

## AVALIAÇÃO DO BALANÇO ENERGÉTICO DE MICRONIZAÇÃO DE FIBRAS VEGETAIS PARA APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS EM NOVOS MATERIAIS

**Celso Carlino Marla Fornari Junior**

1- Departamento de Ciências Exatas, Colegiado de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Doutor

**Bruno Fernandes Souza<sup>2</sup>**

2- Colegiado de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Graduando

**Thiago Francisco de Souza<sup>3</sup>**

3- Colegiado de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Graduando

**Thiago Brás Alves Pessoa<sup>4</sup>**

4- Colegiado de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Graduando

### RESUMO

Neste trabalho, apresentamos estudos para quantificar o consumo de energia para a moagem de fibras de coco visando à inovação tecnológica na formação de compósitos poliméricos para aplicações nas mais diversas áreas da engenharia. Fibras vegetais apresentam uma excelente alternativa de exploração tecnológica. Pelo fato de serem abundantes em países tropicais, apresentam baixo custo e propiciam formar materiais com propriedades de alto desempenho ao desgaste e baixa densidade. Entretanto a exploração das fibras se encontra alienada no acondicionamento que estes materiais apresentam, devido a sua forma irregular principalmente no comprimento, não garantindo homogeneidade no compósito. Para isto, é importante estabelecer uma metodologia que possa transformar as fibras vegetais de forma a garantir um produto único e homogêneo, que valorize as excelentes propriedades desses materiais compósitos. A moagem das fibras vegetais é uma técnica simples que permite transformar a forma irregular das fibras vegetais alongadas em formas esféricas muito regulares. Essa operação unitária de moagem irá possibilitar explorar as fibras vegetais quanto à excelência de suas propriedades, tanto pela regularidade dos tamanhos de partícula, quanto pelo aumento substancial das áreas de contato. Os resultados apresentaram os parâmetros de temperatura para a secagem e posterior moagem das fibras em moinho de bolas. Este trabalho estabeleceu o consumo de energia necessário para secagem e moagem por uma hora das fibras de coco com obtenção de finos medindo, no mínimo, 150 mesh.

**Palavras-Chave:** *Materiais, Processos, Fibras vegetais, Compósitos*

## EVALUATION OF THE ENERGY CONSUMPTION OF MICRONIZAÇÃO OF VEGETAL FIBRES FOR TECHNOLOGICAL APPLICATIONS IN NEW MATERIALS

### ABSTRACT

This work presents the study of the consumption of energy for the coconut fibers milling objectifying the technological innovation for the formation of polymer composites for applications in engineering. Vegetal fibers have an excellent alternative of technological exploration, for being abundant in tropical countries, presenting low cost and to allow to form materials with properties of high performance to the consuming and low density. However the formation of composites with fibers natural can present heterogeneous due to the irregular sizes of fibers. For that is important to establish a technology that can transform more homogeneous vegetal fibers into its size, making a homogeneous product and that it values the excellent properties of these materials. The milling of vegetal fibers is one simple technique that allows to transform the form and the irregular size of prolonged vegetal fibers into very regular spherical forms. This unitary operation of milling will go to make possible to explore staple fibers vegetal how much the excellent of its properties, as much for the homogeneity of the sizes of particle how much for the increase of the contact areas. The results had presented the temperatures for the drying and posterior milling of natural fibers in mill of balls. This work at least established the necessary consumption of energy for the drying and milling for one hour of coconut fibers with 150 mesh.

**KEY-WORDS:** Materials, Processes, Vegetal Fibers, Composites

### INTRODUÇÃO

A pesquisa na busca de novos materiais constitui um desafio para os cientistas e pesquisadores desta área. Além da construção destes materiais propriamente dita, a investigação ultrapassa esta fronteira e necessita estabelecer as novas propriedades, o mecanismo de interação entre os materiais constituintes, além dos balanços energéticos para a construção e estudo da viabilidade destes. Desta forma, este trabalho buscou investigar os custos de energia envolvidos para a micronização das fibras de coco que foram moídas utilizando-se moinho de bolas. Os resultados mostram a energia necessária para a secagem e moagem das fibras de coco, além da obtenção de finos para as fibras secas a 120, 140 e 160°C. A utilização de fibras moídas para a construção de compósitos poliméricos traz consigo a possibilidade imediata de inovação tecnológica para os materiais compósitos à base de polímeros. As cargas utilizadas pelo setor produtivo para estes materiais apresentam propriedades particulares, algumas vezes pouco desejadas. Cargas de enchimento geralmente são à base de minerais e, apesar de apresentarem baixo custo, sua densidade é elevada, produzindo assim objetos de peso relativamente altos. Esse fato pode proporcionar desconforto ao usuário, bem como aumentar o custo dos transportes. A viabilidade de utilizar cargas de enchimento à base de fibras vegetais pode proporcionar uma alternativa viável para o setor industrial, pois agrega propriedades de baixo custo e baixa densidade, entre outras propriedades particulares de cada tipo de fibra. Para a substituição de cargas reforçantes, as fibras vegetais precisam apresentar alta afinidade e interação com a matriz do compósito. Para o caso dos compósitos poliméricos, as fibras vegetais, de um modo geral, necessitam de um tratamento químico capaz de modificar a superfície da fibra e aumentar a afinidade entre ambos os constituintes. Apesar das investigações necessárias para a utilização das fibras vegetais na forma de cargas de enchimento ou cargas de reforço, é fundamental acondicionar a fibra a uma granulometria adequada, para que possibilite, além da maior área de contato, melhor acomodação intermolecular e uma dispersão homogênea no compósito. Visando a este tipo de aplicação

tecnológica, este trabalho buscou o balanço energético para a secagem da fibra do coco e sua respectiva moagem, trazendo o conhecimento do dispêndio de energia necessário nesta etapa fundamental para a construção de novos materiais aplicativos.

## REVISÃO DA LITERATURA

Devido à grande disponibilidade que as fibras vegetais apresentam no Brasil, cientistas brasileiros têm se dedicado à exploração desses materiais para aplicações tecnológicas. Alguns cientistas têm buscado alternativas mais viáveis economicamente para a substituição de fibras sintéticas de alto custo para a construção de concretos que evitem a explosão e ruptura no momento da secagem destas cerâmicas (ISAAC, SALOMÃO, PANDOLFELLI, 2004). Para a construção de materiais compósitos poliméricos, alguns autores recentemente têm estudado o comportamento das fibras de coco visando a aplicações tecnológicas. Os resultados encontrados são promissores e indicam que existe um vasto campo para ser explorado (MONTEIRO *et al*, 2005). As fibras vegetais apresentam baixo custo em função principalmente da quantidade disponível. Além do mais, as fibras vegetais geralmente são subprodutos oriundos do descarte da extração de uma parte da planta como, por exemplo: a cana de açúcar, o dendê ou o coco. Esse descarte representa, em primeiro lugar, um problema ecológico, pois necessita de local adequado para seu descarte e posterior compostagem, além do equilíbrio químico carbono/nitrogênio necessário na degradação biológica. Estima-se que, somente no estado do Ceará, são descartados por mês 500.000 cocos. Fibras de sisal também fazem parte do grupo das fibras vegetais que apresentam potencial para explorações tecnológicas. Durante alguns anos, têm sido preparados compósitos de polipropileno com fibras de sisal (PEREIRA, AGNELLI, MATTOSO, 1999) obtendo-se bons resultados no que se refere ao módulo de elasticidade, apesar de que, através da microscopia eletrônica de varredura, ficou evidente que neste compósito não existe uma interação química entre a matriz e a fibra. Outros estudos sobre a resistência de tensão das fibras curtas de sisal com borracha natural foram realizados por Varghese, Kuriakose e Thomas, (1994) e mostraram pouca interação entre a fibra e a matriz polimérica quando esta não é tratada quimicamente. As fibras de sisal também foram estudadas em compósitos com poliestireno e, apesar da alta temperatura de transição vítrea (Tg) que o polímero apresenta, o compósito estudado apresentou resultados satisfatórios para aplicações e utilização destes materiais (MANIKANDAN, DIWAN, SABU, 1996). Materiais recicláveis também tem sido alvo de investigação. A construção de compósitos com fibras de piaçava foi estudada visando explorar o alto desempenho ao desgaste que estas fibras apresentam, ao mesmo tempo em que se busca encontrar uma solução tecnológica para os materiais recicláveis (MANO *et al*, 2003). Os resultados dos estudos de inúmeros cientistas indicam claramente que é possível construir compósitos poliméricos com fibras vegetais objetivando propriedades aplicativas. Por outro lado, é de se salientar que o número de cientistas que pesquisam estes materiais vem aumentando nos últimos anos, o que confirma o interesse por esta área da engenharia.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No laboratório LPPNS (Laboratório de Pesquisa em Produtos Naturais e Síntese Orgânica), utilizou-se a estufa de aquecimento ORION, a balança analítica SARTORIUS, vidros de relógio e uma pinça, para

desenvolvimento da análise de secagem das fibras de coco. Para o corte da espessura das amostras, cuja medida corresponde a 5 (A), 10 (B) e 15 milímetros (C), foram confeccionadas ferramentas especiais, as quais possibilitaram uniformidade na espessura dos cortes. A amostra B apresenta duas vezes a espessura da amostra A e sua largura é  $\sqrt{2}$  multiplicada pela largura da amostra A. Da mesma forma, a amostra C apresenta três vezes a espessura da amostra A e a sua largura é  $\sqrt{3}$  multiplicada pela largura da amostra A. A largura das amostras foi calculada de forma a manter uma proporcionalidade entre a espessura e a área das amostras. Com o auxílio de três gabaritos de madeira medindo 20; 28,28 e 34,64 milímetros de espessura, foram cortadas amostras no sentido de suas respectivas larguras. Todas as amostras foram medidas com auxílio de paquímetro marca Mitutoyo para verificação e confirmação das medidas das mesmas. As amostras foram colocadas imediatamente após o corte e a confirmação da medida em vidros de relógio. Foram pesadas em balança analítica marca Bioprecisa, modelo FA 2104N com precisão de quatro casas decimais e levadas à estufa marca Biopar na temperatura de 100°C. A temperatura foi monitorada com o auxílio de termômetro com bulbo de mercúrio. As amostras permaneceram em estufa com intervalos de tempos regulares espaçados de 10 minutos. Após cada intervalo, as amostras foram colocadas em dessecador de vidro por 5 minutos e pesadas em balança analítica. No LAPOs (Laboratório de Polímeros), utilizou-se a estufa marca Biopar para aquecimento, balança eletrônica Bioprecisa, modelo FA 2104N, moinho de bolas marca Marconi, modelo MA-500, Peneira Eletromagnética para Análise Granulométrica marca Bertel com peneiras de 150, 170 e 200 mesh, faca e pinça para o desenvolvimento dos cortes das amostras de fibra de coco. Para o procedimento de secagem e moagem das fibras, foi retirada a casca externa do coco com o auxílio da faca. Desta forma, pode-se retirar uma amostra do mesocarpo do coco que variou entre 2 a 3 milímetros de espessura, com larguras aproximadas de 40 milímetros. Todas as amostras foram avaliadas com relação as suas espessuras com o auxílio de um paquímetro marca Mitutoyo. Foram secas aproximadamente 125 gramas de amostras úmidas (coco verde). As amostras foram acondicionadas em estufa nas temperaturas de 120, 140 e 160°C por um período total de 2 horas. Após o procedimento de secagem, foram pesadas 10 gramas de amostras secas e acondicionadas em moinho de bolas. O moinho foi carregado, além das amostras, com 30 bolas de alumina e as amostras foram moídas por 60 minutos. As amostras, após o processo unitário de moagem, foram classificadas quantitativamente em ensaio de peneiras eletromagnética com frequência de 5 Hz por 10 minutos. Em seguida, as amostras classificadas foram pesadas em balança analítica. O balanço energético do consumo de energia para as operações de secagem e moagem foi realizado através de operações matemáticas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise do estudo da secagem das fibras do coco, verificou-se que o tempo de perda total de umidade das amostras ensaiadas: Tipo A = (5x20x20)mm<sup>3</sup>, Tipo B = (10x28,28x28,28)mm<sup>3</sup> e Tipo C = (15x34,64x34,64)mm<sup>3</sup> foram respectivamente, 120, 240 e 360 minutos com a temperatura de 100°C. Para a realização desse experimento, foram ensaiadas 12 amostras tipo A, 24 tipo B e 36 tipo C. Segundo Isaac, Salomão e Pandolfelli (2004), o processo de secagem depende da retirada de água por meio de poros existentes no material, o que influencia na velocidade de secagem ou evaporação da água ou voláteis. Neste trabalho, verificamos que o tempo necessário de permanência na estufa para a retirada total da umidade e voláteis depende da espessura das amostras, o que está de acordo com os autores Isaac, Salomão e Pandolfelli (2004). Isso confirma a necessidade da existência de poros e espaços vazios no material para a expulsão da água e voláteis pela elevação da temperatura. Quanto maior a espessura das amostras, tanto maior a dificuldade da passagem dos líquidos presentes nas amostras de fibras, uma vez que necessitam de um período maior para a secagem total. Evidentemente, quando a espessura das amostras das fibras for maior, mais longos serão os caminhos que deverão ser percorridos pela umidade e voláteis. Além disso, o percurso é mais tortuoso devido ao maior emaranhamento das fibras presentes nas amostras. Isso exige mais tempo de processo de secagem ou aumento da energia para aumentar a velocidade de secagem. Após esses períodos em estufa, as amostras não apresentaram mais variação em seus respectivos pesos, indicando perda total da umidade ou voláteis presentes. A perda de umidade das amostras tipo A, B e C foram respectivamente, 89,96%, 89,95% e 89,97% em massa, representando uma variação de 0,02% entre as amostras ensaiadas. Esses resultados atestam a uniformidade dos ensaios e indicam a minimização dos erros de manipulação. As amostras de coco apresentam em sua composição aproximadamente 90% de umidade ou voláteis que evaporam a até 100°C. Outros autores realizaram o estudo do monitoramento da secagem de madeira de *Pinus elliottii*, e obtiveram a curva de secagem em função do tempo a 110°C e com 10% de umidade residual utilizando, para isso, uma velocidade de ar de 2,3 m/s (SANTINI, MATOS, SCARABELOT, 1998), revelando que se pode recorrer a recursos de monitoramento instantâneo para o acompanhamento da retirada da umidade da madeira. A curva de perda de umidade nas temperaturas ensaiadas revela um comportamento bastante similar entre todas as temperaturas e descreve uma curva descendente conforme os dados dispostos nas ordenadas e abscissas. A Figura 1 mostra o comportamento de perda de umidade e voláteis das amostras tipo A durante a secagem a 100°C. O gráfico mostra que o tempo necessário para atingir a umidade zero é de exatamente 120 minutos. O processo do tempo de secagem descreve uma curva parabólica cuja equação é igual a  $y = 0,0035 X^2 - 0,3629 X + 94,862$ .

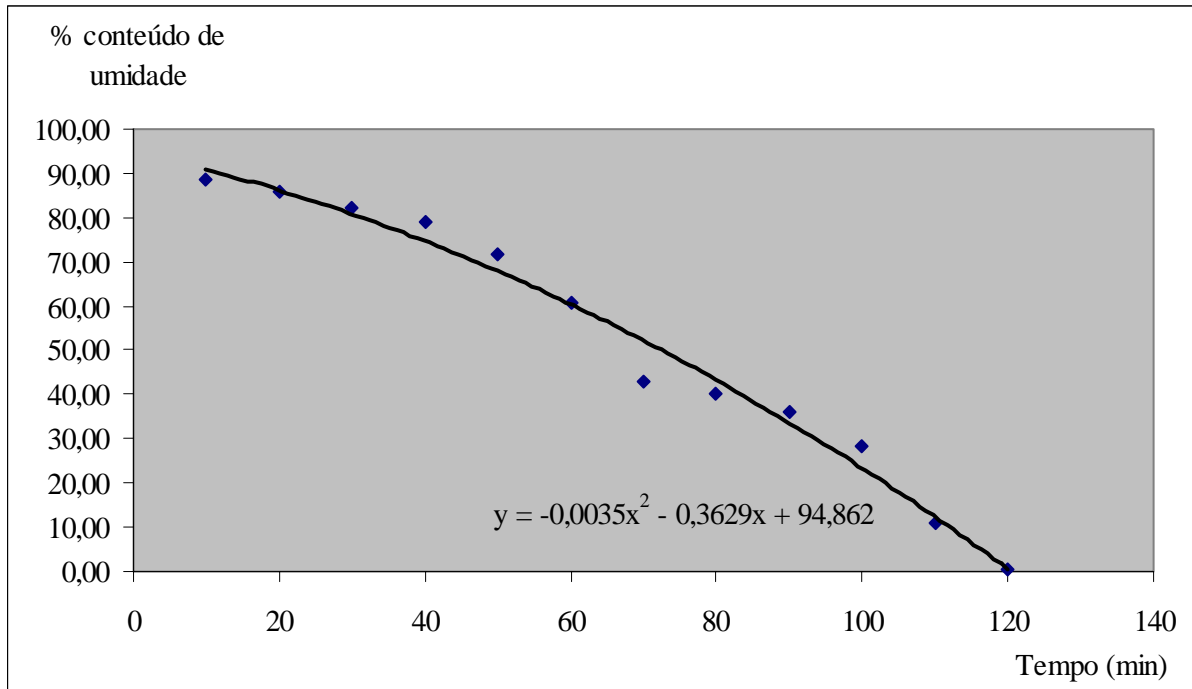


Figura 1: Gráfico do teor percentual de umidade das amostras tipo A, com 5 milímetros de espessura e 20 milímetros de largura de coco, secas a 100°C em função do tempo

A Figura 2 apresenta o comportamento de perda de umidade e voláteis das amostras tipo B durante a secagem a 100°C. O gráfico mostra que o tempo necessário para atingir a umidade zero é de exatamente 240 minutos. O processo do tempo de secagem descreve uma curva parabólica cuja equação é igual a  $y = 0,0006 X^2 - 0,2598 X + 95,829$ .

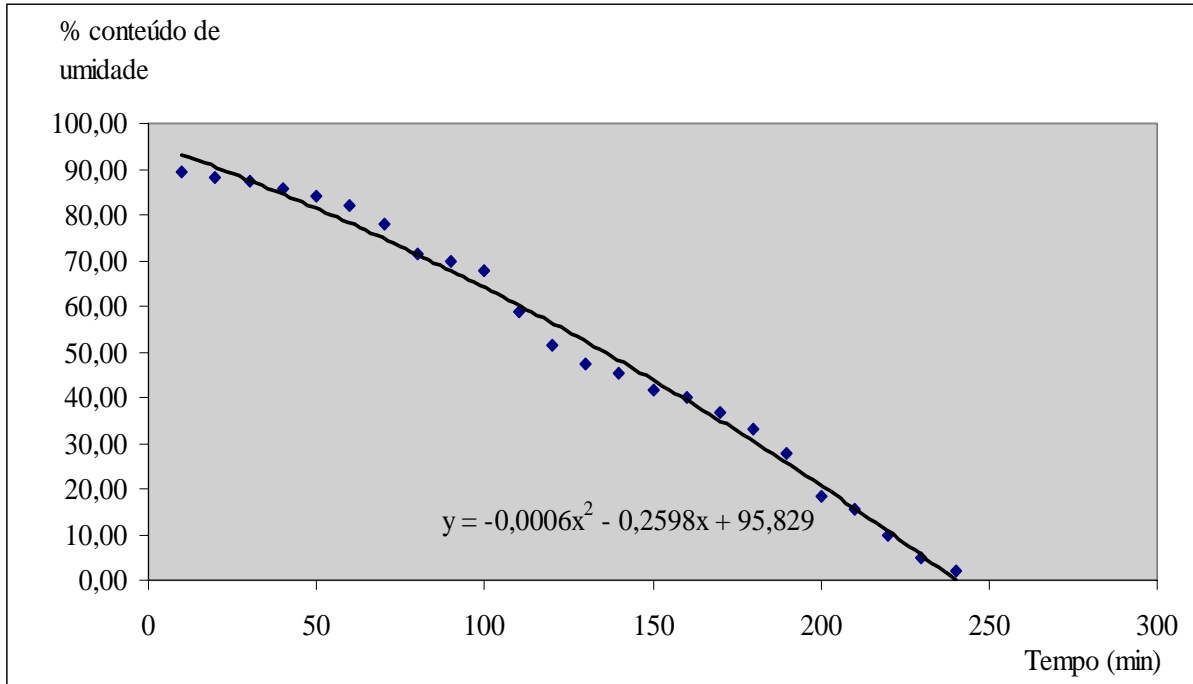


Figura 2: Gráfico do teor percentual de umidade das amostras tipo B com 10 milímetros de espessura e 28,28 milímetros de largura de coco, secas a 100°C em função do tempo

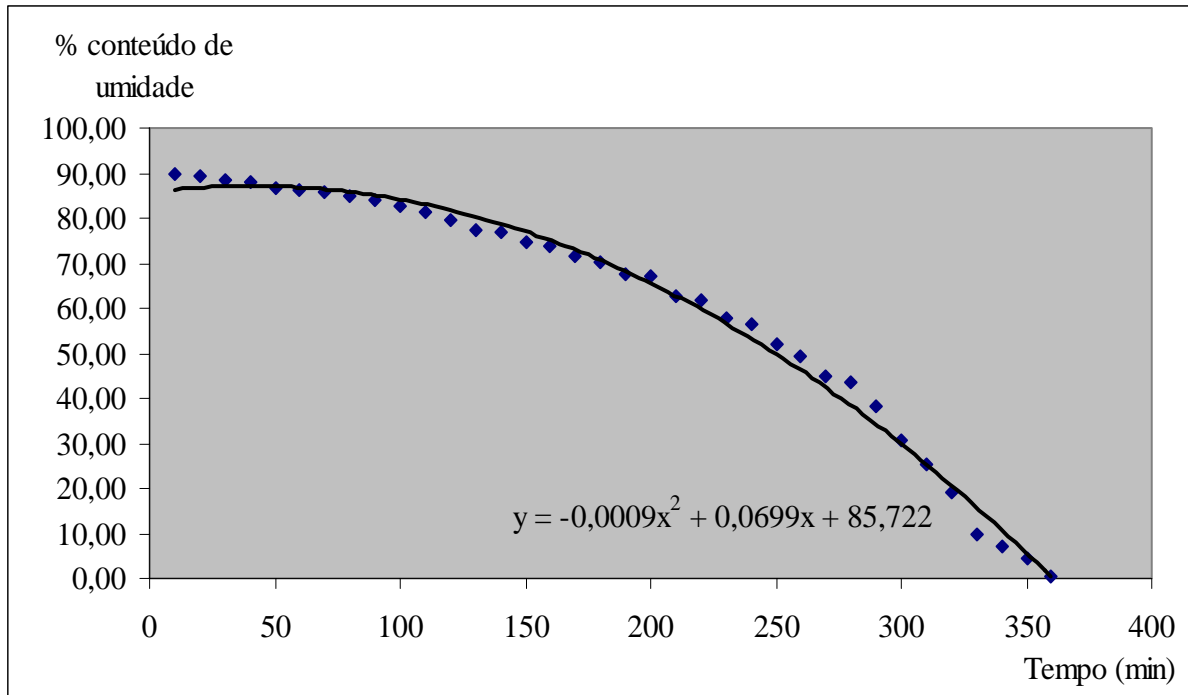


Figura 3: Gráfico do teor percentual de umidade das amostras tipo C com 15 milímetros de espessura e 34,64 milímetros de largura de coco, secas a 100°C em função do tempo

A Figura 3 apresenta o comportamento de perda de umidade e voláteis das amostras tipo C durante a secagem a 100°C. O gráfico mostra que o tempo necessário para atingir a umidade zero é de exatamente 360 minutos. O processo do tempo de secagem descreve uma curva parabólica cuja equação é igual a  $y = 0,0009 X^2 - 0,0699 X + 85,722$ .

Após a realização dos ensaios do comportamento da secagem das fibras de coco a 100°C, **concluiu-se** que o tempo necessário para secar as amostras com no máximo 5 milímetros de espessura é de 120 minutos. Baseados **nesses** dados foram definidos os parâmetros mais importantes para o estudo da avaliação do balanço energético da moagem das fibras de coco por meio da operação unitária utilizando-se moinho de bolas de alumina. Para este estudo, os parâmetros foram definidos em: temperatura de secagem, tempo de secagem, massa das fibras, tempo de moagem, número de bolas de alumina e espessura das amostras de fibras. Foi definida a massa de 10 gramas de amostras secas para o processo de moagem. As amostras foram totalmente secas a temperaturas de 120, 140 e 160°C. Todas as amostras apresentaram a espessura entre 2 a 3 milímetros, medidas por meio do paquímetro. O tempo total de secagem foi de 120 minutos para todos os ensaios. As amostras foram, então, moídas pelo tempo de 60 minutos, com a quantidade de 30 bolas de alumina. **Com base** nos resultados do estudo anterior das amostras de 5 milímetros de espessura e secas a 100°C, as amostras confeccionadas para o processo de moagem garantem a isenção de umidade e voláteis pelo fato de serem mais delgadas que as amostras de 5 milímetros, além de o tempo de secagem ser o mesmo e as amostras permanecerem em temperaturas superiores a 100°C. O tempo de moagem de 60 minutos, e o número de bolas



de alumina foram os mesmos para todas as amostras, o que permite um estudo comparativo com relação à temperatura de secagem e à obtenção de finos.

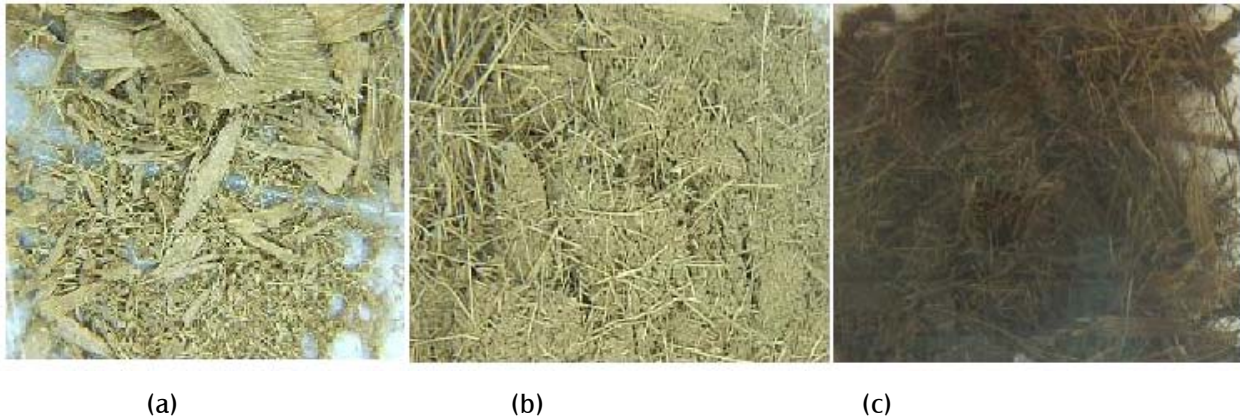


Figura 4: Fibras de coco secas em estufa nas temperaturas de (a) 120°C, (b) 140°C, (c) 160°C, após o processo de moagem em moinho de bolas

A permanência por 120 minutos nas temperaturas de 120, 140 e 160°C revelaram que as amostras alteram seu aspecto quanto à cor, indicando um marrom tanto mais acentuado quanto maior foi a temperatura de secagem utilizada. Este fato evidencia que pode ter ocorrido a degradação térmica das amostras, uma vez que as fibras de coco são compostas basicamente por celulose. A Figura 4 apresenta as amostras secas nas temperaturas de 120, 140 e 160°C. As amostras apresentaram um comportamento tanto mais frágil quanto maior a temperatura utilizada no tratamento térmico, o que facilitou a obtenção de finos pelo processo de moagem. As amostras secas a 120°C mostraram um comportamento bastante plástico, impedindo a obtenção de finos com granulometria no mínimo igual a 150 mesh dentro do tempo de moagem estabelecido para este trabalho. A avaliação quantitativa das fibras secas nas temperaturas definidas e moídas em moinho de bolas foi realizada por meio de ensaio de peneiras. A frequência de vibrações utilizadas foi de 5 Hz por um período de 10 minutos. Os resultados mostraram que a quantidade de finos com granulometria de 150 mesh não foi obtida para as amostras secas a 120°C. Isto indica que estas fibras apresentam um comportamento plástico acentuado, necessitando maior tempo de processamento de moagem para se obter uma maior granulometria. As amostras secas à temperatura de 140°C apresentaram 0,47% de finos com granulometria igual ou superior a 150 mesh. As amostras secas a 160°C mostraram que 4,36% das fibras foram moídas com granulometria de 150 mesh ou superior. Estes resultados indicam que a elevação da temperatura de secagem das fibras aumenta a sua fragilidade, facilitando a obtenção de finos pelo processo de moagem por moinho de bolas. Estes resultados são comparativos entre si, indicando o comportamento frágil das fibras em função do tratamento térmico. É evidente que a mudança de algum parâmetro como o tempo de moagem, por exemplo, se for aumentado, produzirá uma quantidade maior de finos. Entretanto, o estudo busca avaliar o balanço energético no processamento de fibra de coco para a obtenção de finos.

Para a utilização de cargas de enchimento ou de reforço em polímeros elastoméricos é importante que as fibras vegetais tenham menor tamanho possível, pois a acomodação molecular entra as cargas e a matriz polimérica é tanto mais beneficiada, quanto menor for a partícula de carga presente no composto (GRISON, 1984). Desta forma, é importante para o balanço energético do processo de secagem e moagem das fibras levar em conta a obtenção de finos em relação ao processo de secagem das fibras. A Figura 5 apresenta os resultados percentuais dos finos com granulometria igual ou superior a 150 mash para as amostras secas nas diferentes temperaturas e moídas por 60 minutos.

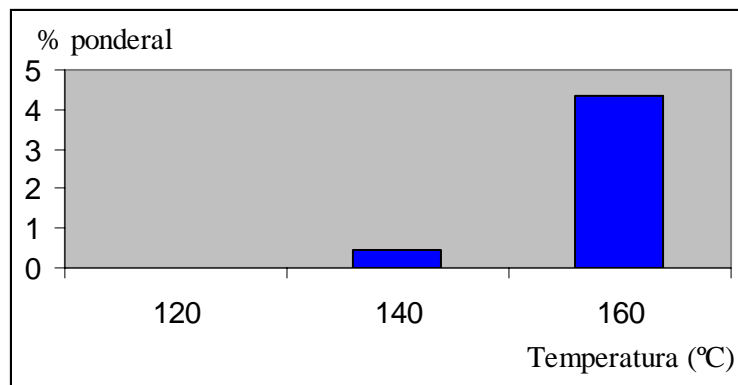


Figura 5: Classificação percentual da quantidade ponderal das fibras secas a 120°C, 140°C e 160°C, e moídas durante 60 minutos com 10 gramas de amostras e 30 bolas de alumina

O balanço de energia foi realizado com base nos tempos de processamento e capacidade de consumo dos equipamentos utilizados. A potência da estufa é de 1600 W. Para a secagem nas temperaturas de 120, 140 e 160°C, a estufa necessitou de um tempo de aquecimento até atingir a temperatura de trabalho, após o qual se manteve por 120 minutos na temperatura estipulada para cada ensaio. Os tempos de aquecimento e os tempos totais de todos os ensaios a cada temperatura determinada estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Tempos parciais e totais de aquecimento da estufa para cada temperatura de secagem das fibras.

Temperatura de secagem (°C)	Tempo de aquecimento (min)	Tempo de permanência (min)	Tempo total (min)
120	45	120	165
140	60	120	180
160	75	120	195

Os dados indicam que, para a secagem das fibras nas temperaturas de 120, 140 e 160°C, foram necessários tempos de 2,75; 3 e 3,25 horas, respectivamente. Isto equivale a dizer que a energia despendida pelo forno foi de 4,4; 4,8 e 5,2 KWh. Sabendo-se que o volume do forno é de 0,231 m<sup>3</sup> e que a densidade média aproximada da fibra verde é 0,96 g/cm<sup>3</sup>, pode-se calcular que o volume total de fibras na estufa é de 221,76 Kg. Considerando-se, entretanto, que se utilizam aproximadamente 20% do volume do forno onde os outros 80% são destinados a vazios e circulação de ar, é possível, então, secar, a cada etapa, exatamente 44,35 Kg de fibras de coco verdes. Como a redução da fibra de coco verde resulta em 10,33% do coco seco, é possível obter, neste processo, 4,58 Kg de coco seco. Então, para a secagem a 120 °C, são necessários 0,96 KWh/Kg de fibra de coco seca. Para secagem a 140 e 160°C, são necessários 1,048 e 1,135 KWh/Kg de fibra de coco seca, respectivamente. No processo de moagem, o tempo total foi de 60 minutos. A potência do moinho é de 800W, logo, o consumo total da moagem foi de 0,800 KWh. Sabendo-se que a capacidade do moinho é de 200 gramas de fibra seca, são necessários, então, 0,004 KWh/Kg de fibra para moagem pelo período de 60 minutos.

## CONCLUSÃO

O tempo máximo de secagem das fibras de coco depende da espessura das fibras. Para espessuras de até 5 milímetros, é possível obter fibras totalmente secas em 120 minutos, quando a temperatura for de 100°C. A temperatura é fundamental para a preparação das amostras de fibras de coco para o processo de moagem utilizando-se moinho de bolas. Com a temperatura de secagem de 120°C, tempo de 120 minutos, 10 gramas de fibras secas, 30 bolas de alumina e moagem por 60 minutos, não foi possível obter fibras na granulometria de, no mínimo, 150 mesh. A partir de amostras secas com 140°C, foram obtidas fibras com granulometria de, no mínimo, 150 mesh, utilizando para isto moagem com 30 bolas de alumina, 10 gramas de amostra e tempo de 60 minutos. É necessário 0,96; 1,048; 1,135 KWh para secar um quilo de fibra de coco nas temperaturas de 120, 140 e 160°C respectivamente. É necessário 0,004 KWh para moer um quilo de fibra de coco seca pelo período de uma hora.

## AGRADECIMENTOS

FAPESB – Fundação e Amparo a Pesquisa do Estado da Bahia

LPPNSO - (Laboratório de Pesquisa em Produtos Naturais e Síntese Orgânica),

## REFERÊNCIAS

- ISAAC, C. S.; SALOMÃO, R.; PANDOLFELLI, V. C. Use of natural fibers to speed up the drying step of refractory castables. *Ceramic*, v.50, n.314, Apr./June, 2004.
- MONTEIRO, S.N. et al. Aplicações tecnológicas para compósitos poliméricos de mantas de fibra de coco. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 60, 2005, Belo Horizonte. *Anais...* 2005. p. 1540-1548.
- PEREIRA, N.C.; AGNELLI, J.A.M.; MATTOSO, L.E.C. **Compósitos de polipropileno/fibras curtas de sisal**: preparação e desempenho mecânico e caracterização estrutural. São Carlos: Interscience, 1999.
- VARGHESE, S.; KURIAKOSE, B.; THOMAS, S. Stress Relaxation in Short Sisal Fiber – Reinforced Natural Rubber Composite. *Journal of Applied Polymer Science* v. 53, p. 1051-1060, 1994.
- MANIKANDAN, K.C.; DIWAN, S.M.; SABU, T. Tensil Properties of Short Sisal fibers Reinforced Polystyrene Composite. *Journal of Applied Polymer Science* v. 60, p. 1483-1497, 1996.
- BONELLI, C.M.C. et al. Utilização de fibras de piaçava como reforço em compósitos de matriz polimérica reciclada. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 58, 2003. Rio de Janeiro. *Anais...* 2003. p. 1778.
- SANTINI, E.J.; MATOS, J. L. M.; SCARABELOT, F. E. Wood drying process supervisory. *Ciência Florestal*, v.8, n.1, 1998.
- GRISON E.C. **Curso de Tecnologia da Borracha**. Vol. 1. Porto Alegre: Associação Brasileira de Química, 1984.