



# ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DE ABSORÇÃO ACÚSTICA E MÉCÂNICAS DAS FIBRAS VEGETAIS ALONGADAS MERCERIZADA DA CANA E BAMBU

ROBERTO OUTA<sup>1,2</sup>, FABIO ROBERTO CHAVARETTE<sup>2</sup>, CLÁUDIO HENRIQUE  
CERQUEIRA COSTA BASQUEROTTO<sup>2</sup>, APARECIDO CARLOS GONÇALVES<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FATEC - Faculdade de Tecnologia de Araçatuba.

Departamento de Biocombustíveis.

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

<sup>2</sup>UNESP – Univ. Estadual Paulista

Departamento de Engenharia Mecânica

Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS)

Avenida 56 - CEP: 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil

(Recibido 18 de abril de 2017, para publicación 22 de julio de 2017)

**Resumo** – Este trabalho tem como objetivo estudar as características do coeficiente de absorção sonora das fibras vegetais沿adas mercerizadas da cana e bambu. As fibras alongadas de cana e bambu, a princípio foram preparadas com as dimensões aproximadas de 150,0 mm, e posteriormente, mercerizadas em solução a 10% de NaOH e desfibradas manualmente com o diâmetro aproximado de 2,0 mm. Por conseguinte, foi feito o ensaio mecânico das fibras alongadas mercerizadas para se obter as características mecânicas. Com isso, foram desenvolvidas amostras considerando o peso e a espessura para a medição do coeficiente de absorção acústica. O resultado obtido foi de que as fibras em estudo têm significância como material de absorção acústica na engenharia.

**Palavras-chave** – Acústica, fibras vegetais, vibração, resistência mecânica.

## 1. INTRODUÇÃO

As plantas fibrosas têm sido utilizadas integralmente pela sociedade humana e associadas à ascensão e queda de diferentes civilizações, e conforme o crescimento acelerado populacional, pode ocorrer à redução de terras disponíveis para o cultivo, tanto quanto a quantidade de água doce disponível na área. O conhecimento do material dessas plantas fibrosas tem como objetivo fornecer informações e tecnologia para a melhoria continua do uso destes materiais que podem ser utilizadas na área de biotecnologia, engenharia de materiais, entre outras [1].

As plantas fibrosas são compostas por celulose, chamadas de fibras celulósicas, e as fibras naturais são derivadas e classificadas oriundas de plantas, animais ou minerais, conforme a sua origem [2]. As fibras vegetais celulósicas são compostas por paredes de células ao redor do lúmen central, formadas à partir do reforço de microfibras de celulose semicristalinas, justapostas em forma matricial de hemicelulose e lignina de diferentes composições [3]. Essas fibras são constituídas, a princípio, de células alongadas e entrelaçadas, compostas de celulose (40% a 90% em massa de fibra) com características de propriedades mecânicas como resistência, tensão, módulo de alongamento e ruptura, e a densidade; e de hemicelulose (1% a 30% em massa da fibra) que é uma variedade de moléculas complexas; pectina; lignina (1% a 35% em massa de fibra) que é uma macromolécula formada por um sistema aromático; e extrativos formado por gorduras, proteínas e sais inorgânicos [4].

O bambu é composto por constituintes químicos como a celulose, hemicelulose e lignina, o qual é formado da junção de fibras celulósicas em uma matriz de lignina, compostas por células de *leptodermous* e *sclerenchyma* que envolvem o tecida matriz, cujos feixes vasculares, floemas, são constituídos por células

de esclerênquima atuando no reforço da planta. A hemicelulose e celulose, holocelulose, representam 50% dos constituintes químicos [2]. Já a cana de açúcar é composta de celulose, hemicelulose e lignina, e destes constituintes químicos a lignina representa 23,4% [5, 6].

### 1.1. Tratamento Superficial - Mercerização

De uma forma geral, na superfície da cana de açúcar e o bambu contém impurezas, e estas podem ser limpas e removidas através de tratamentos químicos superficiais alcalinos, como o tratamento utilizando  $NaOH$  [7, 8, 9]. O tratamento químico utilizando  $NaOH$  transforma a superfície das fibras naturais em uma superfície rugosa, melhorando a propriedade mecânica, como também a adesão fibra-matriz [8]. Esse tratamento superficial alcalino, utilizando  $NaOH$ , pode ser chamado de mercerização [4]. A mercerização é a imersão da fibra vegetal em uma solução fria, álcali caustica, por um determinado tempo, e posteriormente, lavada em água corrente, cujas fibras vegetais têm um aumento de tensão na superfície rugosa [10].

### 1.2. Acústica

A palavra acústica pode ser definida como a ciência do som e é um assunto interdisciplinar que abrange a física, engenharia, psicologia, audiologia, música, arquitetura, fisiologia, neurociência, entre outros. O som pode ser produzido por diferentes fontes sonoras: pela vibração de um corpo, mudança do fluxo de ar, fontes de calor dependentes do tempo, e fluxos supersônicos [11].

Portanto o som, dada uma determinada vibração, pode ser entendido como a oscilação de movimentos alternados de avanço e recuo, dado uma posição nominal, que pode ser representado matematicamente em um gráfico de forma senoidal [12, 13, 14]. A equação 1 representa o movimento da onda senoidal em um instante qualquer [13].

$$f(t) = A \cdot e^{j(\omega t + \varphi)} \quad (1)$$

o qual  $A$  representa a amplitude da onda,  $e^{j(\omega t + \varphi)}$  é a forma imaginária da localização da onda em um instante qualquer,  $\omega$  é a frequência angular,  $t$  é o tempo,  $\varphi$  é o ângulo de fase defasado. Considerando que esta onda se propaga em um meio qualquer, a equação da onda pode ser escrita como,

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \frac{1}{k^2} = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \frac{1}{\omega^2} \quad (2)$$

sendo,  $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$  a segunda derivada do deslocamento da onda no espaço,  $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$  a segunda derivada do deslocamento da onda no tempo, e  $k$  o comprimento de onda, portanto, a equação da onda é uma equação diferencial que envolve duas ou mais variáveis independentes e derivadas parciais de uma dada função [13, 15]. Já a equação da onda acústica depende da equação do estado para gases, da equação da continuidade – conservação de massa, e da equação de Euler, que por fim, em um processo adiabático, pode ser escrita como [13, 16],

$$\left( \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} \right) = c^2 \left( \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} \right) \quad (3)$$

sendo,  $P$  a pressão no fluido,  $c$  a velocidade do som no meio, e  $x$  o deslocamento da onda.

As ondas acústicas se propagam em meios diferentes, sendo que, para o princípio de reflexão e transmissão em dois meios, estes podem ser quantificados quando são analisadas, na região de contorno, as condições da pressão sonora, quando ela incide, reflete e é transmitida [11, 13, 16]. A Fig. 1 mostra a onda de pressão sonora incidindo uma barreira sonora, e a condição de incidência e reflexão na região de contorno.

No meio I, lado esquerdo da Fig. 1, observa-se que a impedância acústica é  $r_1 = \rho_1 c_1$ , e no meio II, lado direito da figura, a impedância acústica é  $r_2 = \rho_2 c_2$ , sendo que no meio I, a pressão incidente é  $P_i = P_{ia} e^{j(\omega t - k_1 x)}$ , e a pressão reincidente é  $P_r = P_{ra} e^{j(\omega t + k_1 x)}$ , e no meio II, a pressão transmitida é  $P_t = P_{ta} e^{j(\omega t - k_2 x)}$ , sendo  $P_{ia}, P_{ra}, P_{ta}$  as amplitudes das pressões respectivas em cada meio. Assim, a

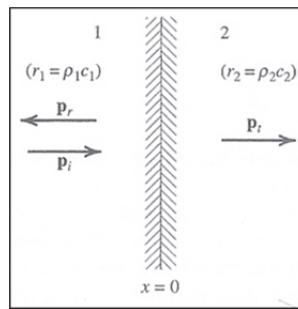


Fig. 1. Região de Contorno ( $x = 0$ ) - Incidência da Pressão Sonora.

equação que representa a pressão acústica em dois meios pode ser escrita como  $P_i + P_r = P_t$ , quando  $x = 0$  [13, 16]. O coeficiente de absorção acústica,  $\alpha$ , pode ser calculado como sendo,

$$\alpha = \frac{4*ROE}{(ROE+1)^2} \quad (4)$$

o qual,  $ROE$  é a razão das ondas estacionárias, que varia o resultado entre 0 e 1, assim,  $ROE = \frac{A+B}{A-B}$ , sendo  $A, B$ , as amplitudes das ondas incidente e reincidente [13, 16].

A condição na região de contorno, da reflexão e absorção acústica, pode ser reproduzida utilizando o experimento laboratorial tubo de impedância [17]. A técnica do tubo de impedância é uma técnica utilizada para medir o coeficiente de absorção acústica e a impedância do material, considerando a captação da pressão sonora no interior de um tubo [18]. Neste trabalho foi utilizada a norma ISO10534-1(1996) para o desenvolvimento do experimento, cujas características que determinam as frequências de trabalho para aplicação no experimento são a frequência de corte,  $f_c = \frac{1,84 c}{\pi d}$ , e comprimento de onda,  $\lambda = \frac{c}{f}$ , [18]. Portanto,  $c$  é a velocidade do som no fluido ar;  $d$  é o diâmetro do tubo;  $f$  é a frequência. O método da captação da onda estacionária, no interior do tubo, é feito quando a sonda é posicionada no lado oposto a fonte sonora, e com o avanço desta sonda, é possível captar as diferentes pressões sonoras no interior do tubo [19].

O som se propaga pela transferência de energia dos choques sucessivos entre as partículas do meio fluídico, alterando a sua densidade, e os materiais de absorção sonora retém parte desta energia, dissipando-a através de vibração, pela incidência de múltiplas reflexões, pela perda térmica do atrito viscoso [16, 20]. De uma forma geral, os materiais de absorção acústica são classificados distintamente entre as categorias de materiais fibrosos, porosos, compósitos, ressonadores de cavidades, e por fim, as membranas. Os materiais porosos e fibrosos são efetivos na absorção de alta frequência; os ressonadores de cavidade são efetivos em média frequências; já as membranas são efetivas em baixas frequências [16].

## 2. MÉTODOS E PROCESSOS

A princípio este trabalho foi desenvolvido em diferentes etapas, sendo a primeira, a mercerização das fibras alongadas da cana e bambu, a segunda, a análise e entendimento da propriedade mecânica das fibras, a terceira, a caracterização do experimento do tubo de impedância, e a quarta, a medição do coeficiente de absorção sonora.

### 2.1. Características Mecânicas das fibras alongadas da cana e bambu

As fibras alongadas de cana e de bambu ficaram imersas no hidróxido de sódio,  $NaOH$ , por 36 h, a solução de 10%, para a limpeza superficial das fibras, cujo comprimento aproximado foi de 150,0 mm. Posteriormente, foram lavadas em água corrente, e desfibradas no sentido longitudinal, acompanhando o mesmo sentido da linha de crescimento da fibra, pois na montagem das amostras, as fibras alongadas podem ser melhor manipuladas, formando uma amostra mais concisa, podendo até contribuir para uma



Fig. 2. Fibra alongada mercerizada da cana de açúcar.



Fig. 3. Fibra alongada mercerizada de Bambu.

Tabela 1. Características Mecânicas das Fibras de Cana e Bambu.

Fibras	Característica	$F$ (N)	$\tau$ (Mpa)	$E$ (GPa)
Bambu	fibra seca	288,08	91,6987	3,1
Cana de Açúcar	fibra seca	85,60	27,2473	1,0

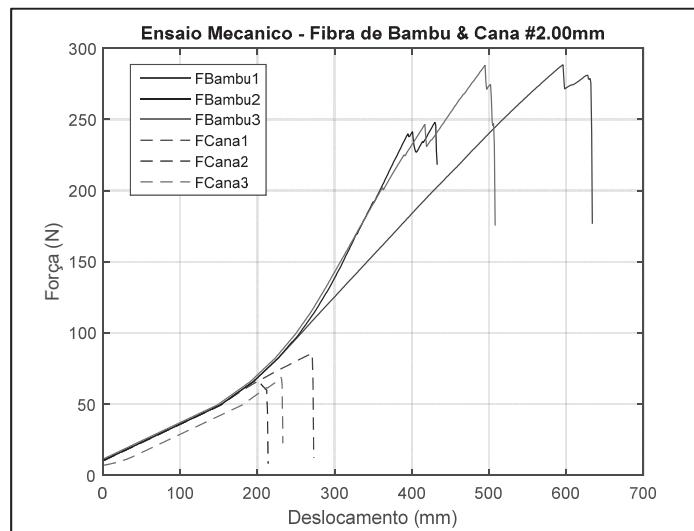


Fig. 4. Características Mecânicas das Fibras de Cana e Bambu.

melhor absorção da energia acústica [19]. As Figuras 2 e 3, mostram as fibras alongadas mercerizadas de cana e bambu, respectivamente.

A partir da lavagem das fibras, em água corrente, essas foram desfibradas manualmente com o diâmetro aproximado de 2,0 mm. Portanto, as dimensões aproximadas de ambas as fibras de cana e bambu, tem o comprimento 150,0 mm e diâmetro de 2,0 mm. Com isso foi possível obter informações das características mecânicas das fibras alongadas mercerizadas de cana e bambu. O teste de ensaio mecânico foi feito utilizando a norma ASTM C1557-14 - *Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers*, a tabela 1 mostra o resultado da força de tração,  $F(N)$ , tensão de cisalhamento,  $\tau$  (Mpa), e do módulo de elasticidade,  $E$  (GPa) [21].

A Fig. 4 mostra o resultado gráfico do ensaio mecânico das fibras alongadas mercerizadas da cana e bambu [21].

Tabela 2. Média, Desvio Padrão e Variança.

Fibras	Característica	A	B	C	D
<b>Bambu</b>	fibra seca	732	4,87371	0,38525	0,62069
<b>Cana de Açúcar</b>	fibra seca	732	1,26998	1,09655	1,04716

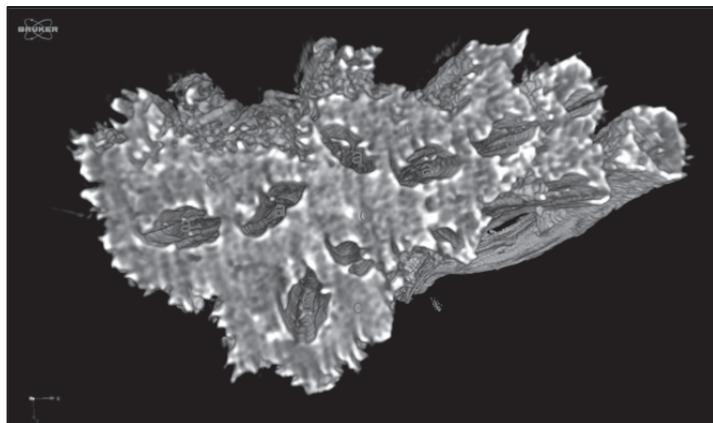


Fig. 5. MCT da Fibra da Cana.

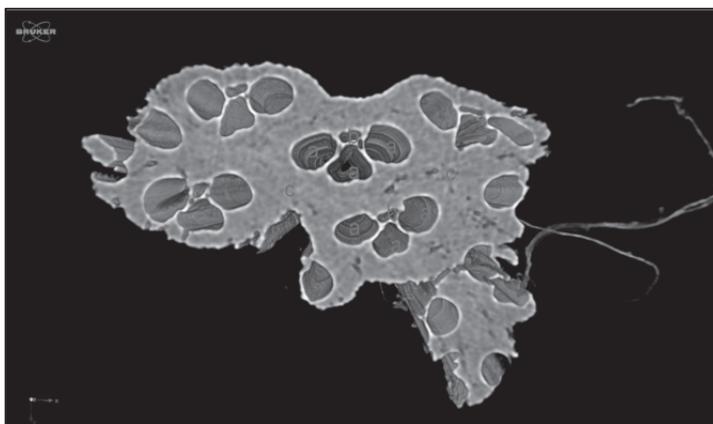


Fig. 6. MCT da Fibra de Bambu.

O cálculo do erro amostral foi desenvolvido utilizando o teorema de cálculo amostral finito, e foram medidos 732 pontos, e seriam necessários 566 pontos de medições para garantir 95% de confiança, cujo erro é de 2%. Portanto, com o experimento em desenvolvimento, o erro é de 2% das medidas encontradas do comportamento da variação da força pelo deslocamento. A tabela 2 mostra o resultado numérico da média, desvio padrão e variança dos pontos medidos no ensaio mecânico das fibras alongadas Mercerizadas da cana e bambu, assim, o qual, A representa os pontos medidos de deslocamento, B é a média dos valores medidos do deslocamento, C é a variança, e D é o desvio padrão [21]. A abordagem qualitativa das fibras alongadas Mercerizadas da cana e do bambu podem ser mostradas nas Figuras 5 e 6, respectivamente. Essas figuras são cortes transversais feitas por microtomografia computadorizada - MCT, tendo a composição de  $10 \mu\text{m}$  e  $8 \mu\text{m}$  para as fibras de cana e bambu, respectivamente, com rotação de  $0,5^\circ$  com três frames [21].

Nas Figuras 5 e 6, a letra *a* representa o xilema; *b* representa a tilose; *c* é a região que representa o parênquima que compõe a maior parte das partes moles da planta. Portanto, um dos motivos da resistência a tração da fibra de bambu ser maior que a da cana pode ser referenciado pela quantidade maior de xilema, e também pela alta concentração de lignina nesta região [21].

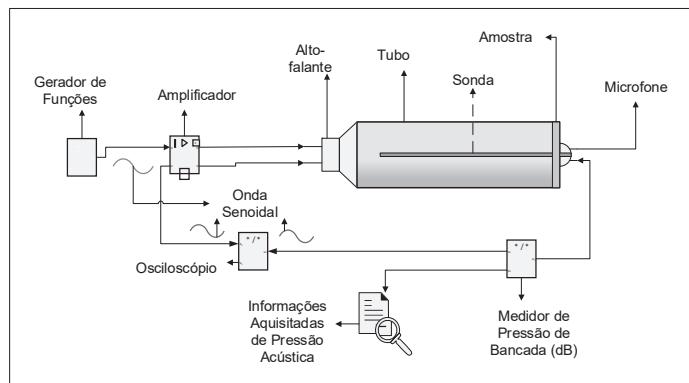


Fig. 7. Desenho Esquemático do Tubo de Impedância.

## 2.2. Caracterização do Experimento do tubo de Impedância

Para se medir o coeficiente de absorção acústico da fibra alongada Mercerizada da cana e bambu, foi utilizada a norma ISO1053401(1996), porém, antes da medição do coeficiente, foi necessário caracterizar o experimento, e preparar as amostras para utilização no tubo de impedância.

A caracterização do experimento consiste em obter diferentes ondas estacionárias no interior de um tubo, para que se possam comparar as pressões sonoras medidas com as pressões sonoras do modelo numérico. Para isso, no modelo numérico foi desenvolvido um algoritmo, cujos resultados, variando a frequência, deram os resultados de uma onda estacionária. Após, utilizando o experimento do tubo de impedância, com as mesmas frequências do modelo numérico, foi possível compará-las e analisar o erro.

Os parâmetros que determinam o uso da frequência permitida no experimento são a frequência de corte  $f_c = \frac{1,84c}{\pi d}$ , e o comprimento de onda  $\lambda = \frac{c}{f}$  [18]. Utilizando o diâmetro do tubo de 100,0 mm na equação da  $f_c$ , observa-se que a frequência máxima permitida é de 2.014,77 Hz, e utilizando as frequências de 62,5 Hz, 125 Hz, e 250 Hz para o cálculo do comprimento de onda  $\lambda$ , nota-se que, o resultado destas três frequências, está acima do comprimento do tubo do experimento, assim, as frequências de trabalho são 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz. A Fig. 7 mostra o desenho esquemático do experimento do tubo de impedância e seus respectivos equipamentos e componentes [19].

Os componentes do experimento tubo de impedância são:

- Alto falante genérico
- Tudo cilíndrico com 1000mm de comprimento
- Sonda com 1100mm de comprimento (diâmetro externo 13,0 mm)
- Decibelímetro com microfone (IEC 60804 e NBR 10151)
- Gerador de função Tektronix AFG1022
- Osciloscópio Tektronix TBS1052B
- Amplificador PRO-16000
- Cabos e fios

A Fig. 8 mostra o experimento composto com os respectivos equipamentos e acessórios.

As Figuras 9 e 10 mostram o detalhe da fonte sonora e da extremidade oposta a fonte, respectivamente.

Aplicando as frequências permitidas no modelo numérico e experimental, o resultado das localizações da pressão acústica mínima no interior do tubo pode ser mostrado na tabela 3.

Na tabela 3, de uma forma geral, são mostradas as localizações das pressões sonoras mínimas do modelo teórico e experimental. Observa-se que existe uma pequena diferença numérica quando se compara o valor experimental com o teórico, que pode ser explicado pela calibração no experimento. Para se obter o erro desta medição, utilizou-se a técnica de análise estatística pelo cálculo amostral finito, cujo parâmetro é o nível de confiança de 95% com erro amostral de 2%. Para isso, foi considerada a medição de 100

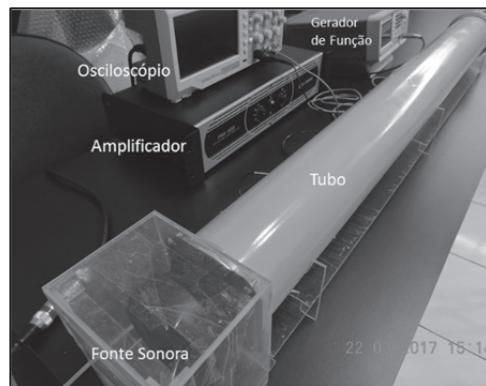


Fig. 8. Experimento do Tubo de Impedância.

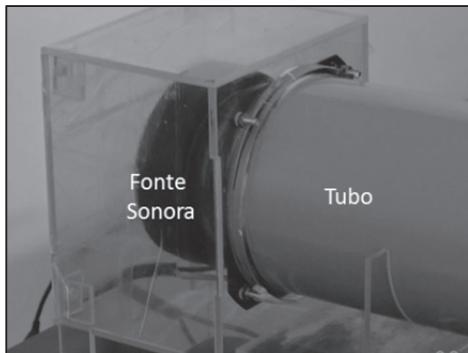


Fig. 9. Detalhamento da Fonte Sonora.

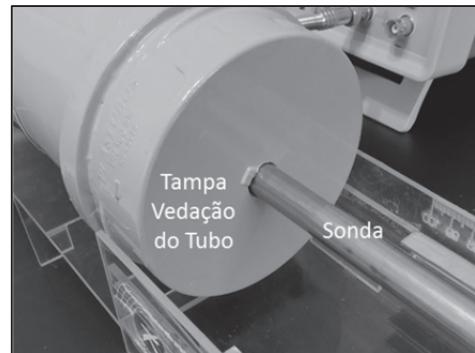


Fig. 10. Detalhe da Tampa de Vedaçao e da Sonda.

Tabela 3. Comparativo das Pressões Acústicas Mínimas Teórico e Experimental.

Localização Pressão Minima no Interior do Tubo						
500Hz		1000Hz		2000Hz		
Teórico	Experimental	Teórico	Experimental	Teórico	Experimental	
0,17	0,13	0,08	0,08	0,04	0,03	
0,51	0,50	0,25	0,26	0,12	0,12	
0,86	0,85	0,43	0,44	0,21	0,20	
		0,60	0,62	0,30	0,29	
		0,77	0,80	0,38	0,36	
		0,94	0,98	0,47	0,46	
				0,55	0,54	
				0,64	0,64	
				0,73	0,73	
				0,81	0,80	
				0,90	0,89	
				0,98	0,97	

pontos de pressão acústica, o qual, para esta validação, seriam necessárias 97 medições. Portanto, o erro é de 2%, e pode-se afirmar que os resultados obtidos têm validade. A tabela 4 mostra o resultado da variação e desvio padrão para os dados do modelo teórico e experimental da caracterização do experimento.

Analizando as considerações gerais, é possível afirmar que o resultado final da caracterização do experimento, indica que, o processo e a metodologia utilizada são válidos, assim, esses padrões, podem ser utilizados em experimentações futuras.

Tabela 4. Variança e Desvio Padrão do modelo teórico e experimental.

CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO				
Variança e Desvio Padrão - Teórico e Experimental				
Frequencia (Hz)	Teórico		Experimental	
	Variança	Desvio Padrão	Variança	Desvio Padrão
500	0,59	0,77	0,53	0,73
1000	0,12	0,34	0,11	0,34
2000	0,07	0,27	0,08	0,28

Tabela 5. Características das Fibras Vegetais Alongadas Mercerizadas.

Característica das Fibras Vegetais		
Fibras Mercerizadas	Massa (g)	Espessura (mm)
Cana de açúcar	50,0	20,0
Bambu	50,0	20,0



Fig. 11. Amostra da FC.



Fig. 12. Amostra da FB.

### 2.3. Coeficiente de Absorção Acústico

As amostras das fibras de cana e bambu constituídos de fibras alongadas e mercerizadas, tem as mesmas propriedades mecânicas que as fibras utilizadas no ensaio mecânico.

Considerando que as fibras vegetais de cana e bambu têm diferentes formatos, na execução das amostras, estas foram amarradas em pequenos conjuntos e fixadas em conjuntos maiores, sobrepostos uma a uma, e para se garantir o formato compatível ao tubo, foi necessário o uso de um arame fino de diâmetro de 0,7 mm. As dimensões das amostras das fibras vegetais de cana e bambu tem o diâmetro e espessura aproximado de 100,0 mm e 20,0 mm, respectivamente, cuja massa aproximada de ambas as amostras é de 50,0 g. Neste trabalho, foram desenvolvidas diferentes amostras, porém, o modelo da amostra que mais se adequou no experimento foi o modelo de sobreposição das fibras fixo pelo arame fino. Não foi desenvolvida nenhuma amostra com as fibras misturadas, pois uma das razões deste estudo é obter o coeficiente de absorção de um único material, sem a interferência de outras fibras.

Esta referência de massa foi adotada, considerando o trabalho de Outa (2014), cujas amostras da época também tiveram a massa aproximada das fibras de 50,0 g, porém as espessuras variaram de 30,0 mm a 40,0 mm devido ao adesivo nas fibras. A tabela 5 mostra as amostras das fibras vegetais mercerizadas e suas respectivas características de massa e espessura.

As Figuras 11 e 12 mostram as amostras da fibra alongadas e mercerizadas de cana (FC) e da fibra de bambu (FB), respectivamente.



Fig. 13. Detalhe amostra de FC.



Fig. 14. Detalhe amostra de FB.

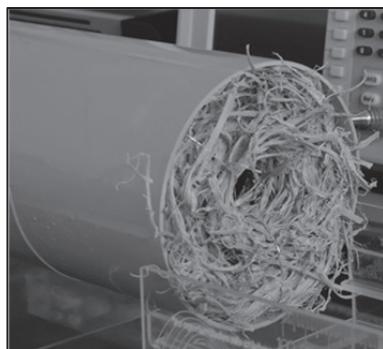


Fig. 15. Amostra da Fibra Alongada Mercerizada da Cana.

Tabela 6. Coeficiente de Absorção Acústico das Fibras Vegetais ( $\alpha$ ).

Coeficiente de Absorção Acústica		
Frequência (Hz)	Fibra de Bambu Alongada Mercerizada	Fibra de Cana Alongada Mercerizada
500	0,189	0,211
1000	0,173	0,154
2000	0,101	0,123

Observa-se que as fibras, mesmo presas conjuntamente, contêm pequenas pontas soltas, o qual, quando dispostas internamente ao tubo de impedância não causam problemas no fechamento do tubo, pois são adequadas na parede interna do tubo. As Figuras 13 e 14 mostram a largura aproximada das amostras de fibra de cana e bambu, respectivamente.

As amostras são inseridas no interior do tubo, lado oposto a fonte sonora, e fechado com uma tampa que contém um furo para a passagem da sonda. As experimentações com as amostras são feitas com o mesmo procedimento feito na caracterização do experimento, respeitando assim, o método e processo desenvolvido. As Figuras 15 e 16 mostram as amostras dispostas no tubo de impedância, lado oposto a fonte sonora.

A partir de que as pressões sonoras do interior do tubo são medidas, estas são aplicadas na relação  $ROE = \frac{A+B}{A-B}$  e  $\alpha = \frac{4*ROE}{(ROE+1)^2} = 1 - \left(\frac{B}{A}\right)^2$ , e assim, é possível obter o resultado do coeficiente de absorção acústica ( $\alpha$ ). A tabela 6 mostra o resultado do coeficiente de absorção acústico das amostras de fibra alongada mercerizada da cana e bambu.

A Fig. 17 mostra o resultado do coeficiente de absorção acústica das fibras alongadas mercerizadas da cana e bambu, mostradas na tabela 6.

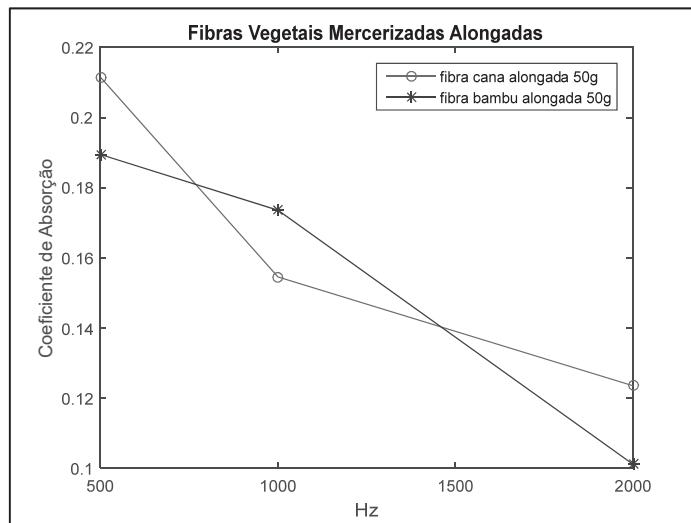


Fig. 17. Coeficiente de Absorção Acústica das Fibras Vegetais.

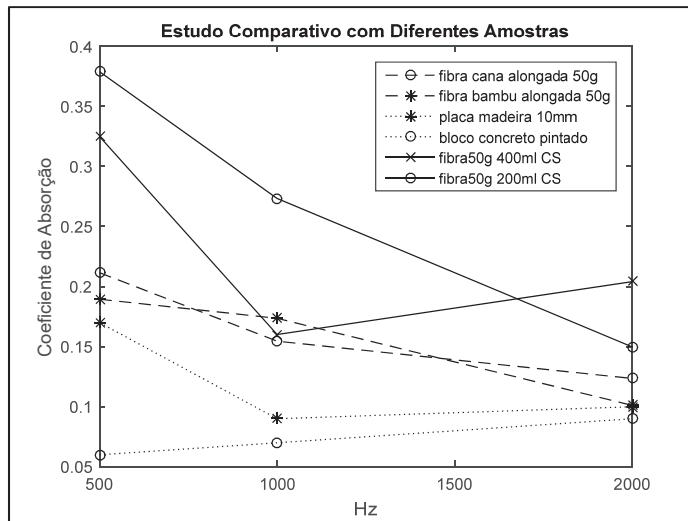


Fig. 18. Comparativo entre diferentes Coeficientes de Absorção Acústico.

A princípio, a análise estatística também foi desenvolvida pela técnica do cálculo amostral finito, e para que o nível de confiança seja 95% com erro amostral de 2%, seriam necessárias 97 medições, os quais, neste experimento, foram feitas 100 medições de cada frequência.

Observa-se que o coeficiente de absorção acústica na frequência de 500 Hz teve uma melhor absorção se comparado as frequências de 1000 Hz e 2000 Hz. Considerando ainda que, em 500 Hz, a fibra da cana teve a absorção acústica melhor que a do bambu, porém, na frequência de 1000 Hz, ocorre uma inversão da absorção acústica, e na frequência de 2000 Hz, prevalece a absorção acústica da fibra da cana superior à de bambu.

De uma forma geral, nota-se que as fibras alongadas mercerizadas da cana e bambu, variam a absorção acústica de 0,101 a 0,211, nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz.

Os coeficientes de absorção acústicos podem também ser comparados a outros materiais, já estudados em pesquisas anteriores e até mesmo referenciados em literaturas de acústica, assim, os materiais escolhidos foram as amostras feitas com as fibras de cana triturada e resinadas com cola sintética – compósitos fibrosos, no estudo de [22], e mais outros dois materiais, a placa de madeira de 10 mm – material fibroso, e ao bloco de concreto pintado – material poroso, mostrado por [13]. A Fig. 18 mostra a relação entre os coeficientes de absorção acústico das fibras vegetais alongadas mercerizadas com outros materiais.

Observa-se que os coeficientes de absorção acústica das fibras vegetais alongada da cana e bambu, a 500 Hz, são inferiores quando comparados a fibras de 50 g de 400 ml e 200 ml com cola sintética (CS); em 1000 Hz, o coeficiente das fibras vegetais沿adas mercerizadas de cana e bambu é similar ao da fibra de 50 g de 400 ml CS, e inferior ao da fibra de 50 g de 200 ml CS; já em 2000 Hz os coeficientes de absorção acústica das fibras vegetais alongada da cana e bambu são inferiores quando comparados a fibras de 50 g de 400 ml e 200 ml com cola sintética (CS).

Os coeficientes de absorção acústica das fibras vegetais alongada da cana e bambu, em 500 Hz e 1000 Hz são superiores a placa de madeira de 10 mm – material fibroso, e ao bloco de concreto pintado – material poroso; já e 2000 Hz, os coeficientes de absorção acústica das fibras vegetais alongada de bambu é próximo ao coeficiente da placa de madeira de 10 mm – material fibroso, e ao bloco de concreto pintado – material poroso.

### 3. CONCLUSÃO

Este trabalho de pesquisa foi elaborado em diferentes etapas, objetivando compreender melhor a utilização das fibras vegetais alongadas mercerizada da cana e bambu, como materiais de absorção acústicos, e para isso, foram feitas diferentes análises que pudessem mostrar as características de cada fibra vegetal. De uma forma geral, foram desenvolvidas as etapas de seleção e preparação das fibras, mercerização, ensaio mecânico, desenvolvimento de amostra, e por fim o coeficiente de absorção acústica.

Nas etapas de seleção, preparação, e mercerização das fibras, foram desenvolvidas para se obter um melhor aproveitamento das dimensões do material, cujo resultado pode ser aplicado nos testes de ensaio mecânico e preparo de amostras.

Nos testes de ensaio mecânico, observou-se que os resultados encontrados das fibras vegetais alongada mercerizada da cana e bambu têm representatividade, pois foram comparados a outros materiais poliméricos de alto impacto da fibra da cana e de côco, cujos resultados do módulo de elasticidade puderam ser comprovados através da microtomografia das fibras, mostrando a quantidade de xilema, com função estrutural, que a fibra de bambu é maior que a da fibra da cana, e que a concentração de lignina, dada região, pode ser maior que em outras áreas da planta.

De uma forma geral, os coeficientes de absorção acústica das fibras vegetais alongada mercerizada da cana e bambu, foram comparados aos coeficientes de material compósito fibroso, um fibroso, e outro poroso, cujo resultado desta comparação, mostra que, as fibras vegetais alongadas mercerizadas da cana e bambu têm características quantitativas e qualitativas que podem contribuir como um material de absorção acústica.

Com isso, é possível afirmar que, essas fibras justapostas podem formar um aglomerado fibroso, atuando como uma barreira de absorção acústica, cuja aplicação é diversificada, e por ser de fácil manuseio, pode se adequar a diferentes projetos acústicos para o tratamento e contenção de ruídos.

Conclui-se, portanto, que o objetivo deste trabalho de pesquisa foi atingido, e que, o material estudado pode ter significância para a engenharia acústica.

### REFERÊNCIAS

- [1] Ramawat, K.G., Ahuja, M.R., *Fiber Plants - Biology, Biotechnology and Applications*, Springer International Publishing, Switzerland (2016)
- [2] Chand, N., Fahim, M., *Tribology of natural fiber polymer composites*, CRC Press, Washington (2008)
- [3] Kalia, S., Kaith, B. S., Kaur, I., *Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites Green Chemistry and Technology*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2011)
- [4] 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)
- [5] Pereira, P.H.F. et al, “Sugarcane bagasse pulping and bleaching: thermal and chemical characterization”, *BioResources*, **6**(3), 2471-2482 (2011)

- [6] Santos, F., Borém, A., Caldas, C., *Sugarcane Agricultural Production, Bioenergy and Ethanol*, Elsevier, London (2015)
- [7] Ebnesajjad, S., *Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding*, Elsevier, USA (2014)
- [8] Campos, A., Teodoro, K.B.R., Marconcini, L.M., Mattoso, L.H.C., Martins-Franchetti, S.M., “Efeito do tratamento das fibras nas propriedades do biocompósito de amido termoplástico, policaprolactona, sisal”, *Polímeros*, **21**(3), São Carlos (2011)
- [9] Pires, A.J.V., Reis, R.A., Carvalho, G.G.P., Siqueira, G.R., Bernardes, T.F., “Bagaço de cana-de-açúcar tratado com hidróxido de sódio”, *Revista Brasileira Zootecnia*, **35**(3), 953-957 (2006)
- [10] Patel, H., Vashi, R.T., *Characterization and Treatment of Textile Wastewater*, Butterworth Heinemann is an imprint of Elsevier 225 Wyman Street, Waltham, MA 02451, USA (2015)
- [11] Rossing, T.D., *Springer Handbook of Acoustics*, ed. 2, Springer-Verlag, New York (2014)
- [12] Balachandran, B., Magrab, E.B., *Vibrações mecânicas*, Cengage Learning, São Paulo (2011)
- [13] Crocker, M.J., *Handbook of noise and vibration control*, John Wiley & Sons, Hoboken (2007)
- [14] Inman, D.J., *Engineering Vibration*, 4 ed., Pearson Education, New Jersey (2014)
- [15] Zill, D.G., *Equações diferenciais com aplicações em modelagem*, 2. ed. São Paulo: Cengage Learning (2011)
- [16] Kinsler, L.E. et al., *Fundamentals of acoustics*, 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons (1999)
- [17] Möser, M., *Engineering Acoustics - An Introduction to Noise Control*, 2 ed., Springer-Verlag, Heidelberg, (2009)
- [18] International Organization for Standardization - ISO10534-1(1996), Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes, ISO International, Case postale 56,1211 Geneva 20, Switzerland (1996)
- [19] Outa, R., Chavarette, F.R., “Caracterização do experimento do tubo de impedância de um microfone”, *Boletim Técnico da FATEC-SP*, São Paulo, **2**(39), 12-15 (2015)
- [20] Fahy, F.J., *Fundations of engeneering acoustic*, Elsevier, Amsterdam (2005)
- [21] Outa, R., Chavarette, F.R., Louzada, M.J.Q., “Resistência Mecânica da Fibra Vegetal Mercerizada da Cana de Açúcar e Bambu”, *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, Tupã, **10**(3), 288-304 (2016)
- [22] Outa, R., Estudo e Análise do Coeficiente de Absorção Acústico do Compósito da Fibra da Cana, Ilha Solteira, 2014, 72 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, UNESP, São Paulo (2014)

## ANALYSIS OF THE MECHANICAL AND ACOUSTIC ABSORPTION CHARACTERISTICS OF THE ELONGATED MERCERIZED CANE AND BAMBOO VEGETABLE FIBERS

**Abstract** – This work aims to study the characteristics of the sound absorption coefficient of the elongated mercerized plant fibers of cane and bamboo. The elongated cane and bamboo fibers were initially prepared with the approximate dimensions of 150.0 mm and then mercerized in 10% *NaOH* solution and manually defibrated with the approximate diameter of 2.0 mm. Therefore, the mechanical test of the mercerized elongated fibers was performed to obtain the mechanical characteristics. With this, samples were developed considering the weight and the thickness for the measurement of the acoustic absorption coefficient. The obtained result was that the fibers in study have significance as acoustic absorption material in the engineering.

**Keywords** – Acoustics, Plant Fibers, Vibration, Mechanical Resistance.