3443

SOUZA, E. H.; SOUZA, F. V. D.; COSTA, M. A. P.; COSTA JUNIOR, D. S.; SANTOS-SEREJO, J. A.; AMORIM, E. P.; LEDO, C. A. S. Genetic variation of the *Ananas* genus with ornamental potential. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 59, p. 1357-1476, 2012.

SPINACÉ, MÁRCIA A. S.; JANEIRO, L. G.; BERNARDINO, F. C.; GROSSI, T. A.; DE PAOLI, M.A. Poliiolefinas reforçadas com fibras vegetais curtas: sisal vs. curauá **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 21, núm. 3, 2011, pp. 168-174.

TOMCZAK, FABIO. Estudos sobre a estrutura e propriedades de fibras de coco e curauá do Brasil. **Tese** (Doutorado em Engenharia e Ciências dos Materiais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

ZHU, J, ZHU, H, NJUGUNA, J, ABHYANKAR, H. (2013) Recent Development of Flax Fibres and Their Reinforced Composites Based on Different Polymeric Matrices. **Materials**, 6, 5171-5198.

ZAH, R.; HISCHIER, R.; LEÃO, A. L.; BRAUN, I. Curauá fibers in the automobile industry – a sustainability assessment. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 15, p. 1032-1040, 2007.

## **CAPÍTULO 2**

### **DIVERSIDADE GENÉTICA E ASSOCIAÇÃO DE MARCADORES ISSR À QUALIDADE DE FIBRA DE ABACAXI PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

---

<sup>1</sup>Artigo a ser ajustado e submetido ao Comitê Editorial do periódico científico Genetic Molecular Research

## DIVERSIDADE GENÉTICA E ASSOCIAÇÃO DE MARCADORES ISSR À QUALIDADE DE FIBRA DE ABACAXI PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

**Autora:** Julianna Matos da Silva  
**Orientadora:** Cláudia Fortes Ferreira  
**Coorientadora:** Fernanda Vidigal Duarte Souza  
**Coorientador:** Paulo Roberto Lopes Lima

**Resumo:** Com a crescente busca por materiais de fontes renováveis, as fibras vegetais se tornaram uma alternativa para a formulação de novos materiais. Vários estudos demonstram o potencial de fibras de abacaxi para a formulação de compósitos. O objetivo desse trabalho foi avaliar a variabilidade genética de 11 genótipos de abacaxizeiro para o uso de suas fibras como reforço em compósitos cimentícios e analisar a possível associação de 131 bandas provenientes de 16 marcadores ISSR com características de qualidade de fibra por meio de testes não paramétricos - correlação de Spearman e Kruskal-Wallis. O estudo de diversidade genética por meio dos marcadores moleculares e pelas variáveis quantitativas, demonstraram a existência de variabilidade. Foram selecionadas 11 bandas a partir das suas altas correlações, que variaram de  $-0,64578^*$  a  $0,72457^*$ , com três variáveis para a qualidade da fibra, possibilitando a seleção de bandas promissoras. Dessas onze bandas, duas bandas foram purificadas, sequenciadas e blastadas (*no hit*) contra sequências depositadas no genbank do NCBI (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>). Esses marcadores serão posteriormente validados com possibilidade de uso na seleção assistida por marcadores moleculares no melhoramento genético do abacaxizeiro para qualidade de fibra. O fato de serem *no hits* no BLAST (*Basic Local Alignment Search Tool*) abre novas oportunidades de, por meio da validação, serem depositadas como novas sequências no genbank do NCBI, caso estejam realmente relacionadas com a qualidade de fibra.

**Palavras Chaves:** *Ananas comosus* (L.) Merr., diversidade genética, teste não paramétrico, Spearman; Kruskal-Wallis; marcadores de DNA.

## DIVERSIDADE GENÉTICA E ASSOCIAÇÃO DE MARCADORES ISSR À QUALIDADE DE FIBRA DE ABACAXI PARA USO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

**Autora:** Julianna Matos da Silva  
**Orientadora:** Cláudia Fortes Ferreira  
**Coorientadora:** Fernanda Vidigal Duarte Souza  
**Coorientador:** Paulo Roberto Lopes Lima

**ABSTRACT:** With the increasing demand for resources of renewable materials, plant fibers becomes an attractive alternative. Many studies have shown the potential of pineapple fibers in the formulation of composites. The objective of the present work was to evaluate the genetic variability of eleven pineapple genotypes for use as fibers as reinforcement of cement composites and investigate possible association of 131 bands from 16 ISSR markers with fiber quality using non-parametric tests – Spearman correlation and Kruskal Wallis. The genetic diversity study using molecular markers and quantitative variables, showed variability among the varieties. Eleven bands were selected due to high correlation, which varied from - 0.64578\* to 0,72457\*, for three variables of fiber quality, enabling the identification of promising bands. Of these eleven bands, two were purified, sequenced and blasted (*no hit*) against the NCBI genbank (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>), and will be validated with possible use in the pineapple genetic breeding program for fiber quality. Being no hits when blasted opens new opportunities that through validation, they can be deposited as new sequences into the NCBI genbank if proven related to fiber quality.

**Key-words:** *Ananas comosus* (L.) Merr., genetic diversity, non parametric tests, Spearman; Kruskal-Wallis; DNA markers.

## INTRODUÇÃO

O abacaxi pertence à família bromeliácea que é constituída por aproximadamente 58 gêneros e 3352 espécies (CABRAL et al., 2004; LUTHER, 2012). É uma das frutas mais consumidas no mundo (ARAÚJO et al., 2008), sendo produzida na maioria dos estados brasileiros, com uma área plantada de aproximadamente 61 mil ha e produção de 2,48 milhões de toneladas em 2013 (FAO, 2016).

Nos últimos anos tem crescido o interesse pela utilização de materiais de fontes renováveis e sustentáveis, e as fibras vegetais têm sido consideradas para substituir as fibras sintéticas como reforço para a formulação de compósitos.

Trabalhos vêm sendo realizados utilizando fibras vegetais como reforço em compósitos oriundas de diferentes culturas, como sisal, juta, coco, abacaxi, soja e banana (ZHU et al., 2013, ROMANZINI et al. 2013, CAO et al. 2006, LIU et al. 2005, MISHRA et al. 2004, MOHANTY et al.,2000). Na construção civil, vem-se destacando a utilização de fibras vegetais em matrizes cimentícias, sendo uma excelente alternativa, pois a adição de fibras minimiza o comportamento frágil da matriz (BRANDT et al. 2008, AZIZ et al. 2005).

A Embrapa Mandioca e Fruticultura possui uma grande coleção do gênero *Ananas*, totalizando mais de 600 acessos (SOUZA et al., 2012), sendo que alguns já foram caracterizados com o objetivo de avaliar a qualidade de suas fibras no uso de compósitos poliméricos (Sena et al., 2013; 2015). Ampliar o número de acessos avaliados para essa finalidade, entretanto, é uma atividade laboriosa e de custo muito elevado. Dessa forma se faz necessário o uso de estratégias que possibilitem essa caracterização de forma mais facilitada.

As técnicas da biologia molecular podem contribuir para o avanço nos programas de melhoramento genético por meio do uso de marcadores moleculares, que detectam a variabilidade genética em nível de sequência de DNA, ou seja, determinam o polimorfismo genético (FERREIRA; GRATTAPAGLIA, 1998).

Os marcadores ISSR (Inter-Simple Sequence Repeats) são baseados em PCR (Reação em Cadeia Polimerase), não exigem o conhecimento prévio de sequencias de DNA da espécie-alvo, além de produzirem fragmentos com grande reprodutibilidade, elevado grau de polimorfismo e baixo custo. Esse marcador tem

sido utilizado em estudos de diversidade e variabilidade genética (GONZALÉZ et al., 2002; BARTH, 2002; GOTTARDI et al., 2001). Uma importante aplicação dos marcadores moleculares tem sido a seleção assistida por marcadores (SAM), a qual auxilia os melhoristas em diversas técnicas da biologia molecular, entre elas, a seleção para característica de interesse (ALZATE-MARIN et al., 2005; BORÉM; CAIXETA 2009).

Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a diversidade genética existente entre as variedades de abacaxi estudadas e identificar associações entre bandas provenientes de marcadores ISSR com as variáveis para qualidade de fibra, e sequenciar bandas de interesse para possível uso de marcadores na seleção assistida por marcador SCAR (*Sequence Characterized Amplified Region*) mediante posterior validação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Material Vegetal

Foram selecionadas 5 variedades cultivadas de abacaxi (1 a 5), um novo híbrido para alimentação (6), quatro híbridos ornamentais que têm o curauá como um dos parentais (7 a 10) e o curauá (11) usado como referencial e oriundo do BAG-Abacaxi. As variedades cultivadas e os híbridos foram obtidos dos campos de cruzamento e de matrizeiros da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas - Bahia (Tabela 1).

**Tabela 1.** Genótipos utilizados nos estudos de qualidade da fibra para uso como reforço em compósitos cimentícios.

Variedades	Nome Científico
1. 'BRS Imperial'	<i>A. comosus</i> var. <i>comosus</i>
2. 'BRS Pérola'	<i>A. comosus</i> var. <i>comosus</i>
3. 'Smooth Cayenne'	<i>A. comosus</i> var. <i>comosus</i>
4. BRS Vitória'	<i>A. comosus</i> var. <i>comosus</i>
5. 'BRS Ajubá'	<i>A. comosus</i> var. <i>comosus</i>
6. PE x SC-73	<i>A. comosus</i> var. <i>comosus</i>
7. 'BRS Anauê'	<i>A. comosus</i> var. <i>erectifolius</i> x <i>A. comosus</i> var. <i>Bracteatus</i>
8. FIB-POT	<i>A. comosus</i> var. <i>erectifolius</i> x <i>A. comosus</i> var. <i>Bracteatus</i>
9. 'BRS Boyrá'	<i>A. comosus</i> var. <i>ananassoides</i> x <i>A. comosus</i> var. <i>erectifolius</i>
10. FIB-GOR	<i>A. comosus</i> var. <i>erectifolius</i> x <i>A. comosus</i> var. <i>Bracteatus</i>
11. 'Curauá'	<i>Ananas comosus</i> (L.) Merr. var. <i>erectifolius</i> (L.B.Sm.) Coppens & F.Leal

## Extração do DNA

A extração de DNA foi realizada no Núcleo de Biologia Avançada da Embrapa Mandioca e Fruticultura. O método utilizado foi o CTAB (brometo de cetiltrimetilamônio) proposto por Doyle e Doyle (1990).

Foram coletadas folhas jovens dos 11 genótipos de abacaxi para a extração de DNA. Aproximadamente 300 mg das folhas foram maceradas na presença de nitrogênio líquido, transferidas para microtubos de 2,0 mL, onde foi adicionado o tampão de extração (1,7 M NaCl; 0,1 M Tris-HCl 1M pH 8.0; 20mM EDTA 0,5; 2% polivinilpirrolindon; 2,4% CTAB e 0,4%  $\beta$ -mercaptoetanol) previamente aquecido a 65 °C e os tubos homogeneizados por 5 min. Em seguida, as amostras foram incubadas em banho-maria a 65 °C por 45 min. e homogeneizadas a cada 10 min.

Após esta etapa, foi adicionado às amostras clorofórmio álcool-isoamílico (24:1) e as mesmas centrifugadas a 10.000 rpm por 10 min. (etapa realizada por duas vezes), seguida da adição de álcool isopropílico gelado ao sobrenadante. Posteriormente, o material foi incubado em freezer por 24 horas a - 20 °C e centrifugado 10.000 rpm por 10 min. O DNA foi lavado com etanol 70 % e logo após a lavagem, o *pellet* foi ressuspensão em TE (10 Mm Tris-HC, pH 8.0, 1 EDTA) mais ribonuclease (10 mgmL<sup>-1</sup> RNase), colocado na estufa a 37 °C e adicionado acetato do sódio 3.0 M. O material foi então centrifugado por 20 segundos a 3.000 rpm. Ao sobrenadante foi adicionado etanol absoluto gelado e as amostras centrifugadas a 10.000 rpm. O DNA foi lavado mais duas vezes com etanol 70% e ressuspensão em TE. Por fim, o DNA extraído foi armazenado em freezer à temperatura de - 20 °C. A avaliação da quantidade e qualidade do DNA foi efetuada mediante análise comparativa das amostras em gel de agarose 1.0 %, utilizando-se marcadores de peso molecular conhecido.

## Amplificação do DNA via marcadores ISSR

A amplificação do DNA foi realizada utilizando-se 16 iniciadores ISSR (Tabela 2). As reações de PCR foram completadas para um volume final de 15 uL, contendo os seguintes reagentes: Tampão 1x, MgCl<sub>2</sub> 2,5 mM, dNTPs 0,2 mM, 0,2  $\mu$ M de cada *primer*, 1 U de Taq Polimerase (LBM), 25 ng de DNA genômico. As amplificações

foram realizadas em termociclador da marca Applied Biosystems, modelo Veriti® 96-Wells, utilizando-se o seguinte programa: uma etapa de desnaturação inicial a 94 °C durante 3 min., seguido de 45 ciclos de desnaturação a 94°C durante 45 segundos cada um, 45 segundos para o anelamento do primer a 48 °C e extensão a 72°C durante 1 min. Seguindo de uma extensão final a 72°C 7 minutos e 10 °C ∞.

Os produtos amplificados foram separados por eletroforese em gel de agarose 2,5%, a 90 V, em tampão TBE 0.5X e corados com brometo de etídio (0,5 ug mL<sup>-1</sup>). A visualização dos fragmentos amplificados foi feita sob luz UV e fotografados usando um sistema de fotodocumentação. Os tamanhos dos fragmentos foram determinados baseados em padrão molecular, usando um marcador de um 1 Kb (Qiagen).

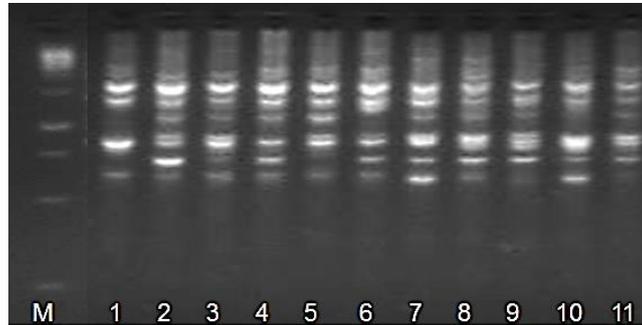
**Tabela 2.** Identificação e sequência dos 16 *primers* ISSR usados no estudo de diversidade genética.

	<b>Nome do marcador</b>	<b>Sequência (5' - 3')</b>	<b>Temperatura de anelamento (°C)</b>	<b>Número de bandas polimórficas</b>
ISSR 03	DiCA3'RG	CACACACACACACACARG	48	02
ISSR 07	DiCA5'CY	CYCACACACACACACACA	48	03
ISSR 24	DiGT5'A	AGTGTGTGTGTGTGTGT	48	17
ISSR 30	TriCAC3'YC	CACCACCACCACCACYC	48	07
ISSR 32	TriCAC5'CY	CYCACACCACCACCAC	48	03
ISSR 34	TriCAG3'RC	CAGCAGCAGCAGCAGRC	48	04
ISSR 35	TriCAG3'YC	CAGCAGCAGCAGCAGYC	48	17
ISSR 36	TriCAG5'CR	CRCAGCAGCAGCAGCAG	48	05
ISSR 42	TriGTG5'CY	CYGTGGTGGTGGTGGTG	48	07
ISSR 53	TriATC3'RC	ATCATCATCATCATCRC	48	18
ISSR 72	TriTCC3'RC	TCCTCCTCCTCCTCCRC	48	09
ISSR 81	TriCTT3'RC	CTTCTTCTTCTTCTTRC	48	13
ISSR 84	TriCCT3'RC	CCTCCTCCTCCTCCTRC	48	17
ISSR 90	TriGAA3'RC	GAAGAAGAAGAAGAARC	48	02
ISSR 94	TriGTA3'RC	GTAGTAGTAGTAGTARC	48	04
ISSR 95	TriGTT3'RC	GTTGTTGTTGTTGTTTC	48	03

### **Análise molecular dos dados**

Os fragmentos oriundos das reações de ISSR tanto para o estudo de diversidade, quanto de associação, foram avaliados como ausência (0) e presença (1) de bandas. Foi gerada uma matriz de dissimilaridade genética entre os genótipos, sendo calculada a partir do coeficiente de Jaccard (índice do complemento de Jaccard = 1 - c) por meio do programa computacional GENES (Cruz et al. 2013). O teste de agrupamento dos genótipos foi realizado pelo método UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method With Arithmetic Mean*) empregando o

software Statistica (Statistica, 2004). A validação do agrupamento foi determinada pelo coeficiente de correlação cofenético (CCC) (SOKAL; ROLF, 1962).



**Figura 1.** Perfil eletroforético dos 11 genótipos de abacaxi: 1- BRS Imperial; 2- BRS Pérola; 3- Smooth Cayene; 4- PE x SC-73; 5- BRS Vitória; 6- BRS Ajubá; 7- BRS Anauê; 8- FIB-POT; 9- BRS Boyrá; 10- FIB-GOR; 11- Curauá utilizando-se o ISSR 30 em gel de agarose 2,5%. M = ladder 1 Kb (Qiagen<sup>TM</sup>).

### **Análise das características fenotípicas**

Os dados de qualidade da fibra foram os dados obtidos a partir dos ensaios realizados no primeiro capítulo deste trabalho. As principais variáveis medidas estão relacionadas às propriedades mecânicas de resistência à tração, módulo de elasticidade e absorção.

Foi realizada uma análise de agrupamento conjunta dos dados moleculares (qualitativos) e fenotípicos (quantitativos) para determinar a distância genética com base no algoritmo de Gower (1971), sendo a validação do agrupamento determinada pelo coeficiente de correlação cofenético (CCC) (SOKAL; ROLF, 1962).

### **Análise não-paramétrica**

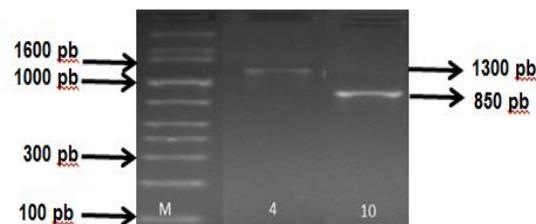
A análise de correlação foi realizada entre 3 variáveis para qualidade da fibra e as 131 bandas provenientes dos 16 marcadores moleculares. Foi utilizada a correlação de Spearman e o teste não-paramétrico de Kruskal Wallis (1964), por meio do software estatístico SAS (SAS, 2010) utilizando-se os comandos: *proc*,

*corr spearman* e *proc npar1way* e *anova*, respectivamente. O teste não-paramétrico foi aplicado por não exigir distribuição normal dos dados ou distribuição conhecida.

## Sequenciamento de bandas para desenho de marcador SCAR

Após a correlação dos dados via metodologia não-paramétrica, embora não esperado, foram encontradas correlações relativamente altas entre as bandas e as características de interesse para a qualidade da fibra. Entretanto, embora todas as 11 bandas terem sido cortadas do gel de agarose, apenas 2 apresentaram PCR com banda única (Figura 2). Essas bandas únicas foram então purificadas para o sequenciamento utilizando-se o kit Invitrogen Accuprep gel purification kit da BIONEER

(<http://us.bioneer.com/Protocol/AccuPrep%20Gel%20Purification%20Kit.pdf>), cat #: K2100-12. Em seguida as amostras foram enviadas para sequenciamento por eletroforese capilar, em aparelho ABI3730, utilizando-se polímero POP7 e BigDye v3.1., na empresa Myleus Biotechnology ([www.myleus.com](http://www.myleus.com)).



**Figura 2.** Perfil eletroforético com bandas purificadas dos primers ISSR 72 e ISSR 84 respectivamente, 4 – PE x SC-73; 10- ‘FIB-GOR’ em gel de agarose 2,5%. M = ladder 1 Kb (Tiangen<sup>TM</sup>).

Após a obtenção dos arquivos FASTA contendo os contigs provenientes do sequenciamento, os primers SCAR foram desenhados utilizando-se o software PRIMER3PLUS(<http://www.bioinformatics.nl/cgi-bin/primer3plus/primer3plus.cgi>).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Diversidade genética baseada nos dados moleculares

Os 16 primers ISSR testados nos 11 genótipos geraram um total de 131 bandas polimórficas. O número de bandas por primer variou de 2 (ISSR 03) a 18 (ISSR 53) com uma média de 8 bandas polimórficas por primer.

O dendograma que foi gerado a partir do índice de Jaccard, por meio da matriz de dissimilaridade genética entre os genótipos, indicou a formação de 2 grupos (Figura 3A). No G1 ficaram agrupados 6 genótipos ('BRS Imperial', 'BRS Pérola', 'Smooth Cayenne', PE x SC-73, 'BRS Vitória' e 'BRS Ajubá'), o G2, 5 genótipos ('BRS Anauê', FIB-POT, 'BRS Boyrá', FIB-GOR e o 'Curauá'). Os grupos foram formados a partir das características similares dos genótipos, no caso do G1 todas as variedades são comestíveis e no G2 ficaram agrupados os híbridos ornamentais e o 'Curauá', visto que esses híbridos possuem um dos seus parentais em comum, o 'Curauá'. O FIB-POT demonstrou uma excelente resistência quando aplicado ao compósito cimentício. Essa característica pode ter sido herdada de um dos seus parentais que é o 'Curauá', que já foi comprovado que suas fibras podem ser aplicadas como reforço em compósitos poliméricos, tornando-se viável para a indústria.

Com base na matriz de dissimilaridade para os dados moleculares, os valores das distâncias genéticas variaram de 0,42 a 0,86. A maior dissimilaridade foi observada entre os genótipos 'BRS Imperial' e o 'BRS Anauê' e a menor foi registrada entre o 'Smooth Cayenne' (SC) e o PE x SC-73, muito provavelmente porque o último é um híbrido oriundo de 'Smooth Cayenne'.

Souza (2015) caracterizou e procedeu-se ao estudo de diversidade de 13 genótipos de abacaxi para uso de suas fibras como reforço mecânico e obteve 217 bandas provenientes de 17 marcadores ISSR, enquanto os valores de distância genética variaram de 0,09 a 0,64. Vanijajiva (2012) avaliando a diversidade de 15 acessos de abacaxi na Tailândia, a partir de 4 marcadores ISSR obteve 27 bandas polimórficas e uma distância genética de 0,32 a 0,97 entre os acessos estudados. Esses estudos revelam a existência de variabilidade genética entre variedades de abacaxi a partir do uso de marcadores ISSR.

### **Diversidade genética baseada nas características fenotípicas**

Os dados utilizados para qualidade da fibra estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Valores dos índices de resistência à tração, módulo de elasticidade e absorção de água das fibras de folhas de abacaxi estudadas.

<b>Variedade</b>	<b>Resistência a tração (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidade (MPa)</b>	<b>Absorção (g)</b>
'BRS Imperial'	321.47	12358.67	2.27
'BRS Pérola'	257.48	8915.12	2.30
'Smooth Cayenne'	396.12	18464.48	2.10
PE x SC-73	451.04	16706.74	2.21
'BRS Vitória'	376.91	11952.57	2.25
'BRS Ajubá'	370.13	13982.35	2.26
'BRS Anauê'	273.01	14619.78	2.27
FIB-POT	336.70	18170.52	2.23
'BRS Boyrá'	272.95	16046.04	2.05
'FIB-GOR	224.15	6963.66	2.14
'Curauá'	480.23	27426.84	1.99

Em relação às variáveis quantitativas, pode-se observar a formação de 2 grupos a partir da distância euclidiana média (Figura 3B). No G1 encontram-se 10 genótipos ('BRS Imperial', 'BRS Vitória', 'BRS Ajubá', 'BRS Anauê', FIB-POT, 'BRS Pérola', 'Smooth Cayenne', 'BRS Boyrá', PE x SC-73 e o FIB-GOR), e no G2 ficou apenas com o 'Curauá', que provavelmente tenha se separado das demais variedades devido às suas fibras possuírem os maiores valores relacionados à resistência à tração (480 MPa) e módulo de elasticidade (18 GPa). Os valores da distância genética variaram de 0,23 entre 'BRS Vitória' e 'BRS Ajubá' a 3,06 entre FIB-GOR e 'Curauá'. As distâncias mais próximas entre os acessos estudados e o 'Curauá', ficou com os acessos 'BRS Boyrá' e o FIB-GOR com 0,30 e 0,32 respectivamente. Em princípio, esses acessos possuem o 'Curauá' como um dos seus parentais e possivelmente poderão ser escolhidos por apresentarem características interessantes a serem exploradas na indústria para a utilização das suas fibras.

### **Análise de agrupamento conjunta**

Com o intuito de obter uma análise mais completa, foi realizada uma análise de agrupamento conjunta utilizando-se os dados fenotípicos e moleculares. A partir dos 11 genótipos, 131 bandas de marcadores ISSR e 3 variáveis para a qualidade da fibra, foram formados 2 grupos (Figura 3C). O método de agrupamento utilizado foi o de UPGMA a partir do algoritmo de Gower. O número de grupos foi calculado pelo índice pseudo  $t^2$ , proposto por Duda e Hart (1973) dentro do pacote "NbClust"

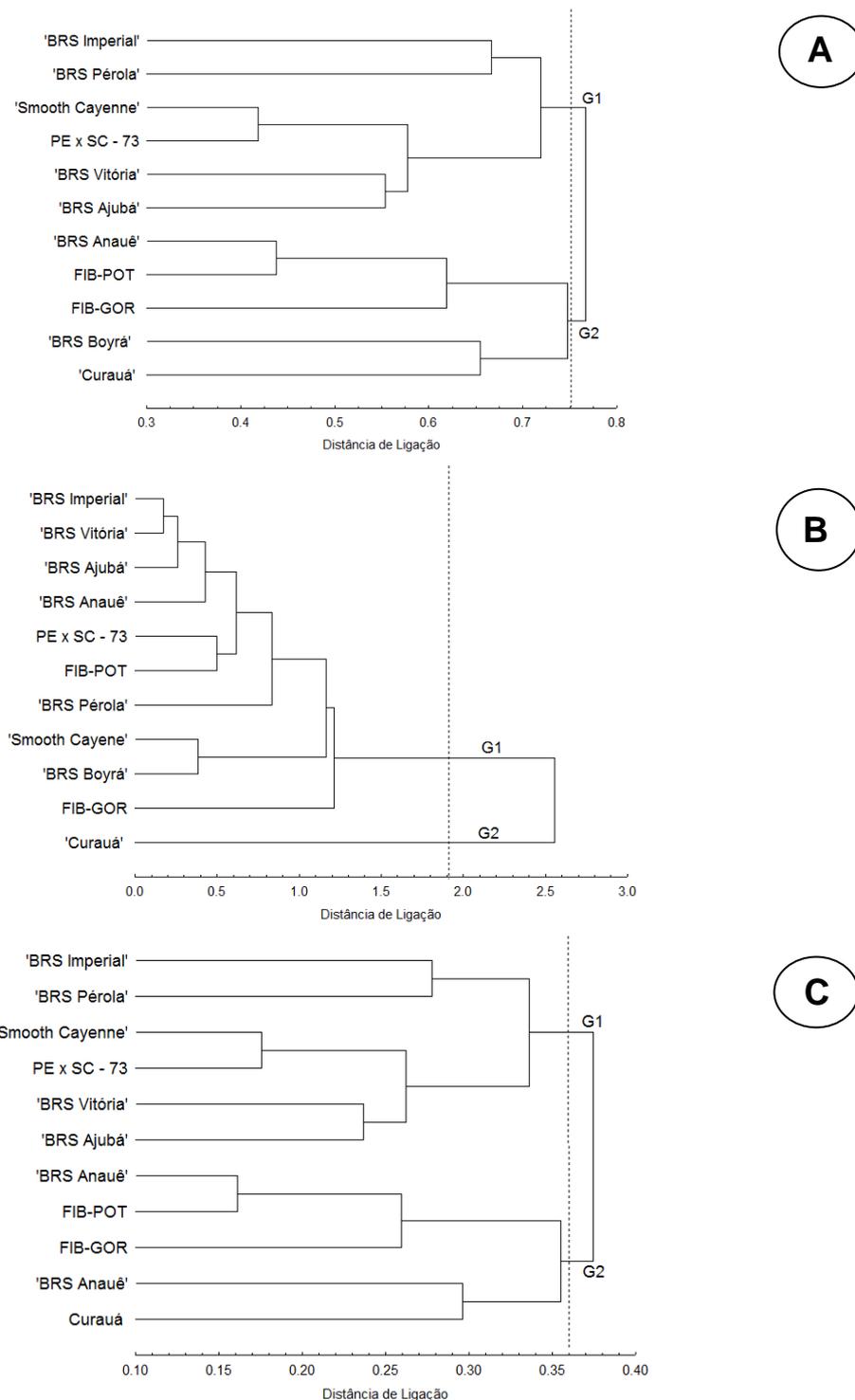
(CHARRAD et al., 2013), pertencente ao programa estatístico R (R CORE TEAM, 2014). Os valores da distância genética variaram de 0,16 a 0,44, sendo que a menor dissimilaridade foi registrada entre o 'BRS Anauê' e FIB-POT, provavelmente porque são oriundos do mesmo cruzamento. A maior dissimilaridade ficou entre o 'BRS Imperial' e 'BRS Boyrá', bem como 'BRS Imperial' e FIB-GOR. O G1 foi formado por 6 genótipos ('BRS Imperial', 'BRS Pérola', 'Smooth Cayenne', PE x SC-73, 'BRS Vitória' e 'BRS Ajubá'), o G2 por 5 genótipos ('BRS Anauê', FIB-POT, FIB-GOR, 'BRS Boyrá' e o 'Curauá'). Considerando as variedades botânicas, todos os abacaxis comestíveis e pertencentes à variedade *Ananas comosus* var. *comosus*, ficaram alocados no G1.

Souza (2015) realizou análise de agrupamento conjunta pelo método de agrupamento UPGMA a partir do algoritmo de Gower com dados de propriedades térmicas e mecânicas para a qualidade da fibra de abacaxi, e os resultados obtidos permitiram a formação de 4 grupos com valores de distância genética que variaram de 0,14 a 0,50.

Em nosso estudo, a análise de agrupamento conjunto, permitiu uma melhor compreensão quando comparada com as análises individuais para cada tipo de variável. Em estudos realizados, a análise de agrupamento tem contribuído na identificação de genótipos promissores para utilização em programas de melhoramento genético, fornecendo informações sobre a potencialidade da variabilidade existente empregando da melhor forma todos os dados obtidos (SOUZA et al., 2012; SOUZA, 2015).

Os valores do coeficiente de correlação cofenético obtidos foram 0,86, 0,84 e 0,85 para os dados avaliados pelo índice de Jaccard, distância Euclidiana média e pela distância de Gower (1971), respectivamente. De acordo com Sokal e Rohlf (1962), valores que são superiores a 0,80 indicam que ocorreu um bom ajuste entre as matrizes de distância e derivadas da distância gráfica, o que se torna de grande confiabilidade o agrupamento pelo método UPGMA.

Os resultados obtidos estão de acordo com os resultados encontrados por Souza (2015) e Sena Neto et. al. (2013; 2015), que demonstraram valores significativos para as propriedades térmicas e mecânicas das fibras dos diferentes genótipos de abacaxi estudados, viabilizando a utilização desses materiais como reforço em compósitos.



**Figura 3.** Dendrograma construído a partir de 11 genótipos de abacaxizeiros. **A)** Dendrograma a partir de 131 bandas provenientes de 16 marcadores ISSR utilizando-se o índice de Jaccard. **B)** Dendrograma a partir de três variáveis para qualidade de fibra por meio da distância Euclidiana média. **C)** Dendrograma a partir de dados moleculares e fenotípicos para qualidade de fibra por meio da distância de Gower (1971). Para todos os dendrogramas, utilizou-se o método do UPGMA para a definição dos agrupamentos e os pontos de corte definidos de acordo com os parâmetros indicados por Mingoti (2015) (A e B) e pseudo  $t^2$  (Duda e Hart, 1973).

## Análise via testes não-paramétricos

Testes não-paramétricos são utilizados quando não há distribuição normal dos dados e por isso foram escolhidos para ampliar a gama de informações entre os dados moleculares e fenotípicos obtidos. Uma vez que esses dados foram obtidos, optou-se por verificar a possibilidade de associação entre o marcador molecular e a característica para qualidade de fibras. Em estudos de associação, sabe-se da importância de se avaliar um grande número de indivíduos de uma população de cruzamentos e também da importância da medição das características fenotípicas de interesse. Entretanto, no caso específico do abacaxizeiro, a medição das características fenotípicas para qualidade de fibra é praticamente inviável devido à dificuldade dos testes necessários, inviabilizando a avaliação de um grande número de indivíduos. Sendo assim, optou-se para investigar essa associação por meio de métodos não paramétricos utilizando-se a correlação de Spearman e o teste de Kruskal Wallis.

Em nosso estudo, não era esperado obter correlações quaisquer entre marcadores e características fenotípicas de interesse, principalmente devido ao caráter quantitativo para qualidade de fibra. Entretanto, obteve-se resultados interessantes que podem vir a serem explorados no melhoramento da cultura visando a identificação de materiais promissores para as características de interesse. Ao se avaliar a associação entre 131 bandas polimórficas e 3 variáveis fenotípicas, observou-se 11 correlações consideradas altas e significativas, variando de -0,63960\* a 0,74903\*\* para a qualidade da fibra (Tabela 4).

**Tabela 4.** Correlação de Spearman e Kruskal Wallis usados para análise de associação entre marcadores moleculares e variáveis de qualidade de fibras de 11 abacaxizeiros.

Marcador	Variável	Spearman	$\chi^2$	Pr > $\chi^2$
M4 - ISSR 24	Absorção de água (g)	-0,69631*	4,36	0,0253
M10 - ISSR 24	Resistência à tração (MPa)	-0,63960*	3,68	0,0464
M6 – ISSR 72	Absorção de água (g)	-0,64578*	3,75	0,0437
M4 – ISSR 81	Módulo de elasticidade (MPa)	-0,72175**	4,68	0,018
M4 – ISSR 53	Absorção de água (g)	0,69631*	4,36	0,0253
M5 – ISSR 53	Módulo de elasticidade (MPa)	-0,69631*	4,36	0,0253
M8 – ISSR 53	Resistência à tração (MPa)	-0,64578*	3,75	0,0437
M4 – ISSR 84	Absorção de água (g)	0,72457*	4,2	0,0272
M7 – ISSR 84	Resistência à tração (MPa)	-0,72457*	4,2	0,0272
M13 – ISSR 84	Módulo de elasticidade (MPa)	-0,72457*	4,2	0,0272
M3 – ISSR 95	Resistência à tração (MPa)	0,74903**	5,12	0,0127

\*Significativo a 5% de probabilidade; \*\* Significativo a 1% de probabilidade,  $\chi^2$  (chi square), pr >  $\chi^2$

Para a variável absorção de água é interessante a obtenção de baixos valores, nesse caso, houve correlação com 4 bandas para marcadores ISSR diferentes, os quais variaram de -0,64578\* a 0,72457\*. Os valores de correlação positivos indicam que o indivíduo que apresenta a banda, também estará apresentando a característica de interesse. Por outro lado, valores de correlações negativas, indicam que os indivíduos que não possuem a banda, apresentam a característica de interesse.

Em relação à variável resistência à tração, a banda M10 do marcador ISSR 24, M8 do marcador ISSR 53, M7 do marcador ISSR 84 e M3 do marcador ISSR 95, apresentaram correlação variando de -0,63960\* a 0,74903\*\*. O módulo de elasticidade apresentou 3 bandas, M4 do marcador ISSR 81, M5 do marcador ISSR 53 e M13 do marcador ISSR 84, com valores de correlação de -0,72175\*\*, -0,6931\* e -0,72457, respectivamente. Assim sendo, os indivíduos que não possuem a banda, seriam selecionados.

A maior correlação encontrada entre banda e característica de interesse para a qualidade da fibra, foi no marcador ISSR 95, banda M3, para variável resistência à tração, com valor de correlação de 0,74903\*\*. Outras duas correlações altas foram encontradas nesse mesmo marcador, ISSR 84, na banda M7 para a variável resistência a tração e na banda M13 para o módulo de elasticidade, ambas com valores de correlação de -0,72457\*.

Souza (2015) realizou o primeiro trabalho relacionado ao uso de métodos não paramétricos para a qualidade da fibra na cultura de abacaxi, e obteve resultados similares ao encontrado neste trabalho. Foram selecionadas 11 bandas a partir da correlação de 17 marcadores moleculares ISSR com quatro variáveis para qualidade de fibras e obteve-se altas correlações (0,63434\* a 0,76169\*\*). Segundo esse mesmo autor, o uso de testes não-paramétricos tornou-se uma alternativa viável para esse fim, uma vez que as fibras de abacaxi possuem propriedades mecânicas superiores devendo ser exploradas como reforço em compósitos poliméricos (SENA NETO et.al.,2015).

Neste trabalho, a partir das três variáveis: resistência à tração, módulo de elasticidade e absorção de água, relacionadas à qualidade da fibra e o uso de marcadores moleculares ISSR, foi realizada a correlação entre as bandas de marcadores de DNA e suas características fenotípicas. As três variáveis avaliadas

são de fundamental importância para o estudo da qualidade das fibras e a avaliação do seu comportamento quando aplicadas a um compósito. É necessário que as fibras possuam uma baixa absorção de água e elevada resistência à tração e módulo de elasticidade.

Duas das bandas altamente correlacionadas foram sequenciadas (M6 ISSR 72 e M13 ISSR 84) e a partir do sequenciamento foram desenhados 5 primers SCAR (*Sequence Characterized Amplified Regions*) para cada marcador ISSR que posteriormente serão validados nos acessos do BAG Abacaxi (**Tabela 5**). Os contigs foram blastados no site do NCBI (BLAST:<  
[https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PAGE\\_TYPE=BlastSearch](https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi?PAGE_TYPE=BlastSearch)>) mas deram resultado de “*no hits*”, ou seja, não houve similaridade com as sequências já depositadas nesse banco, no entanto, essas sequências podem ser exploradas no futuro mediante identificação correta. O interessante em nosso caso, é que a combinação de marcas e uso em conjunto, possibilitará maior confiabilidade na escolha precoce de matérias interessantes e quanto mais banda forem sequenciadas e validadas, maior confiabilidade.

Vale a pena salientar que, o fato das bandas sequenciadas serem *no hits* no BLAST (*Basic Local Alignment Search Tool*), abre novas oportunidades de, por meio da validação, serem depositadas como novas sequências no genbank do NCBI, caso estejam realmente associadas com a qualidade de fibra. Com isso, o trabalho estará contribuindo de forma significativa para elucidar mais sequências dentro do genoma do abacaxi.

Portanto, os marcadores SCAR poderão ser úteis em programas de melhoramento do abacaxizeiro baseado em seleção assistida por marcadores moleculares que visam a resistência da fibra, o qual fornecerá subsídios para futuros trabalhos de melhoramento visando obter genótipos mais promissores para uso na indústria e assim contribuir para a sustentabilidade desse novo setor produtivo.

**Tabela 5.** Desenho de novos primers/marcadores moleculares SCAR a serem testados e validados para associação com qualidade de fibra.

Iniciador	Sequência
ISSR 72 TriTCC3'RC	F' TTGCCACAAAAGTAACCACCA
	R' GAGCTAATGCACGATGACGA
	F' AAGCGAGATACGAAGGACGA
	R' ACGTGACTCGCCTCAGAAAT
	F' TCGGACCTAACCCCTTCCTTT
	R' GCGAGAGACCTGTTTGATCC
	F' TTCGGACCTAACCCCTTCCTT
	R' GCGAGAGACCTGTTTGATCC
	F' AGTTAGCGGAAGGGAGGAAG
	R' TGTAAACTCGCCAGTGCATC
ISSR 84 TriCCT3'RC	F' TTGCCACAAAAGTAACCACCA
	R' GAGCTAATGCACGATGACGA
	F' AAGCGAGATACGAAGGACGA
	R' ACGTGACTCGCCTCAGAAAT
	F' TCGGACCTAACCCCTTCCTTT
	R' GCGAGAGACCTGTTTGATCC
	F' TTCGGACCTAACCCCTTCCTT
	R' GCGAGAGACCTGTTTGATCC
	F' AGTTAGCGGAAGGGAGGAAG
	R' TGTAAACTCGCCAGTGCATC

## CONCLUSÃO

Os resultados indicam que os marcadores ISSR são úteis para a análise de diversidade genética em abacaxi. Além disso, os testes não-paramétricos utilizados (Spearman x Kruskal Wallis) permitiram a identificação de correlações altas e significativa entre as bandas de marcadores ISSR e características para qualidade da fibra, as quais foram isoladas, sequenciadas e os primers SCAR desenhados, que deverão ser posteriormente validados. Essa validação trará benefícios não só para o programa de melhoramento genético do abacaxizeiro, como também para o setor industrial, sendo uma alternativa viável e sustentável.

## REFERÊNCIAS

- ALZATE-MARIN, A.L.; CERVIGNI, G.D.L.; MOREIRA, M.A.; BARROS, E.G. Seleção assistida por marcadores moleculares visando ao desenvolvimento de plantas resistentes a doenças, com ênfase em feijoeiro e soja. **Fitopatologia Brasileira**, v.30, p.333-342, 2005.
- ARAÚJO, R. F.; SIQUEIRA, D. L.; CECON, P. R. Multiplicação in vitro do abacaxizeiro 'SmoothCayenne' utilizando benzilaminopurina (BAP) e ácido naftalenoacético (ANA). **Revista Ceres**, v. 55, p. 455-460, 2008.
- AZIZ, SH, ANSELL, MP, CLARKE, SJ, PANTENY, SR. (2005) Modified polyester resins for natural fibre composites. **Composites Science and Technology** 65: 525–535.
- BARTH, S. et al. Genetic diversity in *Arabidopsis thaliana* L. Heynh. Investigated by cleaved amplified polymorphic sequence (CAPS) and inter-simple sequence repeat (ISSR) markers. **Molecular Ecology**, v.11, p.495-505, jul. 2002.
- BORÉM, A.; CAXIETA, F. R. S. **Marcadores Moleculares**. 2.ed. UFV, 2009.
- BRANDT, AM (2008). Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering. **Composite Structures** 86: 3–9.
- CABRAL, J. R. S.; CASTELLEN, M. D. S.; SOUZA, F. V. D.; DE MATOS, A. P.; FERREIRA, F. Banco ativo de germoplasma de abacaxi. Embrapa Mandioca e Fruticultura. **Documentos**, 2004.
- CAO, Y, SHIBATA, S, FUKUMOTO, I. (2006) Mechanical properties of biodegradable composites reinforced with bagasse fibre before and after alcali treatments. **Composites: Part A** 37: 423-429.
- CHARRAD, M.; GHAZZALI, N.; BOITEAU, V.; NIKNAFS, A. (2013) NbClust: **An examination of indices for determining the number of clusters**. R package version 1.4. Disponível em:<<http://cran.rproject.org/web/packages/NbClust/index.html>>.
- Cruz, C.D. **GENES** - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Scientiarum*. v.35, n.3, p.271-276, 2013.
- DOYLE, J. J.; DOYLE, J. L. Isolation of plant DNA from fresh tissue. **Focus**, v. 12, p. 13-15, 1990.
- DUDA, R. O.; HART, P. E. **Pattern classification and scene analysis**. John Wiley & Sons: New York, p.189–225, 1973.

FERREIRA, M.E.; GRATTAPAGLIA, D (1998). Introdução ao uso de marcadores moleculares em análise genética. 2. ed. Brasília: **EMBRAPA – CENARGEN**, p. 220.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) Database, United States: Database.United States: **FAO/FAOSTAT**, Disponível em: <[http://faostat,fao,org](http://faostat.fao.org)>, Acesso em: 12 Jun 2015.

GONZÁLEZ, A.; COULSON, M.; BRETTELL, R. Development of DNA markers (ISSRs) in mango. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 575, p. 139- 143, 2002.

GOTTARDI, M.V.C., ELIANA GERTRUDES MACEDO LEMOS, E.G.M., RUGGIERO, C. Avaliação de plantas matrizes de abacaxizeiro cultivar smooth cayenne utilizando marcadores rapd e padrões isoenzimáticos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 23, n. 3, p. 463-467, dezembro 2001.

GOWER, J. C. A general coefficient of similarity and some of its properties, **Biometrics**, v. 27, n. 4, p. 857-874, 1971.

LIU, W, MISRA, M, ASKELAND, P, DRZAL, LT, MOHANTY, AK (2005) Green composites from soy based plastic and pineapple leaf fiber: fabrication and properties evaluation. **Polymer** 46: 2710–2721.

LUTHER. H. E. An alphabetical list of Bromeliad binomials. 13. ed. Sarasota, FL: The Marie Selby Botanical Gardens; **The Bromeliad Society International**, 2012.

MISHRA, S, MOHANTY, AK, DRZAL, LT, MISRA, M, HINRICHSEN, G. (2004) A Review on Pineapple Leaf Fibers, Sisal Fibers and Their Biocomposites. **Macromol. Mater. Eng.** 289, 955–974.

MOHANTY AK, KHAN MA, HINRICHSEN G. (2000) Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics-polyester amide composite. **Composites: Part A** 31:143–50.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <http://www.R-project.org/>, 2014.

ROMANZINI, D, LAVORATTI, A, ORNAGHI JR., HL, AMICO, SC, ZATERRA, AJ. (2013) Influence of fiber content on the mechanical and dynamic mechanical properties of glass/ramie polymer composites. **Materials and Design** 4: 9–15

SAS Institute Inc. **SAS/STAT**: user’s guide, v.9,2. Cary, NC, 2010.

StatSoft, Inc. (2004). **STATISTICA** (data analysis software system), version 7. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).

SENA NETO, Alfredo R. ; Araujo, Marco A.M. ; BARBOZA, RAIZA M.P. ; FONSECA, ALESSANDRA S. ; TONOLI, GUSTAVO H.D. ; Souza, Fernanda V.D. ; Mattoso, Luiz H.C. ; Marconcini, Jose M. . Comparative study of 12 pineapple leaf fiber varieties for use as mechanical reinforcement in polymer composites. **Industrial Crops and Products**, v. 64, p. 68-78, 2015.

SENA NETO, A. R.; ARAUJO, M. A.; SOUZA, F. V.; MATTOSO, L. H.; MARCONCINI, J. M. Characterization and comparative evaluation of termal, structural, chemical, mechanical and morphological properties of six pineapple leaf fiber varieties for use in composites. **Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 529-537, 2013.

SOUZA, C.P.F. Caracterização de variedades de abacaxi e sua potencial utilização como fonte de fibras. **Dissertação** (mestrado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2015.

SOUZA, E. H.; SOUZA, F. V. D.; COSTA, M. A. P.; COSTA JUNIOR, D. S.; SANTOS-SEREJO, J. A.; AMORIM, E. P.; LEDO, C. A. S. Genetic variation of the *Ananas* genus with ornamental potential. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 59, p. 1357-1476, 2012.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxon**, v. 11, n. 2, p. 33-40, 1962.

Vanijajiva, O. Assessment of genetic diversity and relationships in pineapple cultivars from Thailand using ISSR marker. **Journal of Agricultural Technology**, 2012. Vol.8(5): 1829-1838.

ZHU, J, ZHU, H, NJUGUNA, J, ABHYANKAR, H. (2013) Recent Development of Flax Fibres and Their Reinforced Composites Based on Different Polymeric Matrices. **Materials**, 6, 5171-5198.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao avaliar os 11 acessos de abacaxi pertencentes ao BAG-Abacaxi da Embrapa Mandioca e Fruticultura, foi possível perceber a grande variabilidade genética que existe para ser explorada dentro do gênero *Ananas*. A caracterização das fibras das folhas do abacaxizeiro foi de grande importância, pois demonstrou que essas fibras possuem excelentes propriedades físicas, químicas, mecânicas e morfológicas que podem ser exploradas pela indústria.

Com isso, foi possível correlacionar bandas geradas a partir de marcadores ISSR com característica de interesse para qualidade da fibra. Esse trabalho gerou informações muito importantes que serão utilizadas em estudos futuros, como a validação dos primers desenhados nos acessos do BAG Abacaxi, visando a seleção assistida por marcadores na identificação de materiais promissores, não só para o programa de melhoramento, mas visando a sua utilização no setor industrial.

O FIB-POT foi o que obteve uma maior resistência pós-pico do material, no entanto esse genótipo ainda não foi lançado, ficando restrito apenas para estudos realizados a partir da autorização e liberação do material pela Embrapa Mandioca e fruticultura.

Contudo, é possível observar a partir das análises realizadas, que as outras variedades comerciais e comestíveis de abacaxi, possuem também o potencial para serem utilizadas como reforço em compósitos, pois, as fibras das folhas possuem excelentes resistências. As variedades 'Smooth Cayene', 'BRS Vitória' e 'BRS Ajubá', são variedades que demonstraram similaridade através das análises de estatística. Obtendo alta resistência e sendo similar ao genótipo FIB-POT.

Portanto, é possível a utilização dessas variedades, pois são cultivadas em diversos locais, tornando-se uma alternativa viável para o produtor, pois, antes somente o fruto era utilizado, as folhas do abacaxizeiro na maioria das vezes são descartadas, e a partir desse estudo, foi possível observar que as fibras das folhas dessas variedades de abacaxi possuem grande potencial para serem utilizadas e exploradas pela indústria.