

ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E TÉRMICAS DE COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO COM CASCA DE BANANA

Mariana Neis¹

Luis Sidnei Barbosa Machado²

RESUMO

Devido à possibilidade de combinação de propriedades, os materiais compósitos são capazes de aliar alta rigidez e alta resistência ao impacto, por exemplo, à uma baixa densidade proporcionada pelo uso de fibras. Pensando nisso, este trabalho tem como objetivo estudar a interação da fibra da casca de banana com o polipropileno nas proporções de 5, 10 e 15%. Os resultados mostraram que houve uma boa interação entre as fases matriz e dispersa, entretanto, foram observados problemas na distribuição da fibra. O ensaio térmico apresentou o melhor resultado para a composição de 5%. O ensaio de resistência ao impacto mostrou que há influência da fibra no sentido de promover e dissipar a energia absorvida e nos ensaios de tração e tensão de ruptura, a fibra não interferiu nas propriedades.

Palavras-chave: Compósito, fibra, polímero.

ABSTRACT

Due to the possible combination of properties, the composite materials are able to combine high rigidity and high impact resistance, for example, a low density afforded by the use of fibers. Thinking about it, this work aims to study the interaction of banana bark fiber with polypropylene in proportions of 5, 10 and 15%. The results showed that there was a good interaction between the matrix and dispersed phases, however, problems were observed in the distribution of the fiber. The thermal test showed the best result for the composition of 5%. The impact resistance test showed that there is influence of fiber to promote and dissipate the energy absorbed and the tensile and breaking strength, the fiber had no effect on the properties.

Keywords: Composite, fiber, polymer.

INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a quarta posição na relação de maiores produtores mundiais de banana, ficando atrás apenas de Índia, China e Filipinas. Sua ordem de produção alcança cerca de 7,5 milhões de toneladas ao ano, estando em constante crescimento desde o ano de 1990. O cultivo mundial da banana ocupa uma área de cerca de 5 milhões de hectares e alcança uma produção de 105 milhões de toneladas/ano, sendo o quarto produto alimentar mais produzido no planeta, de acordo com a FAO (2011).

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Química/ULBRA

² Professor- Orientador do curso de Engenharia Química/ULBRA (engquimica.canoas@ulbra.br)

Apesar de toda a avaliação positiva deste mercado atual, um grande problema surge no momento em que se analisam os números do desperdício desta fruta. O alto índice de perdas na comercialização e transporte de bananas no Brasil faz com que somente cerca de 50 a 60% da produção real chegue ao consumidor. Segundo a UNESP (2004), esse alto índice de desperdício se dá pela falta de planejamento administrativo e infraestrutura adequada nos estabelecimentos comerciais, além da cultura do descarte rápido e prático que a sociedade adotou nos últimos anos.

Levando-se em consideração que, segundo Medeiros et. al. (2005), a casca de banana representa cerca de 50% em peso da fruta, estes rejeitos geram toneladas de lixos orgânicos, que acabam por se aglomerar e formar elevadas quantidades de biomassa residual, que por sua vez pode vir a ser utilizada como carga ou reforço em processos de fabricação. De acordo com Boniolo (2009), somente na cidade de São Paulo, se forem contabilizadas estas perdas residuais juntamente com o descarte pós-consumo da população, têm-se por semana, o acúmulo de quatro toneladas de casca de banana.

Uma das alternativas encontradas para esta biomassa é o seu uso em compósitos poliméricos. As propriedades da casca de banana passam a ser estudadas de modo que suas fibras sejam uma alternativa no uso de agentes de reforço na preparação de compósitos de matriz de polipropileno (PP) (WATASHI; CIOFFI, 2005).

A casca de banana já é estudada para outros fins de aplicação, como para produção de papel artesanal (CORAIOLA; MARIOTTO, 2009), adsorvente de metais pesados em efluentes líquidos industriais (BUSKE; JOÃO, 2012), produção de bioetanol (SOUZA et.al., 2012), substituição de lenha em caldeiras flamatubulares (FERREIRA; PROENÇA, 2011), desenvolvimento de placas termo isolantes (EUCLIDES et. al., 2012) e como matéria-prima na produção de bioplástico, conforme reportagem do site *Inhabitat* (2013).

O uso de fibras naturais como agentes de reforço de materiais poliméricos tem encontrado diversas tendências ao longo dos anos. Pesquisadores de todo o mundo tentam atingir seus objetivos através da fabricação de materiais que combinem alta qualidade e recursos renováveis, fundamentando suas teorias no alto ganho ecológico que esses recursos irão oferecer (El BANNA et. al., 2011).

Estas fibras, além de reforçarem o polímero, são biodegradáveis, possuem baixo custo, são leves (devido à sua baixa densidade) e não possuem características abrasivas, o que facilita sua moldagem. São oriundas de fontes renováveis e possuem características mecânicas que tendem a aumentar as propriedades dos polímeros que com elas foram aditivados (BALZER et. al., 2007).

Os materiais compósitos surgiram no mercado para atender necessidades de diversos segmentos industriais, com a finalidade de se obter determinadas vantagens quanto aos demais materiais convencionais já conhecidos. Estas vantagens podem ser uma melhoria na facilidade de processamento ou uma possibilidade de combinação de propriedades, seja através da variação da quantidade percentual de cada componente da mistura, dos aspectos geométricos e estruturais da carga ou do tipo de cada matriz, podendo ser, dentre a classe dos compósitos poliméricos, termoplásticas, termofixas ou elastoméricas. Estes materiais,

além de associar alta resistência mecânica, garantem uma boa ductilidade, o que permite que o produto tenha melhor estabilidade dimensional, e também, em determinados casos, uma maior tenacidade (FREIRE; MONTEIRO; CYRINO; 1994).

Os compósitos poliméricos representam cerca de 90% de todos os compósitos, sendo constituídos de diversos tipos de cargas, sejam elas sintéticas ou orgânicas. Os principais reforços utilizados são os fibrosos, geralmente fibra de vidro ou fibras de carbono, na classe das fibras sintéticas, e as fibras lignocelulósicas de curauá, coco e sisal, na classe das naturais (STRONG, 1996 *apud* FREITAS, 2011).

Este trabalho justifica-se pela busca de uma aplicação industrial para a casca de banana prata, procurando aliar o ganho ambiental, dando destino a este resíduo que atualmente é depositado em aterros sanitários, à busca de um novo material compósito com propriedades térmicas e mecânicas diferenciadas e satisfatórias.

O objetivo geral deste trabalho é a produção de compósito de fibras naturais da casca de banana prata adicionadas em diferentes proporções à matriz de polipropileno (PP).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foi utilizada a Banana Prata, comprada em um supermercado local próximo à Universidade. A escolha por este gênero de banana se dá por ser a espécie mais consumida e mais produzida no Brasil, devido à preferência do consumidor por seu sabor característico, boa aparência e alto padrão de qualidade (ABANORTE, SD).

O polímero utilizado foi o polipropileno homopolímero H306, fabricado e fornecido pela empresa Braskem S/A. É um material próprio para uso em processo de injeção, que possui densidade de 0,905 g/cm³ e índice de fluidez (230°C/2,16 kg) de 15 g/10 min. Sua principal característica é que garante ao produto final boa rigidez e impacto, além de ser de fácil processabilidade.

A primeira etapa da preparação das fibras foi a secagem. As cascas foram dispostas nas próprias prateleiras de uma estufa de marca Fabbe-Primar (modelo 219), disponível no laboratório de química da Ulbra, em que foram forradas com papel kraft conforme a Figura 1, e colocadas na temperatura de 50°C por 72h, com o objetivo de retirar toda a umidade presente em sua composição.

Figura 1 - Secagem das cascas em estufa a 50°C.



Fonte: AUTORA, 2013.

Com a fibra seca, foi feita uma moagem grosseira das cascas através do uso de um liquidificador doméstico. Em seguida, o material moído foi imerso em solução de hidróxido de sódio 1%, sob temperatura ambiente e agitação constante pelo tempo de 2 horas. A velocidade do agitador foi de 1000 RPM. Após a lavagem, as fibras foram dispostas em formas de alumínio (Figura 2) e novamente secas por 72 horas em estufa a 50°C. Em seguida, elas passaram por uma segunda trituração, também no liquidificador, com o objetivo de se aproximar o máximo possível do tamanho de grânulo requerido.

Figura 2 - Fibras dispostas em formas de alumínio.



Fonte: AUTORA, 2013.

Com a fibra triturada, foi feita uma separação granulométrica através do uso de peneiras Tyler. A fração que foi utilizada para a confecção do compósito foi a que ficou retida entre as peneiras Tyler de 48 e 100 mesh, que correspondem a um grânulo de diâmetro entre 0,300 e 0,150mm (SPLABOR, 2013).

A primeira etapa do desenvolvimento do material compósito consiste em separar as frações de material polimérico e fibra. Como foram feitos corpos de prova em três concentrações de fibra, tem-se as seguintes misturas, conforme mostrado no Quadro 1.

Quadro 1- Concentrações de cada mistura.

| | Polipropileno H 306 (%) | Fibra lavada e moída (%) |
|------------|-------------------------|--------------------------|
| MISTURA 01 | 85 | 15 |
| MISTURA 02 | 90 | 10 |
| MISTURA 03 | 95 | 5 |

Como a fibra possui baixa densidade, ela não tem o mesmo fluxo de alimentação do polímero quando colocada no funil da máquina, ou seja, ela tende a permanecer nas laterais e na parte superior do funil, resultando em uma mistura não homogênea de material. Deste modo, se faz necessária uma incorporação prévia da fibra ao polímero, para posteriormente ser reprocessada e injetada. Para que ocorra esta incorporação, as misturas das frações de PP e fibras foram processadas na máquina injetora primeiramente com o intuito de se realizar uma homogeneização inicial, ou seja, a máquina funcionou como uma misturadora. Foram realizadas “purgas” do material, sendo o material fundido injetado fora do molde, que ao se resfriar, resultou em blocos de polímero/fibra. Estes blocos foram moídos em um moinho para plásticos, marca SEIBT, modelo Mghs 10/300 (disponível no laboratório de polímeros da Ulbra Canoas) onde resultaram em grânulos uniformes da mistura, mostrados na Figura 3. Estes grânulos, então, foram processados novamente na máquina injetora, porém agora sendo injetados no molde do corpo de prova, procurando obter um compósito com fibras distribuídas uniformemente.

Figura 3 - Material moído – Composição com 15% de fibra.



Fonte: AUTORA, 2013.

Com o material já moído, deu-se início à etapa de injeção. É nesta fase que foram confeccionados os corpos de prova que foram utilizados para os testes de caracterização.

Para que sejam caracterizadas as principais propriedades térmicas e mecânicas foram realizados os seguintes ensaios:

Ensaio de resistência à tração e tensão de ruptura: Os padrões seguidos são estabelecidos pela norma ASTM D-638, para corpos de prova de materiais poliméricos, indicam as dimensões de $3,2 (\pm 0,2) \times 12,7 (\pm 0,2) \times 165$ mm, correspondendo a espessura, largura e comprimento, respectivamente. O mesmo possui formato de gravata e é preso à máquina por garras de pressão. A velocidade de ensaio é de 50 mm/min.

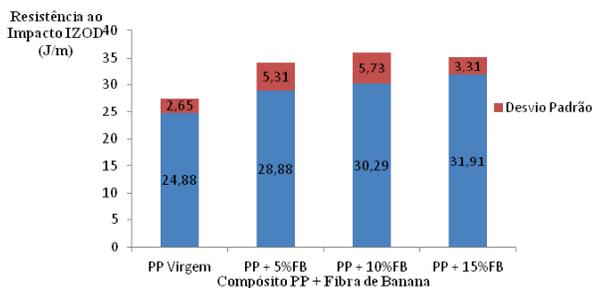
Resistência ao impacto IZOD: O corpo de prova do material a ser analisado é montado verticalmente no equipamento e preso pela sua extremidade inferior. Em seguida, libera-se um pêndulo que, acelerado somente pela força da gravidade, bate na amostra. O valor da resistência deste impacto, indicado pela altura que o pêndulo alcança após o choque, corresponde à perda de energia pelo pêndulo, ou seja, energia absorvida pelo material. Desta forma, é possível se calcular a resistência ao impacto do material. A velocidade do pêndulo no momento do impacto é de 3,5 m/s 10% e a norma a ser seguida é ASTM D- 256 Método A, que refere-se a materiais poliméricos. (FREITAS, 2011).

Análise termogravimétrica: Existem três tipos de técnicas utilizadas para realizar a termogravimetria: isotérmica, semi-isotérmica e dinâmica. A técnica mais utilizada é a termogravimetria dinâmica, que é também a utilizada neste trabalho. Nesta técnica, compara-se o perfil de degradação do material, ou seja, o quanto a massa da amostra varia em relação a elevação da temperatura. Esta temperatura é gradativa e programada.

RESULTADOS

Os valores obtidos no ensaio de resistência ao impacto é dado em termos de energia absorvida pelo material, em Joules, por unidade de espessura do corpo de prova, em metros, sendo esta medida na região da ruptura. O equipamento utilizado foi o da marca Atlas, modelo BPI, disponível no laboratório de caracterização de polímeros, na Ulbra Canoas. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 4.

Figura 4 - Valores de resistência ao impacto para cada amostra analisada e seus respectivos valores de desvio padrão.



Fonte: Autora, 2014.

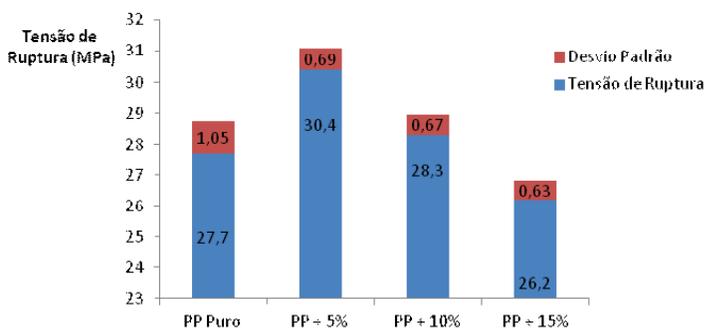
Em todas as amostras com fibras pode ser observada uma tendência ao aumento na resistência ao impacto. Nas misturas com 5 e 10% de fibras, houve um aumento de

14% e 20%, respectivamente, quando comparadas ao polipropileno puro. Na amostra com 15% de fibras, este aumento foi de 26%.

Isto demonstra que a concentração das fibras no polímero aumenta sua resistência (apesar do comportamento não ser linear $R^2 < 0,95$) indicando, como era esperado, sua capacidade de absorver e distribuir a energia do impacto recebido. Desta forma, a fibra auxilia na prevenção de formação de áreas de tensão, que tendem a fragilizar a amostra (RAZERA, 2006).

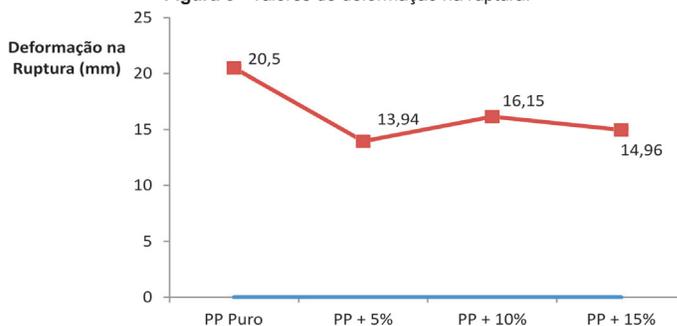
No ensaio de resistência à tração foi analisado o comportamento do material quando este é submetido à força de tração. No total foram analisados 10 corpos de prova de cada composição e os resultados estão nas Figuras 5 e 6.

Figura 5 - Valores obtidos no ensaio de tração.



Fonte: Autora, 2014.

Figura 6 - Valores de deformação na ruptura.



Fonte: Autora, 2014.

Nas três primeiras amostras (puro, 5% e 10%) é notável que a tensão de ruptura é um índice inversamente proporcional ao alongamento do material. Isto fica evidente quando se comparam os valores obtidos de tensão de ruptura que, quanto maior for, menor é a deformação correspondente.

Analisando a tensão de ruptura, as amostras de 5 e 10% de fibra apresentaram valores mais satisfatórios em comparação ao PP puro, chegando a um aumento de aproximadamente 10% na tensão. A amostra com 15% de fibra apresentou o pior desempenho, tanto em comparação com a amostra pura quanto em comparação com as demais amostras com fibra. Isto se deve, principalmente, ao fato da fibra ter facilidade em se aglomerar no interior do polímero e formar pontos com acúmulo elevado de carga que tendem a fragilizar o material. Possivelmente, deve haver falhas na homogeneização e na orientação das espécies e a fibra não consegue cumprir seu propósito de transferir o esforço à matriz.

Na análise de deformação, a fibra causa uma perda significativa na elasticidade da matriz, chegando a valores de deformação até 32% menores em comparação ao PP puro, como foi o caso da amostra com 5% de fibra.

As composições de 10 e 15% também mostraram uma queda no índice, porém menor, sendo este decréscimo correspondente a 21,22 e 27,02%, respectivamente. O alongamento diminuiu devido à propriedade da fibra de conferir rigidez à matriz polimérica e de provocar a redução da mobilidade das cadeias do polímero o que, conseqüentemente, reflete na diminuição da capacidade do material deformar-se.

Após a análise termogravimétrica, verificou-se que o processo de degradação da mistura 5% de fibras, assim como aconteceu com o polipropileno puro, ocorre em uma única etapa, com pico em 432,64°C, o índice de perda de massa aproxima-se de 93% e o acúmulo de resíduo é de 7%. Para a composição com 10% de fibras, a degradação do material é intensa em 424,53°C, onde alcança a perda de 95,55% em massa. Quando comparada com o pico máximo de perda de massa do PP puro, que ocorre a 400,18°C pode ser observado um aumento de 24°C nessa temperatura de topo, relacionada a uma maior resistência do material à temperatura de degradação, além de uma perda mássica 3,45% menor.

Para a mistura PP + 15% de fibras, a faixa em que ocorre o processo de degradação tem seu ápice em 424,53°C, coincidindo com a amostra composta por 10% de fibras. Do mesmo modo estão os percentuais de perda de massa, correspondidos a 95,55% e 95,32% (para o compósito de 10 e 15% de fibras, respectivamente), apresentando uma variação não significativa para esta interpretação. Isso mostra que a diferença de 5% de fibras entre os compósitos pouco influenciou nas propriedades térmicas do material, indicando somente uma alteração no resíduo final que, no caso de 15%, corresponde a 3,12%. Ao serem analisados os índices de resíduo de cada amostra, têm-se os valores mostrados no Quadro 2.

Quadro 2 – Comparação de resíduo esperado e o obtido nas análises.

| Amostra (10mg) | Resíduo PP puro (1,3%) | Resíduo fibra tratada (29,2%) | Resíduo total esperado | Resíduo obtido |
|----------------|-------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------|
| 5% de Fibra | 0,1235g | 0,146g | 0,2695g | 0,7g |
| 10% Fibra | 0,117g | 0,292g | 0,409g | 0,2217g |
| 15% Fibra | 0,1105g | 0,438g | 0,5485g | 0,3128g |

Ao interpretar os valores de resíduos esperados e obtidos, é possível perceber que a amostra retirada para a realização da análise termogravimétrica não corresponde fielmente à composição desejada. A distribuição da fibra no polímero não foi eficaz, uma vez que a amostra não correspondeu, em nenhum dos três casos estudados acima, as composições indicadas.

CONCLUSÃO

No ensaio de tração realizado com os corpos de prova, as composições de 5 e 10% de fibra mostraram os melhores resultados. A mistura com 15% de fibras apresentou o pior desempenho, inclusive comparado ao PP puro. Ao mesmo tempo, foi identificada uma relação inversamente proporcional com a propriedade de elasticidade do material. Embora não tenha sido possível o cálculo do módulo de elasticidade, os valores de alongamento apresentados pelos corpos de prova até o momento de ruptura mostraram-se menores a medida que o teor de fibras era maior, o que comprova a capacidade da fibra de transferir rigidez ao polímero e restringir a capacidade de mobilidade de suas cadeias. O ensaio de resistência ao impacto, apesar de não mostrar uma relação de linearidade, obteve melhores resultados à medida que se aumentava o teor de fibras.

As análises termogravimétricas mostraram que a fibra de casca de banana tende a aumentar a estabilidade térmica do material. A composição com 5% de fibras aumentou em 32°C a estabilidade, e as composições de 10 e 15% aumentaram, igualmente, em 24,5°C. Porém, encontrou-se uma não concordância nos valores de resíduo apresentados ao final da análise, o que indica que o percentual de fibra utilizada na mistura não corresponde com o percentual encontrado na amostra utilizada para análise. Isso indica que há falhas na homogeneização entre a fase dispersa e a fase matriz, ou seja, uma má distribuição do reforço no polímero que acarreta em pontos de maior acúmulo de fibras.

Pode-se então concluir que a fibra de casca de banana se torna uma boa alternativa para aperfeiçoamento de propriedades de tração e estabilidade térmica, ou até mesmo como carga, principalmente pelo fato de não prejudicar a propriedade de resistência ao impacto, já que apresenta os mesmos resultados que o polipropileno puro.

REFERÊNCIAS

ABANORTE. **Associação Central dos Fruticultores do Norte de Minas**. Disponível em: <<http://www.abanorte.com.br>> Acesso em: 03 dez. 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Normas técnicas D-638 e D-256**. Disponível em: <<http://enterprise.astm.org>> Acesso em: 06 dez. 2013.

BALZER, P. S. et al. Estudo das propriedades mecânicas de um composto de PVC modificado com fibras de bananeira. **Revista Polímeros**: Ciência e tecnologia, 2007.

BONIOLO, M. R.; YAMAURA, M.; MONTEIRO, R. A. **Biomassa residual para remoção de íons uranilo**. São Paulo: Universidade Federal de São Carlos, 2009.

BUSKE, J. L. O.; JOÃO, J. J. **Biomassa residual: utilização da casca da banana como adsorvente de metais pesados em efluentes líquidos industriais**. Florianópolis: Universidade do Sul de Santa Catarina, 2012.

CORAIOLA, M.; MARIOTTO C. S. **Proposta metodológica para produção artesanal de papel utilizando a fibra do pseudocaule da bananeira**. São Paulo: Pontifícia Universidade Católica, 2009.

El BANNA, W. R. et al. Fibras de bananeira como material de engenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA - COBENGE, 2011. **Anais...** 2011.

FERREIRA, P., PROENÇA, M. B., Estudo sobre o uso de casca de banana, folha e tronco de bananeira como biomassa para substituição de lenha em caldeiras flamotubulares. In: FORO CIENTÍFICO ESTUDANTIL DO INSTITUTO SUPERIOR TUPY, 5., 2012. **Anais...** Disponível em: <<http://www.sociesc.org.br/pt/pesquisa/conteudo.php?&id=10136&lng=2&mnu=10348&top=5384>> Acesso em: 20 ago. 2013.

FREIRE, E.; MONTEIRO, E. E. C.; CYRINO, J. C. R., Propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno com fibra de vidro. **Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia**, jul./set. 1994.

FREITAS, W. C. **Estudo das propriedades mecânicas e térmicas de compósitos de polipropileno com casca de arroz**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2011.

INHABITAT. **Design Will Save the World**. 2013. Disponível em: <<http://inhabitat.com/sixteen-year-old-student-from-turkey-turns-banana-peels-into-bioplastic/>> Acesso em: 07 set. 2013.

MEDEIROS, V. P. Q., AZEVEDO, S. J. O., GONDIM, J. A. M., GURGEL, E. A. S., DANTAS, A. S. **Determinação da composição centesimal e do teor de minerais da casca e polpa da banana pacova**. 57ª edição de anuais da SBPC, Fortaleza, 2005.

ONU. FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations, Ano 2011**. Disponível em: <<http://www.fao.org/economic/worldbananaforum/production0/en/>> Acesso em: 05 ago. 2013.

RAZERA, I. A. T, **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica**. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2006. São Paulo: USP, 2006.

SOUZA, O. et al. Energia alternativa de biomassa: Bioetanol a partir de casca e da polpa de banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, 2012.

SPLABOR. **Equipamentos para Laboratório**. Disponível em: <<http://www.splabor.com.br>> Acesso em: 13 nov. 2013.