



## RECONHECIMENTO DE PADRÕES: CLASSIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO DE DANOS EM MATERIAIS COMPÓSITOS DE FIBRA DE CANA DE AÇÚCAR E BAMBU

ROBERTO OUTA<sup>1,2</sup>, FÁBIO ROBERTO CHAVARETTE<sup>3</sup>, LUIZ GUSTAVO ROEFERO<sup>1</sup>, THIAGO CARRETA MORO<sup>1</sup>, APARECIDO CARLOS GONÇALVES<sup>1</sup>, GLAUCIA AMORIM FARIA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UNESP - Univ.Estadual Paulista

Faculty of Engineering of Ilha Solteira, Mechanical Engineering Department  
Brasil Avenue, 56, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil

<sup>2</sup>Faculdade de Tecnologia de Araçatuba – FATEC Araçatuba

Department of Biofuels

Av. Prestes Maia, 1764 - Jd. Ipanema, CEP: 16052-045, Araçatuba, Brasil.

<sup>3</sup>UNESP - Univ.Estadual Paulista

Faculty of Engineering of Ilha Solteira, Department of Mathematics  
Brasil Avenue, 56, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil

(Recibido 13 de febrero de 2019, revisado 8 de abril de 2019, para publicación 19 de junio de 2019)

**Resumo** – Neste trabalho, o objetivo é demonstrar um método de reconhecimento de padrões, formado pelo ângulo, da força (N) e deformação (mm), do ensaio mecânico das fibras de cana de açúcar e bambu Mercerizadas com resina epóxi líquida bicomponente. A metodologia se baseia em um algoritmo, que utiliza um ângulo referencial e compara outros ângulos de outras fibras de cana de açúcar e bambu Mercerizadas, com e sem resinas, testadas do experimento de ensaio mecânico. O algoritmo de reconhecimento de padrões, se baseia na teoria da estatística paramétrica e mostra resultados gráficos de regressão linear e correlação dos sinais. O resultado apresenta dois pontos de vistas importantes: o primeiro e mais importante, a classificação e quantificação dos grupos de fibras de cana de açúcar e bambu Mercerizados, sem e com resina, pelo reconhecimento de padrões; o segundo ponto de vista, torna o procedimento de reconhecimento de padrões, um método de caracterização experimental. O resultado intrínseco da classificação dos grupos padrões, mostra ainda, uma possibilidade de aprofundamento investigativo científico, ou seja, este método propõe um conceito de abertura de cenários secundários qualitativos, após a classificação. Portanto, o objetivo deste trabalho foi atendido, e pode ser aplicado nas áreas de materiais, acústica, vibração, civil e mecânica.

**Palavras-chave** – Ensaio mecânico, reconhecimento de padrões, fibras vegetais, compósito fibroso.

### 1. INTRODUÇÃO

As fibras vegetais de forma única e in natura são pouco aplicadas na indústria, porém, na junção de um outro elemento, pode formar um compósito polimérico, melhorando a eficiência, e com diversas aplicações na indústria. Esses materiais, os compósitos, dada a diversidade estrutural contém boas relações de peso e as fibras vegetais de forma única e in natura são pouco aplicadas na indústria, porém, na junção de um outro elemento, pode formar um compósito polimérico, melhorando a eficiência, e com diversas aplicações na indústria. Esses materiais, os compósitos, dada a diversidade estrutural contém boas relações de peso e resistência, resistência a fadiga, tempo de vida elevado, e estabilidade dimensional.

Estas informações podem ser obtidas através de modelos matemáticos e físicos, cujo conceito também pode ser utilizado por reconhecimento de padrões. O reconhecimento de padrões pode ser entendido como um conceito matemático que utiliza diferentes ferramentas da estatística para classificar um determinado

grupo de elementos [1]. Podemos citar o trabalho de Biagotti *et al.*, que mostra em uma abordagem sistemática da estatística predizendo as propriedades das fibras naturais randômicas e descontinuadas, ou de Li *et al.*, que mostra a classificação automática das fibras de algodão utilizando método de vetores multiclasses. Já Sun *et al.*, utiliza métodos de espectroscopia e infravermelho para classificar tecidos têxteis.

O conceito principal, deste trabalho, foi o de utilizar técnicas matemáticas e estatísticas que possam contribuir na análise qualitativa e quantitativa de classes, para separação de grupos similares entre si, das fibras vegetais de cana de açúcar e bambu. Assim, o objetivo demonstrou que, as propriedades físicas: módulo de elasticidade e tensão de cisalhamento, de compósitos das fibras vegetais de cana de açúcar e do bambu, podem ser identificadas utilizando o método de reconhecimento de padrões. A motivação deste advém do interesse de se obter métodos de análise rápidos em aplicações de falhas estruturais e que podem ser aplicados no conceito de *structural health monitoring*, SHM.

## 2. COMPÓSITOS DE FIBRAS VEGETAIS

As fibras são classificadas abrangentemente como compostos naturais ou compostos sintéticos possuem o seu comprimento maior que a secção transversal que varia de 10 a 15  $\mu\text{m}$ . A subclasse dessas fibras são: as fibras naturais e regeneradas com resistência moderada e extensão de ruptura; fibras de polímero sintético de alta tenacidade; fibras orgânicas e inorgânicas de alto módulo de tenacidade; e fibras elastômeros [5].

As fibras naturais vegetais ou fibras vegetais são compostas de materiais celulósicos e não celulósicos (hemicelulose, pictina, lignina, e fibras lignocelulósicas) [6]. As disposições das fibras formam paredes celulares de tubos microscópicos ao redor do lúmen central que auxilia na absorção de água, cujas paredes celulares são microfibras de celulose semicristalinas e justapostas no formato matricial [7; 8]. A Fig.1 mostra a disposição das fibras e a formação da parede celular de forma matricial [7].

O bambu é uma planta multifuncional, que à partir de que processada, pode ser destinada a diferentes aplicações na engenharia, já a cana de açúcar, também à partir de que processada, é uma planta de uso quase que exclusivo, na fabricação de açúcar e álcool. Tanto o bambu como a cana de açúcar pertencem a família das gramíneas *poaceae*, porém diferentes na característica da composição, sendo o bambu de 53,6% até 81,9% na holocelulose (celulose e hemicelulose), e na lignina varia de 23,4% a 28,2% [9], e a cana de açúcar variando de 13% de açúcar, 12% de fibras e 75% de água, e o teor de açúcar em peso seco é de 50% [10].

As fibras vegetais, conforme a necessidade do produto final, devem ser preparadas para a melhora da qualidade de resistência e deterioração, com isso, métodos de ataque alcalino na superfície da planta podem propiciar diferentes características nas fibras vegetais. A mercerização é um processo químico que melhora a resistência das fibras, através do aumento do volume da fibra e alívio de tensões das mesmas, comprovado principalmente nas fibras de algodão [12; 13]. Este processo auxilia o aumento da celulose amorfa, e quando exposta à água, aumenta o seu volume, alterando a cristalinidade monoclinica para polimórfica [14].

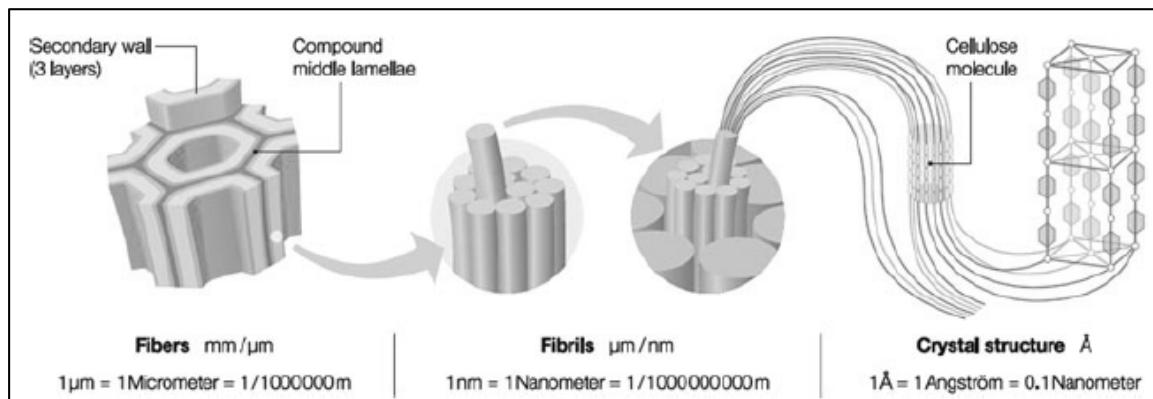


Fig. 1. Fibra Vegetal.

Considera-se ainda que, dado o tempo e a quantidade de exposição à solução, é possível se obter a melhora da qualidade de resistência e da deterioração da fibra vegetal [15].

No cenário da química, as fibras Mercerizadas, quando comparadas as fibras não Mercerizadas, contém poucas diferenças significativas, pois os resultados da aplicação de ácidos e sais nas fibras vegetais são desconhecidos, principalmente quando averiguadas da natureza das fibras vegetais [12]. O ataque da superfície da fibra de cana de açúcar com NaOH, resulta na rugosidade superficial da fibra e melhora a aderência mecânica, e quimicamente o NaOH promove o aumento da quantidade de celulose amorfa e quando inserido na água, esta tem um aumento de volume alterando a cristalinidade de monoclinica para polimórfica [14].

Conforme as necessidades de aplicação do material, é comum se utilizar materiais compósitos poliméricos. Os polímeros são divididos em duas categorias, os naturais que são sintetizados por organismos vivos e também chamados de biopolímeros [16], já o sintético, é oriundo de uma composição estrutural similar ao natural, comumente chamado de plástico [17]. Uma matriz polimérica advém também da formação de fibras naturais vegetais e são considerados como reforço da matriz polimérica [18]. Esses materiais compósitos (união de dois ou mais materiais), tem aplicações diversas visto as características intrínsecas de elevada relação de peso-resistência, baixa densidade, tempo de vida útil elevado, entre outros [6]. Um compósito fibroso de fibra vegetal contém geralmente de 10% a 20% de polímero natural, e de 80% a 90% de fibra vegetal [18].

As características e propriedades físicas de um material como: tensão elástica, alongamento, módulo de elasticidade e a força de tensão, podem ser identificadas utilizando o ensaio mecânico.

Os materiais, no conceito de adesividade, têm comportamento físico similar ao conceito de deformação de uma viga, cuja teoria utiliza o conceito de resistência de materiais por Timoshenko [19]. A tensão pode ser calculada como,

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

o qual,  $\sigma$  a tensão resultante da força aplicada no material,  $F$  a força aplicada no material, e  $A$  a área da secção transversal do material. O alongamento é calculado utilizando a equação,

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \quad (2)$$

o qual  $\varepsilon$  é a alongamento ou deformação,  $l$  o comprimento alongado,  $l_0$  é o comprimento referencial. A força de cisalhamento, pode ser calculada como,

$$\tau = \frac{E}{2.(1+\nu)} \quad (3)$$

onde  $\tau$  é a tensão de cisalhamento,  $E$  é o módulo de Young,  $\nu$  é o coeficiente de Poisson de um material homogêneo e isotrópico [19].

O ângulo formado pela tensão x deformação, aqui é chamado de ângulo  $\theta$ , cuja referência numérica pode demonstrar a característica do comportamento do material, quando submetido a uma força qualquer. Este ângulo  $\theta$  pode ser calculado baseado pelo teorema trigonométrico entre a força de tensão pelo deslocamento.

### 3. RECONHECIMENTO DE PADRÕES

O reconhecimento de padrões abrange diferentes áreas e especificidades conceituais e pertence a uma área da ciência, cujo objetivo é atribuir classes a um determinado objeto de acordo com as propriedades de similaridade. Para se obter a classificação de um objeto é então necessário utilizar processos que envolvam critérios de aquisição de padrões, determinação e análise da sensibilidade quanto ao padrão, e por fim, a medição em relação a uma determinada amostra do objeto. Para se determinar a classe do objeto são necessários a relação de equivalência e partições, definidos por conceitos matemáticos [1].

A relação de equivalência ocorre quando  $\Omega$  é um conjunto de elementos com alguma relação ( $\sim$ ), cujos elementos arbitrários  $o, o_1, o_2, o_3 \in \Omega$ . A relação de equivalência pode ser classificada como: Reflexividade:

$o \sim o$ ; Simetria:  $o_1 \sim o_2 \Leftrightarrow o_2 \sim o_1$ ; Transitividade:  $o_1 \sim o_2$  e  $o_2 \sim o_3 \Rightarrow o_1 \sim o_3$ . Assim: Dois elementos  $o_1, o_2$  são equivalentes quando  $o_1 \sim o_2$ . Um subconjunto pode ainda ser escrito quando  $[o] \sim \subseteq \Omega$ . Assim,  $[o] \cong \{o' \in \Omega \mid o' \sim o\}$ , de todos os elementos equivalentes para  $o$ . O objeto  $o$  também é chamado de representativo do conjunto  $[o] \sim$ . Cada  $o \in \Omega$  denota um objeto, e cada  $[o] \sim$  denota uma classe [1].

A relação de partições ocorre quando  $\Omega$  é um conjunto, e  $\omega, \omega_1, \omega_2, \omega_3 \subseteq \Omega$  é um sistema de subconjuntos. Estes sistemas de subconjuntos são chamados partições de  $\Omega$ , se:  $\omega_i \cap \omega_j = \emptyset$  para todo  $i \neq j$ , isto é, os subconjuntos são separados em pares; e  $\cup_i \omega_i = \Omega$ , isto é, o sistema é completo.

Todo o subconjunto  $\omega$  é chamado de classe da partição.

De uma forma geral, as relações de equivalência e partições descrevem conceitos similares, pois, a cada relação equivalente é induzido uma partição, e a cada partição induz uma relação de equivalência [1].

### 3.1. Medidas de Relação entre Duas Amostras

A covariância estabelece a relação entre duas amostras estabelecendo o grau de relação entre os valores destas amostras, e pode ser chamado de medida de dependência linear (variáveis aleatórias contínuas), representada pela equação [20; 21],

$$\text{cov}(X, Y) = \bar{X}[(X - \bar{X}_x)(Y - \bar{X}_y)] \quad (4)$$

A covariância, também chamada de covariância cruzada, pode ser positiva ou negativa, e depende da unidade de medida. O coeficiente de correlação amostral pode ser representado pela equação [20; 21],

$$\text{corr}_{am} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\bar{X}_x \bar{X}_y} \quad (5)$$

Já o coeficiente de correlação de Pearson,  $r_{xy}$ , pode ser representado pela equação,

$$r_{xy} = \frac{\sum_{j=1}^n \sigma_{x_j} \sigma_{y_j}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n \sigma_{x_j}^2 \sigma_{y_j}^2}} \quad (6)$$

O resultado do coeficiente de correlação de Pearson, determina o grau da correlação linear entre as variáveis ou influência entre as variáveis, cujo resultado se encontra entre  $-1 \leq r_{xy} \leq 1$ , porém, se  $r_{xy} = 0$ , então X e Y não estão correlacionados; se  $r_{xy}$  for próximo a zero indica baixa correlação linear entre X e Y; se for próximo a  $\pm 1$  a forte linearidade entre X e Y. O coseno do ângulo entre os valores X e Y pode ser calculado utilizando o conceito da norma euclidiana [20; 21], assim,

$$\cos(\theta) = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (7)$$

Nesta condição, o resultado do  $\cos(\theta)$  se encontra entre  $-1 \leq r_{xy} \leq 1$ , assim:

- Se  $\theta = 0^\circ$ , então  $r = 1$  e os dois vetores são colineares;
- Se  $\theta = 90^\circ$ , então  $r = 0$  e os dois vetores são ortogonais;
- Se  $\theta = 180^\circ$ , então  $r = -1$  e os dois vetores são colineares, mas em direções opostas;

Se X e Y não estão correlacionados, a correlação pode ser encontrada utilizando a seguinte equação [20; 21],

$$\text{corr}_{am} = E(X)E(Y) \quad (8)$$

sendo  $E$  o valor esperado de X e Y, respectivamente. O valor esperado de uma variável contínua é escrito como,

$$E(X) = \bar{X} = \int_{-\infty}^{+\infty} xf_x(x)dx \quad (9)$$

$$E(v(X)) = \bar{X}_{v(X)} = \int_{-\infty}^{+\infty} v(x)f_x(x)dx \quad (10)$$

o valor esperado para uma variável discreta é escrito como,

$$E(X) = \bar{X} = \sum_{i=1}^N x_i \text{Prob}(x_i) \quad (11)$$

$$E(v(X)) = \bar{X}_{v(X)} = \sum_{i=1}^N v(x_i) \text{Prob}(x_i) \quad (12)$$

A covariância que trata das variáveis aleatórias discretas pode ser representada na equação [20; 21],

$$\text{cov}(X, Y) = \sum_{j,k}^N (X_k - \bar{X})(Y_k - \bar{Y}) \text{Prob}(X = X_k, Y = Y_k)[\sigma(X - X_k), \sigma(Y - Y_k)] \quad (13)$$

o termo  $\text{Prob}(X = X_k, Y = Y_k)[\sigma(X - X_k), \sigma(Y - Y_k)]$  representa a função de densidade de probabilidade conjunta das variáveis aleatórias de X e Y, e  $\sigma(X - X_k), \sigma(Y - Y_k)$  representa o impulso unitário de X e Y respectivamente.

A função de densidade de probabilidade, PDF, ou função densidade, tem as seguintes características [20; 21]:

- A variável aleatória continua é definida em um intervalo contínuo de valores, considerado domínio;
- A área delimitada pela curva da função densidade e o eixo x é igual a 1, quando calculado sobre o domínio da variável;
- A probabilidade de uma variável aleatória assumir um valor entre  $a$  e  $b$  é igual a área sob a função de densidade delimitada por  $a$  e  $b$ .

Se X é uma variável aleatória continua, tem-se,

$$f_x(x) = \frac{d[F_x(x)]}{dx} \quad (14)$$

o qual,  $F_x(x) = \text{Prob}(X \leq x)$  é a função de distribuição de probabilidade acumulada;  $f_x(x)$  é a função de densidade de probabilidade, sendo  $f_x(x) \geq 0$  para  $-\infty \leq x \leq +\infty$  e  $\int_{-\infty}^{+\infty} f_x(x) dx = 1$  [20; 21]. Portanto reescreve-se a equação  $f_x(x) = \frac{d[F_x(x)]}{dx}$ , considerando que  $F_x(x) = \text{Prob}(X \leq x)$ , resultando em,

$$(x) = \text{Prob}(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f_x(\infty) d \infty \quad (15)$$

Se X é uma variável aleatória discreta, tem-se,

$$f_x(x_k) = \sum_{x_k} P_x(x_k) \delta(x - x_k) \quad (16)$$

o qual,  $f_x(x_k) \geq 0$  para  $-\infty < x_k < +\infty$  e  $\sum_{x_k} f_x(x_k) = 1$ ;  $P_x(x_k) = \text{Prob}(X = x_k)$  é a função de distribuição de probabilidade (função de massa de probabilidade);  $\delta(x)$  é a função impulso unitário ou função delta Dirac, definida por  $\int_{-\infty}^x g(x) \delta(x) dx = g(0)$  para  $\delta(x)$  é indefinida para  $x = 0$ , e  $\delta(x) = 0$  para  $x \neq 0$  [20; 21].

A função de distribuição de probabilidade acumulada mostra a associação das probabilidades aos valores ou intervalo de valores de uma variável aleatória, se X é uma variável aleatória continua, tem-se,

$$F_x(x) = \text{Prob}(X \leq x) \quad (17)$$

Se X é uma variável aleatória discreta, tem-se,

$$F_x(x_k) = \text{Prob}(X \leq x_k) = \sum_{i=-\infty}^k f_x(x_i) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} f_x(x_i) u(x - x_k) \quad (18)$$

o qual,  $x$  é o valor do eixo real (intervalo infinito ou finito);  $x_k$  são os valores discretos enumeráveis (listáveis) de X;  $f_x(x_i)$  é a função de densidade de probabilidade;  $u(x - x_k)$  é o degrau unitário (igual a 1 para  $x \geq x_k$ , e igual a 0 para  $x < x_k$ ). A função acumulada  $F_x(x) = \text{Prob}(X \leq x) \neq \text{Distribuição } P_x(x) = \text{Prob}(X = x)$  [20; 21].

Para verificar se duas ou mais variáveis estão relacionadas de alguma forma é importante estabelecer um modelo matemático, cuja modelagem é chamada de regressão. Esta auxilia o entendimento de como que determinadas variáveis influenciam outra variável, ou seja, verifica como o comportamento de uma(s) variável(is) podem mudar o comportamento de outra [21; 22]. Os modelos de regressão são construídos com os objetivos:

- (i) Predição - Uma vez que esperamos que grande parte da variação da variável de saída seja explicada pelas variáveis de entrada, podemos utilizar o modelo para obter valores de Y correspondentes a valores de X que não estavam entre os dados. Esse procedimento é chamado de predição e, em geral, usamos valores de X que estão dentro do intervalo de variação estudado. A utilização de valores fora desse intervalo recebe o nome de extração e deve ser usada com muito cuidado, pois, o modelo adotado pode não ser correto fora do intervalo estudado. Acredita-se que a predição seja a aplicação comum dos modelos de regressão;
- (ii) Seleção de variáveis - Frequentemente, não se tem idéia de quais são as variáveis que afetam significativamente a variação de Y. Para responder a esse tipo de questão, estudos são realizados com um grande número de variáveis. A análise de regressão pode auxiliar no processo de seleção de variáveis eliminando aquelas cuja contribuição não seja importante;
- (iii) Estimação de parâmetros - Dado um modelo e um conjunto de dados referente às variáveis resposta e preditoras, estimar parâmetros ou ajustar um modelo aos dados significa obter valores ou estimativas para os parâmetros, por algum processo, tendo por base o modelo e os dados observados;
- (iv) Inferência - O ajuste de um modelo de regressão em geral tem por objetivos básicos, além de estimar os parâmetros, realizar inferências sobre eles, tais como, testes de hipóteses e intervalos de confiança [21; 22].

O resultado das informações da regressão linear à reconhecimento de padrões mostra estudar a função linear para cada classe ou conjunto de um determinado universo. Portanto a regressão linear quando aplicada, resulta em um conjunto de vetores de entrada mapeados, correspondente para a sua respectiva saída [1]. O erro da variável dependente, corresponde a função das variáveis dependentes e seus coeficientes, cujos parâmetros estimados são chamados de *best fit* [23]. Matematicamente este teorema pode ser escrito considerando que uma função linear qualquer, onde classe  $c = 2$ ,  $w \in \mathbb{R}^d$  e  $b \in \mathbb{R}$ , pode ser escrita como [23],

$$k(m) = w^T m + b \quad (19)$$

o qual, a regra para decisão é se  $k(m) > 0 \therefore w_1$ ;  $k(m) < 0 \therefore w_2$ ;  $k(m) = 0 \therefore w_1 \text{ ou } w_2$ . Isto significa que a decisão na região de contorno é determinada por (d-1) de hiperplano dimensional,  $\{\mathcal{H} = m \in \mathcal{M} | k(m) = 0\}$ . O  $w$  é um vetor perpendicular do hiperplano, e  $b$  é a distância até a origem. A distância orientada do ponto até o plano é representada por  $D(m, \mathcal{H}) = k(m)$ , onde  $m$  é normalizado por  $\|m\|_2 = 1$  [23].

Considerando a equação linear  $k(m) = w^T m + b$ , no contexto de reconhecimento de padrões, a regressão linear aplicada no aprendizado da função linear de decisão para cada classe  $w_i$ , pode ser feita considerando que os dados  $\mathcal{D}$  correspondente a saída da função de decisão, assim, a equação pode ser escrita como,  $k_i(m) = a_i^T m$ , para  $a_i \in \mathbb{R}^d$  [23], então,

$$k_i(m_k) = a_i^T m \quad (20)$$

se  $w(m) = w_i \therefore k_i(m_k) = a_i^T m = 1$ ; caso contrário  $k_i(m_k) = a_i^T m = 0$ . Para todo  $i = 1, \dots, c$ . A amostragem de dados  $\mathcal{D}$  é otimizada, e pode ser escrita como,

$$m_k^T a_i = z_{ki} \quad (21)$$

se  $w(m_k) = w_i \therefore m_k^T a_i = z_{ki} = 1$ ; caso contrário  $m_k^T a_i = z_{ki} = 0$  [1].

O critério de correspondência (combinação) é utilizado para avaliar a afinidade entre os sinais e provar que são semelhantes. Esta combinação pode ser perfeita ou parcial, o caso da combinação perfeita ocorre quando duas cadeias analisadas tem o mesmo valor em todas as posições, e a combinação parcial ocorre quando os padrões têm apenas um valor de posição idêntico para confirmar a correspondência previamente definida. O resultado das combinações é a taxa de afinidade que representa um grau de similaridade correspondente entre duas cadeias analisadas [24].

$$t_{af} = \left( \frac{A_n}{A_t} \right) * 100 \quad (22)$$

onde,  $t_{af}$  é a taxa de afinidade;  $A_n$  é a quantidade da relação normal no problema;  $A_t$  é o numero total de cadeias no problema. A tolerância do problema está relacionada ao valor nominal da taxa de afinidade, entre as deflexões máxima e mínima dos padrões pré-estabelecidos [25].

## 4. MÉTODOS E PROCESSOS

### 4.1. Ensaio Mecânico Destrutivo

A princípio, as fibras vegetais de cana de açúcar e bambu foram cortadas em comprimentos de 150,0 mm e imersas em solução de 10% de NaOH por 36h considerado a Mercerização. À partir deste procedimento, as fibras foram separadas manualmente em diâmetros aproximados de 2,0 mm, o qual, notou-se que, como esperado, a superfície das fibras contivessem irregularidades na forma, em toda a extensão da sua superfície.

Após a imersão na solução de NaOH e a separação das mesmas, as fibras de cana de açúcar e bambu, foram lavadas por várias vezes em água destilada até a diminuição da intensidade do odor e, posteriormente, secas a temperatura ambiente. Com isso, as fibras que continham melhor aspecto visual e que não estavam na forma quebradiças, foram selecionadas para serem sobrepostas com as resinas sintéticas epóxi líquida bicomponente, RQF100 – rígida, RQ110 – semirrígida e RQ120 – flexível, da empresa Alpha Resiqualy.

A proporção da resina ideal, orientada pelo fabricante, é formada de 100% de resina e 45% de endurecedor, aplicado a frio entre 15°C a 45°C, ou a quente em estufa de 40°C a 60°C, cujas características técnicas qualitativas não foram fornecidas pelo fabricante. As Fig. 2 e 3 mostram, respectivamente, as fibras de cana de açúcar e bambu sobrepostas com a resina. Nota-se que a superfície da fibra da cana de açúcar e de bambu adquiriu um aspecto brilhante.

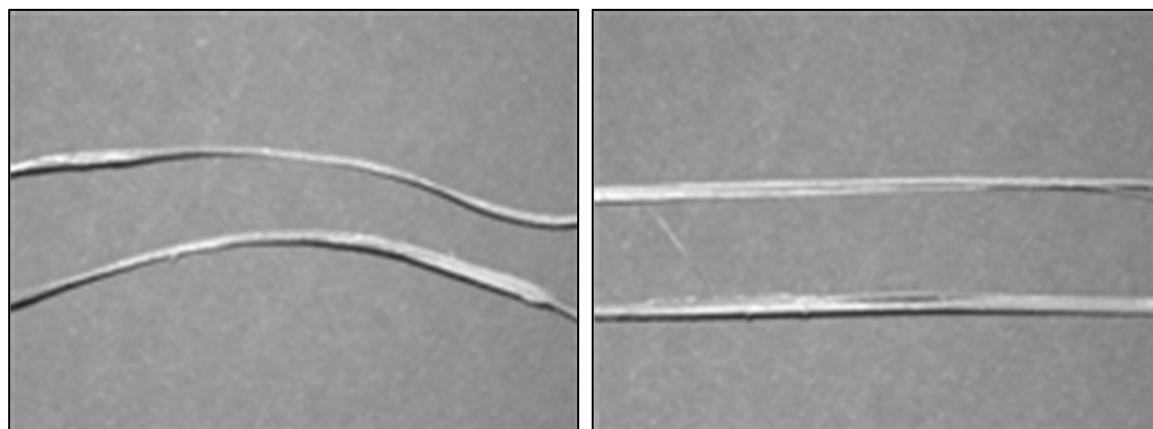


Fig. 2. Fibra de Cana com Resina.

Fig. 3. Fibra de Bambu com Resina.

O teste de ensaio mecânico foi feito seguindo as orientações da norma ASTM C1557-14, *Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers*, a qual especifica as condições de trabalho para fibras individuais a temperatura ambiente, determinando a resistência a tração e o módulo de resistência. A máquina de ensaio mecânico foi a de marca EMIC modelo DL3000, capacidade de 30 kN, de duas colunas guias cilíndricas paralelas, com velocidade de 0,01 a 1000 mm/min, classe de medição e força – classe 1 - ISO7500-1. O teste utilizou a velocidade constante de 1,2 mm/min.

As figuras 4 e 5 mostram o comportamento do resultado do ensaio mecânico de cada fibra de cana de açúcar e de bambu (150,0 mm de comprimento, 2,0 mm de diâmetro), com as respectivas resinas RQF100, RQF110 e RQF120. Foram feitos 10 testes da fibra de cana de açúcar para cada tipo de resina, totalizando 30 testes e o mesmo procedimento foi feito para a fibra de bambu. Ao todo, foram realizados 60 testes, dentre os quais, as figuras 4 e 5 mostram os melhores valores de cada fibra para cada resina, como referência de parâmetros.

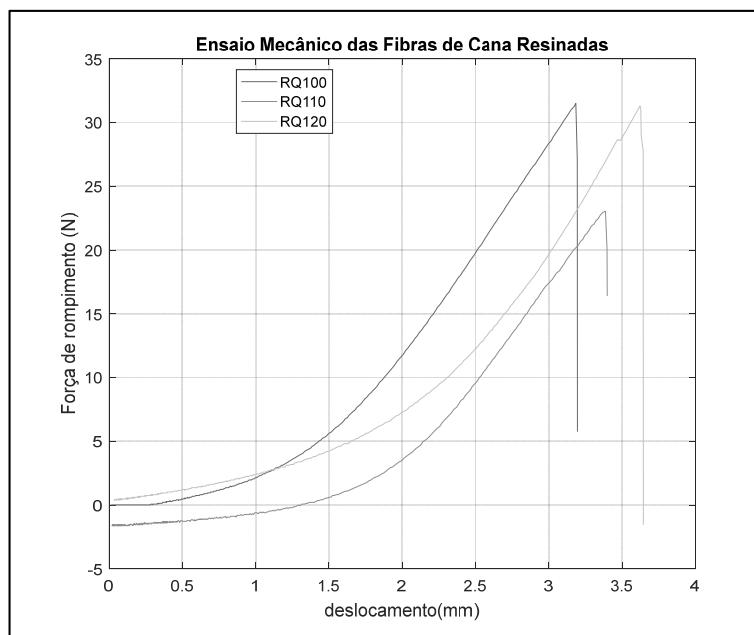


Fig. 4. Fibra de Cana de Açúcar no Teste de Ensaio Mecânico.

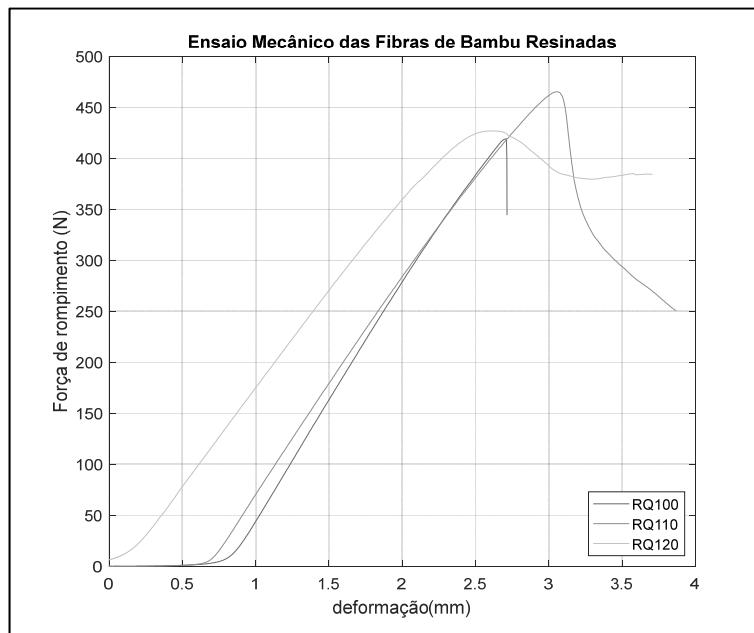


Fig. 5. Fibra de Bambu no Teste de Ensaio Mecânico.

A validação do teste de ensaio mecânico é comprovada pela condição do item 4.3 da norma ASTM C1557-14 e mostrada na Fig. 6.

O outro método de validação do teste, em relação a quantidade amostral adquirida, é comprovado pelo teorema de cálculo amostral finito. A quantidade de amostras coletadas da Força(N), deslocamento (mm) e tempo (s) foi feita, baseando-se na condição de que a quantidade de valores coletados deveria ser superior a 566, para garantir nível de confiança de 95% e um erro de máximo de 2%. Para todas as amostras coletadas no teste de ensaio mecânico, foram coletadas o mínimo de 732 valores, atendendo assim, a quantidade mínima para a validação do tamanho das amostras.

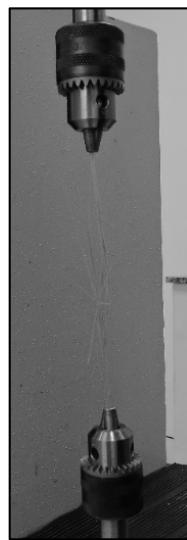


Fig. 6. Teste de Ensaio Mecânico com Validação do Teste.

Tabela 1. Resultado Quantitativo do Ensaio Mecânico.

Material	Especificação da Resina	Força de Rompimento (N)	Tensão de Resistência a Tração (MPa)	Deformação Elástica	Módulo de Elasticidade (MPa)
Fibra da Cana de Açúcar	RQF 100	31,50	8,29	0,0213	389,08
	RQF110	23,03	6,06	0,0227	267,49
	RQF120	31,30	8,23	0,0243	338,85
Fibra de Bambu	RQF 100	419,22	110,28	0,0181	6.094,53
	RQF110	465,49	122,46	0,0258	4.749,00
	RQF120	427,01	112,33	0,0247	4.543,31

O resultado numérico quantitativo dos testes de ensaio mecânico das fibras de cana de açúcar e bambu, podem ser mostrados na tabela 1 contendo: força de rompimento (N), da tensão de resistência a tração (MPa), da deformação elástica, e do módulo de elasticidade (MPa). Observe que estas informações correspondem as figuras 4 e 5.

#### 4.2. Reconhecimento de Padrões nas Fibras Vegetais de Cana de Açúcar e Bambu

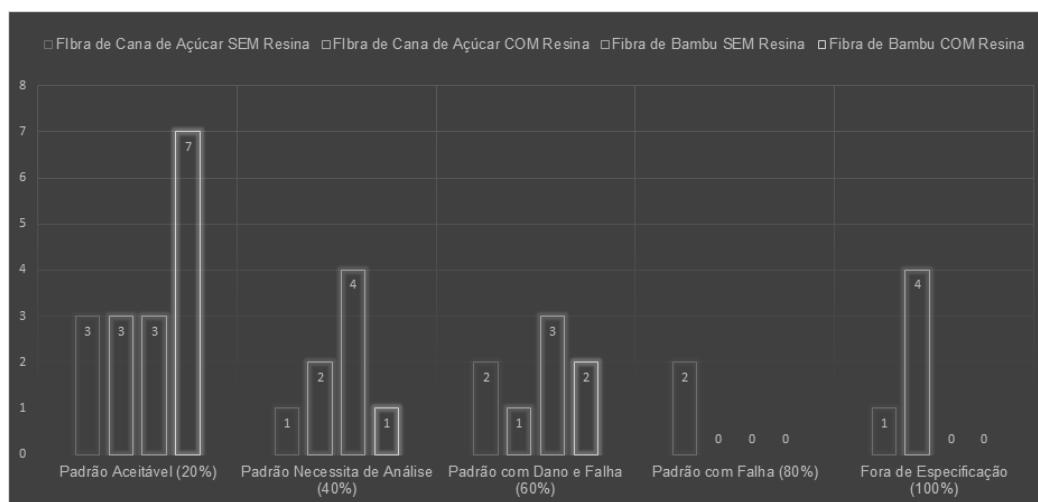
Utilizando as informações obtidas da força (N) e do deslocamento (mm), é possível determinar o ângulo que formado entre estas duas grandezas escalares, utilizando o teorema matemático de Pitágoras. Com isso, o teorema de reconhecimento de padrões pode ser aplicado e atribuída para a separação das classes aos objetos de acordo com a similaridade destas.

Considere que, os sinais analisados são formados por testes individuais de cada fibra de cana de açúcar e bambu do ensaio mecânico, cada teste feito é um sinal, composto de no mínimo 732 valores de força (N) e deslocamento (mm), cujo conteúdo do sinal é chamado de amostras. Para melhorar as informações do banco de dados, foram inseridas as informações dos testes realizados nas fibras de cana de açúcar e de bambu sem resina pelo pesquisador [26].

A análise do algoritmo é feita utilizando o conceito de matriz dinâmica, cuja alocação e a análise de dados ocorrem ponto a ponto, considerando o ângulo teta, oriundo do resultado da força pelo deslocamento, da fibra referencial do teste de ensaio mecânico. Portanto, dado uma referência, é possível classificar e determinar o tipo de grupo de outras fibras em medição, pelo valor do ângulo formado entre a força e deslocamento. O resultado da classificação do ângulo de referência em relação a outro valor angular, tem um erro pré-determinado de 3%, considerado pequeno, se comparado a quantidade de 732 amostras para cada fibra vegetal.

A classificação do sinal é determinada sob o critério de que, o padrão aceitável, deve ter uma variação angular de até 20%; o padrão de 20% a 40% é considerado necessitar de análise mais detalhada; o padrão de 40% a 60% se encontra com algum dano ou falha; o padrão de 60% a 80% se encontra com falhas; por fim, o padrão de 80% a 100% é considerado fora da especificação. Esta classificação é um critério que pode ser alterado, dado a especificidade e precisão do que se deseja. A tabela 2 mostra o resultado da aplicação do algoritmo com erro de 3% de análise.

Tabela 2. Resultado da Classificação dos Grupos.



Note, ao total foram analisados 60 sinais e classificados 39, sendo que a diferença não classificada está fora de qualquer padrão pré-determinado, da classificação proposta. Estes 60 sinais são formados pelos resultados do teste de ensaio mecânico das fibras de cana de açúcar e bambu, com e sem resina. A distribuição das fibras de cana de açúcar e bambu, na sua maioria, na região de padrão aceitável (20%), totalizando um grupo de 16 sinais, sendo a maioria da fibra de bambu com resina. Já nos sinais que necessitam de reanálise (40%) existem 8 sinais, sendo a maioria a fibra de bambu sem resina. Nos sinais com possíveis danos e falhas (60%) existem 8 sinais, sendo a maioria as fibras de bambu sem resina. Nos sinais com falhas (80%) existem 2 sinais da fibra da cana de açúcar sem resina. Nos sinais fora de especificação (100%) existem 5 sinais, sendo a maioria os da fibra de cana de açúcar com resina.

Dado esta distribuição que ocorreu pela classificação do ângulo teta, formado pela força e deslocamento da fibra, também é possível observar condições qualitativas das fibras. Uma delas, de uma forma geral, as fibras com resina têm uma maior quantidade no padrão aceitável (20%), e são inferiores no padrão que necessita de análise detalhada (40%), e são menores ainda no padrão com dano e falha (60%). Dado estas informações é possível afirmar que a fibra de cana de açúcar e bambu, quando sobreposta a resina, demonstra uma pré-disposição de melhora qualitativa do material. A outra é que a fibra de bambu resinada, dada a quantidade maior no padrão aceitável (20%), e a sua queda quase uniforme nos padrões de 40% e 60%, sugere que a distribuição das resinas na superfície da fibra pode ser melhor para as fibras de bambu do que para as da fibra da cana de açúcar.

Como resultado geral, dado o teste de ensaio mecânico das fibras de cana de açúcar e bambu, com e sem resina, é possível afirmar que este algoritmo determina a classificação, quantifica e até possibilita uma visão qualitativa, formado pelo ângulo teta oriundo da força-deslocamento. Nota-se ainda que, a visão qualitativa permite um grau de aprofundamento investigativo relacionado a distribuição dos grupos dos tipos de fibras.

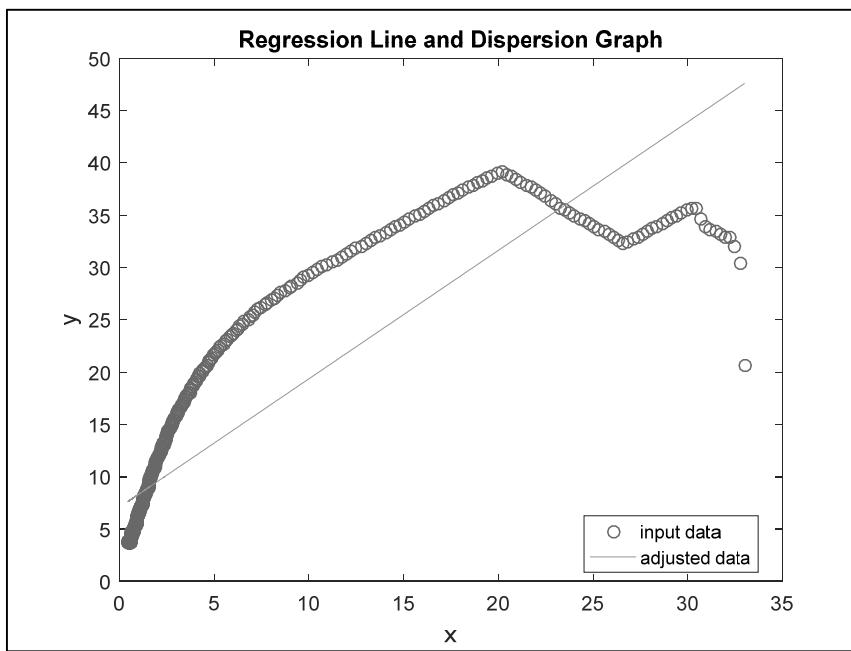


Fig. 7. Curva de Regressão Linear da Fibra de Cana sem Resina.

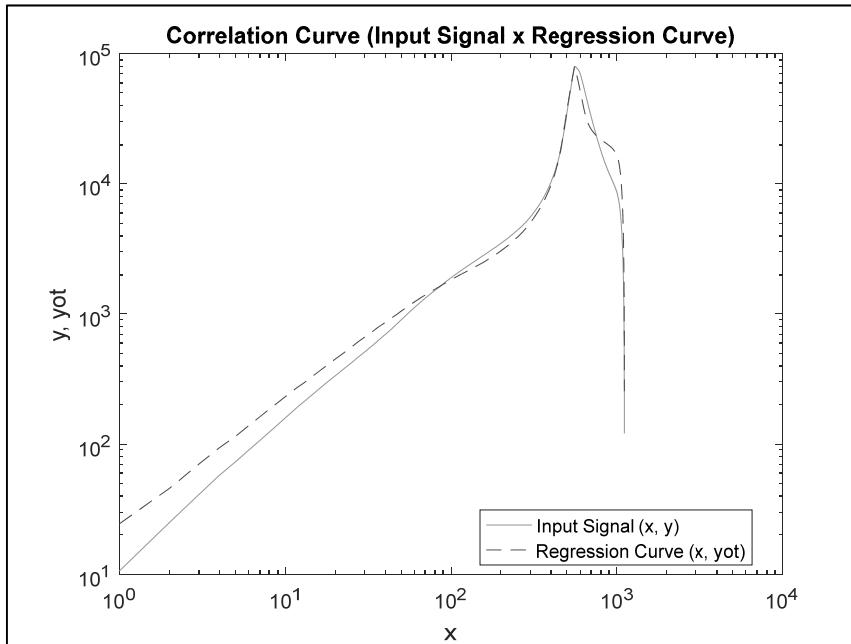


Fig. 8. Curva de Correlação da Fibra de Cana sem Resina.

Na sequência são mostradas as curvas de regressão linear e correlação do sinal de referência da força (N), com um sinal amostrado determinado padrão (20%). O gráfico de regressão linear tem a finalidade de determinar a equação característica da reta e as constantes da mesma, já a correlação determina a condição de dependência entre duas variáveis.

As figuras 7 e 8 mostram a regressão linear e a correlação do sinal padrão, com um dos sinais no padrão de 20%, ambos da força (N) da fibra da cana sem resina. Esta consideração é feita, condicionada a variação

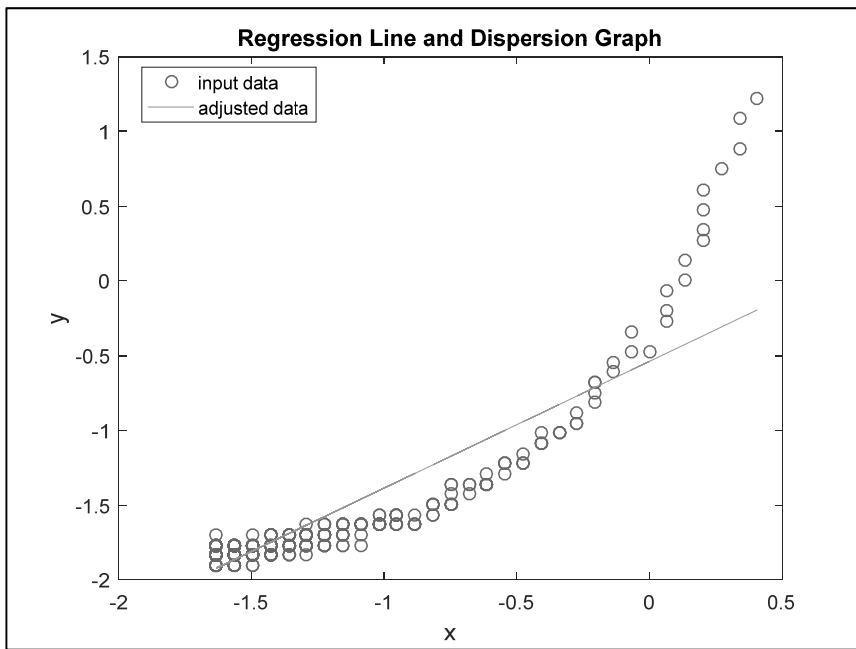


Fig. 9. Curva de Regressão Linear da Fibra de Cana com Resina.

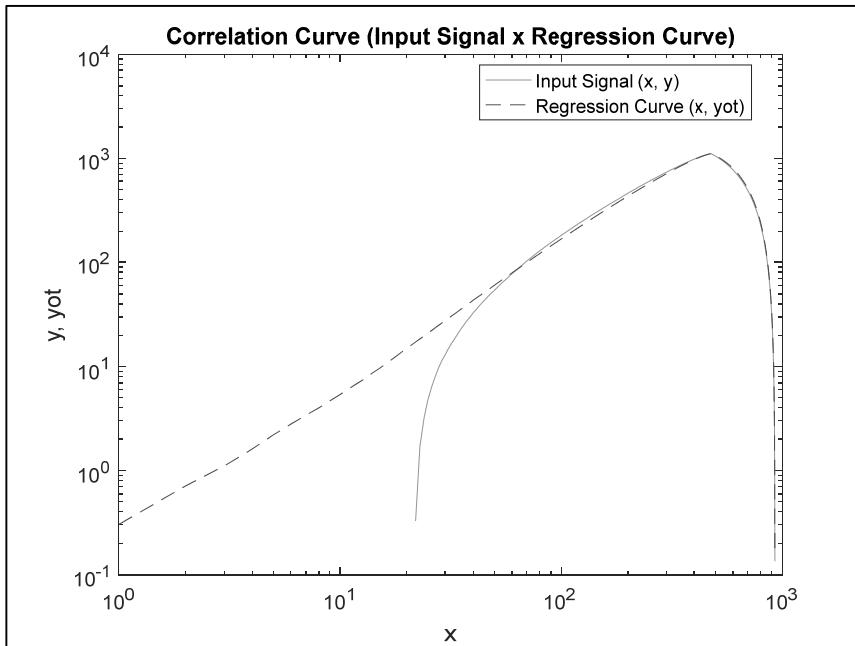


Fig. 10. Curva de Correlação da Fibra de Cana com Resina.

da força obtida nos resultados dos testes de ensaio mecânico aplicados as fibras de cana de açúcar e bambu, com e sem resina.

As figuras 9 e 10 mostram a regressão linear e a correlação do sinal padrão com um dos sinais no padrão de 20%, ambos da força (N) da fibra da cana com resina.

As figuras 11 e 12 mostram a regressão linear e a correlação do sinal padrão com um dos sinais no padrão de 20%, ambos da força (N) da fibra de bambu sem resina.

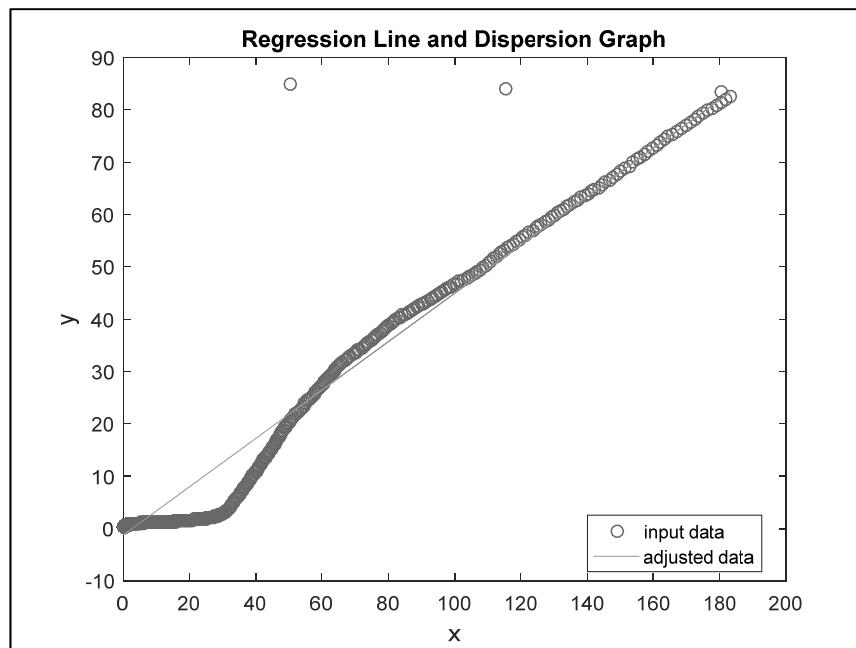


Fig. 11. Curva de Regressão Linear da Fibra de Bambu sem Resina.

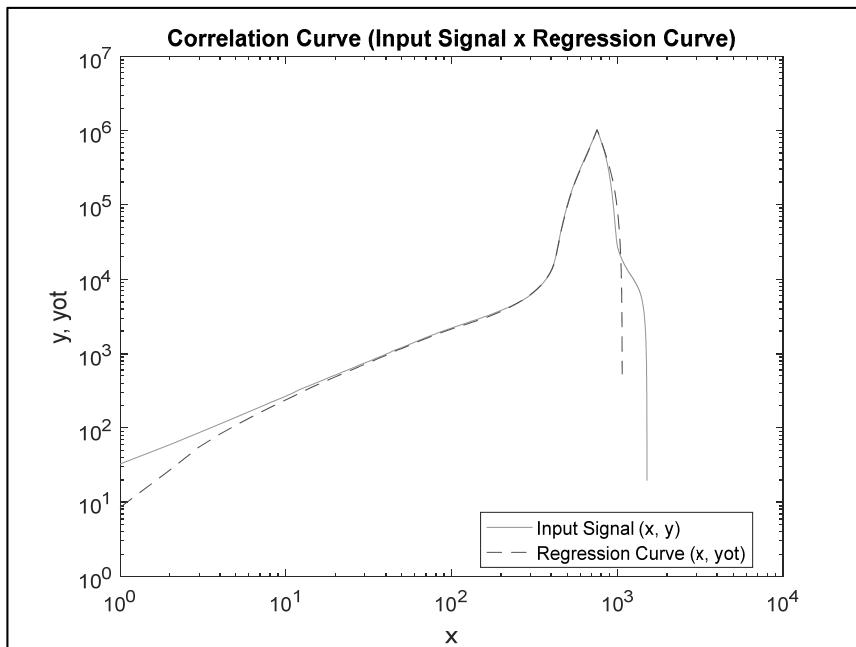


Fig. 12. Curva de Correlação da Fibra de Bambu sem Resina.

As figuras 13 e 14 mostram a regressão linear e a correlação do sinal padrão com um dos sinais no padrão de 20%, ambos da força (N) da fibra de bambu com resina.

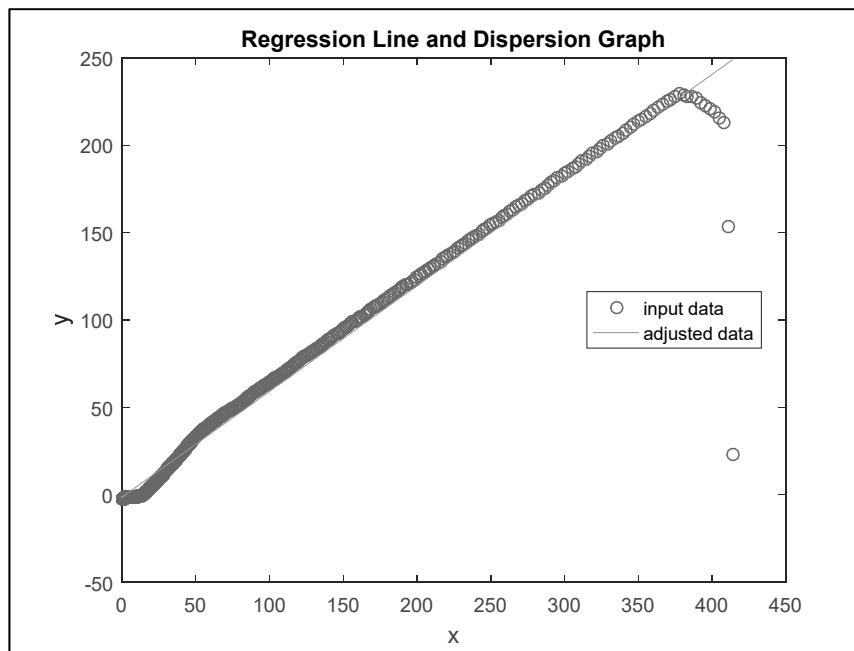


Fig. 13. Curva de Regressão Linear da Fibra de Bambu com Resina.

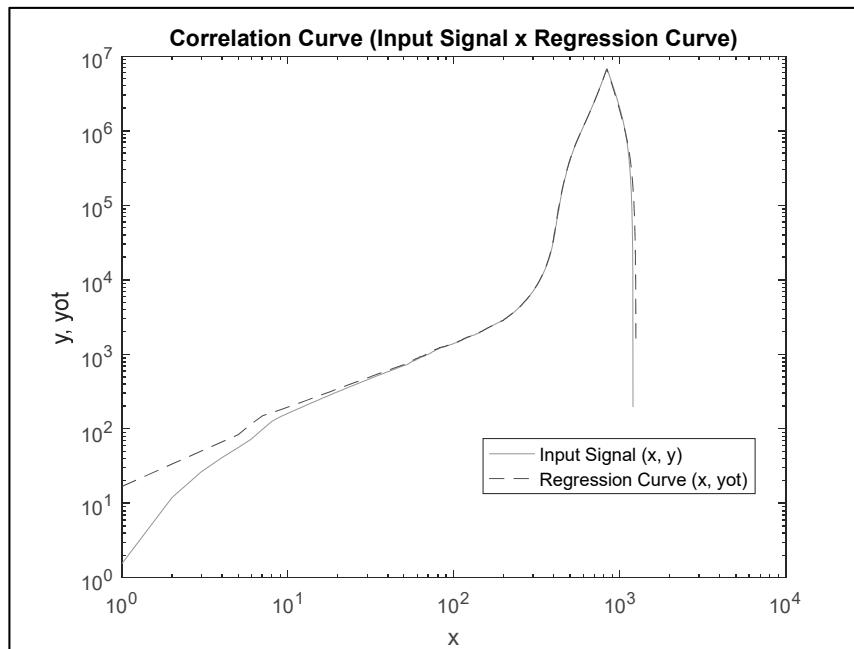


Fig. 14. Curva de Correlação da Fibra de Bambu com Resina.

#### 4.3. Discussão Geral sobre os Resultados

Utilizando o conceito de reconhecimento de padrões na referência do ângulo teta, formado pela força (N) e deformação (mm) do teste de ensaio mecânico, foi possível observar a distribuição dos sinais, e classificação destes, em padrões específicos de grupos pré-determinados. Ainda, observou-se que o erro de 3%

Tabela 3. Informações das Equações da Regressão Linear.

<b>Fibra Vegetal</b>		<b>Angulo de Inclinação Alfa</b>	<b>Equação <math>y(i) = ax+b</math></b>		<b>Centro de gravidade da linha de regressão</b>	
			<b>a</b>	<b>b</b>	<b>x</b>	<b>y</b>
Fibra de Cana de Açúcar	sem resina	50,8262	1,22727	7,08779	4,97727	13,1962
	com resina	40,2709	0,84719	-0,538534	-1,3118	-1,6499
Fibra de Bambu	sem resina	24,8065	0,462203	-1,29389	30,3289	12,7242
	com resina	31,1439	0,604285	-1,32723	63,1623	36,8408

permite que a classificação tenha uma forma rígida de análise e distribuição dos grupos, e até desclassifica sinais que não são possíveis de se reconhecer.

O motivo de ter determinado a curva de regressão e correlação somente para o sinal da força (N) é que esta tem maior relevância sobre a fibra de determinar as propriedades mecânicas na fibra, quando comparado ao deslocamento. Com isso, resultados dentro de uma margem de erros, podem ser pré-determinados e classificados, possibilitando a antecipação de possíveis danos e falhas.

De uma forma geral, as Fig. das curvas de regressão do sinal da força (N) mostram o comportamento e melhor ajuste do sinal comparado, a tabela 3 possibilita a visão matemática da equação e do ângulo de inclinação da reta.

## 5. CONCLUSÃO

Como objetivo principal o algoritmo desenvolvido, utiliza como valor de referência, o ângulo formado pela força (N) e deslocamento (mm) de uma fibra vegetal do ensaio mecânico e, posteriormente, compara outros ângulos de outras fibras de cana de açúcar e de bambu, com e sem resina, para que sejam classificadas e quantificadas as fibras em padrões aceitáveis do teste de ensaio mecânico.

Do agrupamento das fibras, em relação aos padrões de classificação, nota-se ainda a formação de uma visão qualitativa, o qual permite aprofundar uma investigação em que se relacionam as características das fibras de cana de açúcar e de bambu, como também a adesão e adesividade, os aspectos químicos da fibra, entre outros.

Um outro resultado intrínseco neste trabalho de reconhecimento de padrões, formado pelo ângulo entre a força (N) e deslocamento (mm) do ensaio mecânico, é a validação da caracterização do experimento baseado no ângulo referencial da fibra em teste. A caracterização ocorre do valor referência adotado, praticado pela diretriz da norma ASTM C1557-14, comparando com outros valores angulares, e posteriormente locados em grupos de padrões, conforme apresentado no trabalho.

Um outro resultado desenvolvido do reconhecimento de padrões, está relacionado a regressão linear e a correlação dos sinais da força (N), em que, se estabelecem parâmetros para uma análise futura do comportamento da fibra da cana de açúcar e bambu, ambas, ligadas a métodos. Neste caso, a variação das constantes das equações, podem demonstrar variação no comportamento das fibras de cana de açúcar e bambu, com e sem resina, utilizada neste trabalho.

Nota-se que com o desenvolvimento do reconhecimento de padrões do ângulo formado pela força (N) e deformação (mm) das fibras de cana de açúcar e bambu, com e sem resina, diversas análises quantitativas e qualitativas foram desenvolvidas e apontadas neste trabalho, portanto, afirmo que o objetivo deste trabalho atende as necessidades e expectativas de uma pesquisa científica fundamentada para as áreas de materiais, acústica, vibração e mecânica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos Laboratórios LAPO, SISPLEXOS, Laboratório de Biocombustíveis FATEC Araçatuba, onde cada qual contribuiu para com os resultados experimentais, bem como, à UNESP e FATEC Araçatuba pelo suporte técnico e acadêmico.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Beyerer, J.B., Richter, M., Nagel, M., *Pattern Recognition: Introduction, Features, Classifiers and Principles*, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston (2018)
- [2] Biagotti, J., Fiori, S., Torre, L., Lopez-Manchado, M.A., “Mechanical properties of polypropylene matrix composites reinforced with natural fibers: A statistical approach”, *Polymer Composites*, **25**(1), 26-36 (2004)
- [3] Li, D., Yang, W., Wang, S., “Classification of foreign fibers in cotton lint using machine vision and multi-class support vector machine”, *Computers and Electronics in Agriculture*, **74**(2), 274-279 (2010)
- [4] Sun, X., Zhou, M., Sun, Y., “Classification of textile fabrics by use of spectroscopy-based pattern recognition methods”, *Journal Spectroscopy Letters: An International Journal for Rapid Communication*, **49**(2), 96-102 (2015)
- [5] Eichhorn, S.J., Hearle, J.W.S., Jaffe, M., Kikutani, T., *Handbook of textile fibre structure Volume 1: Fundamentals and manufactured polymer fibres*, Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, (2009)
- [6] Salit, M.S., *Tropical Natural Fibre Composites: Properties, Manufacture and Applications*, Springer Science+Business, Singapore (2014)
- [7] Kalia, S., Kaith, B.S., Kaur, I., *Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites Green Chemistry and Technology*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2011)
- [8] Akihiro ABE, A., Dušek, K., Kobayashi, S., *Biopolymers: Lignin, Proteins, Bioactive Nanocomposites*, Springer-Verlag, Heidelberg (2010)
- [9] Liese, W., Michael Kohl, M., *Bamboo - The Plant and its Uses*, Springer International Publishing Switzerland, (2015)
- [10] Henry, R.J., Kole, C., *Genetics, Genomics and Breeding of Sugarcane*, Science Publishers, Enfield (2010)
- [11] Cook, J.G., *Handbook of Textile Fibres*, Woodhead Publishing, Cambridge (2001)
- [12] Bunsell, A.R., *Handbook of Properties of Textile and Technical Fibres*, 2 ed., Elsevier, Cambridge (2018)
- [13] Albinante, S.R., Acordi, E.B., Pacheco, V., Visconte, L.L.Y., “Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas”, *Revista Química Nova*, **36**(1), 114-122 (2013)
- [14] Ebnesajjad, S., *Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding*, Elsevier, USA (2014)
- [15] Meyers, R.A., *Encyclopedia of Physical Science and Technology: Polymers*, 2 ed., Academic Press (2001)
- [16] Stokke, D.D., Wu, Q., Han, G., *Introduction to Wood and Natural Fiber Composites*, John Wiley & Sons, West Susset (2014)
- [17] Lau, A.K., Hung, A.P., *Natural Fiber-Reinforced Biodegradable and Bioresorbable Polymer Composites*, Elsevier, Duxford (2017)
- [18] Pocius, A.V., *Adhesion and Adhesives Technology: An Introduction*, Ohio: Hanser Publications (2012)
- [19] Walpole, R.E., Myers, R.H., Myers, S.L., Ye, K., *Probability & Statistics for Engineers & Scientists*, 9 ed., Pearson Education, Boston (2012)
- [20] Vidakovic, B., *Statistics for Bioengineering: With MATLAB and WinBUGS Support*, Springer Science, New York (2011)
- [21] Martinez, W.L., Martinez, A.R., *Computational Statistics Handbook with MATLAB*, 3 ed., Taylor & Francis Group, Boa Raton (2016)
- [22] Yan, X., Su, X.G., *Linear Regression Analysis: Theory and Computing*, Singapore, World Scientific Publishing (2009)
- [23] Dasgupta, D., *Artificial Immune Systems and Their Applications*, Springer-Verlag, Heidelberg (1999)
- [24] Osire, S.E., Gonçalves, A.P., Alemanyehu, F.M., *Probabilistic Prognostics and Health Management of Energy Systems*, Gewerbestrasse, Springer International Publishing (2017)

- [25] Outa, R., Chavarette, F.R., Louzada, M.J., “Resistencia Mecânica da Fibra Vegetal Mercerizada da Cana de Açúcar e Bambu”, *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, **10**(3), 288-304 (2016)

## **RECOGNITION OF PATTERNS: CLASSIFICATION AND IDENTIFICATION OF DAMAGE IN COMPOSITE MATERIALS OF SUGAR CANE AND BAMBOO FIBER**

**Abstract** – The objective of this work is to demonstrate a method of pattern recognition, formed by the angle, of the force (N) and deformation (mm), of the mechanical test of the sugarcane and bamboo fibers mercerized with liquid epoxy bicomponent resin. The methodology is based on an algorithm that uses a reference angle and compares other angles of other mercerized sugarcane and bamboo fibers, with and without resins, tested from the mechanical test experiment. The pattern recognition algorithm is based on parametric statistical theory and shows graphical results of linear regression and correlation of the signals. The result presents two important points of view: the first and most important, the classification and quantification of mercerized sugarcane and bamboo fiber groups, with and without resin, by pattern recognition; the second point of view makes the pattern recognition procedure a method of experimental characterization. The intrinsic result of the classification of the standard groups also shows a possibility of deepening scientific research, that is, this method proposes a concept of opening qualitative secondary scenarios, after classification. Therefore, the objective of this work has been met, and can be applied in the areas of materials, acoustics, vibration, civil and mechanical.

**Keywords** – Experimental Characterization, Pattern Recognition, Plant Fibers, Fibrous Composite.

