

ANÁLISE DE RESÍDUOS DE PORONGO VISANDO O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO¹

*ANALYSIS OF PORONGO WASTES AIMING
THE ENERGETIC ENHANCEMENT*

Felipe Batistella Paust² e Joana Bratz Lourenço³

RESUMO

Neste trabalho, é feita uma avaliação do uso de biomassa residual de porongo, com o intuito de propor o aproveitamento energético como etapa da gestão de resíduo das empresas que fabricam cuias e artefatos a base de porongo na cidade de Santa Maria, localizada no Rio Grande do Sul. Foram mensurados os teores de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo por análise imediata da biomassa. Amostras de porongo foram submetidas à análise termogravimétrica com a finalidade de avaliar a perda de massa dos principais constituintes dessa matriz. Os resultados de caracterização foram comparados com outras biomassas utilizadas como fonte energética. Assim, foi possível verificar a potencialidade de aplicação dessa matriz como insumo energético. Por fim, além de se propor um novo insumo energético de fonte renovável, busca-se resolver a questão da diminuição da geração de resíduos pela indústria.

Palavras-chave: *Lagenaria siceraria*, biomassa, energia, reaproveitamento energético.

ABSTRACT

In this work, an evaluation of the use of residual biomass from 'porongos' was carried out, with the purpose of energy use as a stage of the waste treatment of the companies that manufacture bottle gourds and artifacts based on 'porongos' in the city of Santa Maria, located in Rio Grande do Sul. Moreover, moisture content, volatiles, ash composition and fixed carbon by proximate biomass analysis were determined. Then, Gourd samples were submitted to thermogravimetric analysis in order to evaluate the mass loss of the main constituents of this matrix. The characterization results were compared with other biomasses used as energy source. Thus, it was possible to verify the potentiality of the application of this matrix as an energy input. Therefore, the question about reduction of generation of waste from industry had more attention, searching to solve this problem, in addition to proposing a new energy input from renewable source.

Keywords: *Lagenaria siceraria*, biomass, energy, energetic reuse.

¹ Trabalho Final de Graduação - TFG.

² Acadêmico do curso de Engenharia Química - Centro Universitário Franciscano. E-mail: felipe_batistellasm@hotmail.com

³ Orientadora. Docente do curso de Engenharia Química - Centro Universitário Franciscano. E-mail: joanab_lourenco@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A compreensão da importância de preservar o meio ambiente só se manifestou devido às consequências do crescimento econômico acelerado, muito por conta do desenvolvimento industrial em meados do século XX, o que resultou inúmeros desastres naturais, como o aumento de furacões e derretimento de calotas polares (GRIMONI et al., 2004).

A energia que a atual civilização necessita origina-se, em grande parte, de combustíveis fósseis, como o carvão mineral, o petróleo e o gás natural. Apesar de promover conforto e praticidade à grande parte da população mundial, o uso sem limites dos combustíveis fósseis está criando problemas que ameaçam a estabilidade e o bem-estar da civilização. Isso se deve ao fato de que os combustíveis fósseis são a principal fonte de poluição no mundo, com sérias consequências para a saúde, pois estes emitem gases que contribuem diretamente para o aquecimento global e são a origem de incalculáveis problemas que prejudicam a segurança do abastecimento energético (GOLDEMBERG, 2011).

A intenção de preservar o meio ambiente colocou em pauta, novamente, um meio de energia que, com a ascensão dos combustíveis fósseis, havia sido deixada em segundo plano: a biomassa. Esta é uma matéria orgânica de origem florestal, vegetal, animal ou originária de resíduos urbanos e industriais, a qual pode ser transformada em algum insumo energético, como térmico ou elétrico. A biomassa é considerada a principal fonte de energia renovável capaz de diversificar a matriz energética e substituir derivados do petróleo, devido ao seu enorme potencial de crescimento para os próximos anos (ANEEL, 2008).

O Brasil, como um dos líderes mundiais em produção agrícola, gera uma enorme quantidade de resíduos vegetais, decorrentes das atividades da colheita dos produtos agrícolas. Esses resíduos são aproveitados energeticamente por meio de tecnologias, como pirólise, combustão direta, hidrólise, entre outras (CORTEZ et al., 2008).

O porongo (*Lagenaria siceraria*), originário da família das Cucurbitáceas, é um fruto muito importante para os pequenos agricultores do interior do estado do Rio Grande do Sul, mais especificamente na cidade de Santa Maria, onde se concentra o maior número de empresas que utilizam o porongo como matéria-prima (BISOGNIN et al., 1995).

O porongo, após atingir seu estado de maturação, apresenta uma casca firme, a qual é capaz de proteger seu fruto, além de ser um material leve e impermeável. A utilização do porongo é mais comum na região sul do Brasil e em países vizinhos, como a Argentina e o Uruguai, onde o chimarrão, bebida consumida em cuias feitas de porongo, faz parte da cultura. O porongo também é utilizado para a fabricação de peças de artesanato (BASTOS, 2010).

Por se tratar de frutos (*Lagenaria siceraria*) com grande variação no formato e volume, é necessário que sejam processados, pois buscam-se padrões específicos dos artefatos para que sejam atrativos aos consumidores. Esse processamento gera resíduos, constituídos, principalmente, de ma-

téria orgânica e cinzas. Além disso, na produção de cuias, aproveita-se apenas a parte superior do porongo, restando a parte inferior como resíduo. Portanto, a análise dos resíduos de porongo vai de encontro com os atuais problemas energéticos mundiais e, paralelamente, busca-se estabelecer práticas de sustentabilidade econômica e ambiental por se tratar de uma fonte residual que seria descartada no meio ambiente. De forma a buscar novas alternativas energéticas, provenientes de biomassa do porongo, que venham a contribuir com a diminuição do consumo de combustíveis fósseis e melhorar o aproveitamento de recursos locais, a finalidade deste estudo é avaliar os constituintes físico-químicos e propriedades térmicas para analisar o porongo como material candidato a insumo energético.

MATERIAL E MÉTODOS

Resíduos de porongo de uma indústria de cuias de Santa Maria foram coletados, conforme figura 1, após uma visita realizada no local. A matéria orgânica foi separada pelo próprio responsável da indústria, de maneira única e sem nenhum tipo de condicionamento ou etapa de estabilização. Três quilos de amostra foram recolhidos em um único dia, os quais foram bem misturados, e 6 g de amostras foram selecionadas aleatoriamente para as três análises, realizadas em duplicata. As amostras foram submetidas a peneiramento, sendo escolhidas partículas passantes por peneira de malha de 600 μm .

Figura 1 - Resíduos de porongo doados pela fábrica de cuias.



Fonte: própria.

ANÁLISE IMEDIATA

A análise imediata foi utilizada para determinar os teores de umidade, voláteis, cinzas e carbono fixo, de acordo com as normas ASTM E871-82 (2006), ASTM E1755-01 (2007) e ASTM E872-82 (2006).

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

O teor de umidade é um parâmetro muito importante de ser estudado, pois o poder calorífico e a condutividade elétrica estão diretamente relacionados a esse aspecto da amostra (RENDEIRO; NOGUEIRA, 2008).

A determinação do teor de umidade foi feita de acordo com a norma ASTM E871, em duplicata. Primeiramente, os resíduos de porongo foram peneirados em uma peneira (Bertel, 600 μm , Brasil). Posteriormente, duas placas de petri foram secas em uma estufa (Deleo, Brasil), por 30 minutos em temperatura de $103\pm 1^\circ\text{C}$. Após a secagem, as placas foram deixadas por uma hora em dessecador para resfriamento até a temperatura ambiente. As placas foram pesadas, e suas massas registradas como m_c .

Foram acrescentados, junto às placas de petri, 1 g de resíduo de porongo, registrados como m_0 , e foram levadas à estufa por 16 horas. Posteriormente, as placas de petri com as amostras foram deixadas por uma hora em dessecador em temperatura ambiente. Após o resfriamento, a massa foi registrada como m_f . As amostras foram novamente levadas à estufa, e o processo foi repetido até que houvesse variação de massa menor que 0,2%. Após o procedimento citado, o teor de umidade foi calculado pela equação 1:

$$\text{TU (\%)} = [(m_0 - m_f)/(m_0 - m_c)] \cdot 100 \quad (1)$$

em que

TU(%): teor de umidade percentual;

m_c : massa da placa de petri (g);

m_f : massa final da placa de petri com a amostra (g);

m_0 : massa inicial da placa de petri com a amostra (g).

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CINZAS

A determinação do teor de cinzas resulta na quantidade de sólidos inorgânicos que estão presentes no produto após a incineração (RENDEIRO; NOGUEIRA, 2008).

A norma utilizada na determinação de cinzas foi ASTM E1755. Primeiramente, dois cadinhos de porcelana (50 mL) foram aquecidos no forno mufla (Zezimaq, 2000-F, Brasil), em uma temperatura de 575°C durante três horas. Após o procedimento, os cadinhos foram colocados em dessecador em temperatura ambiente por uma hora. Os cadinhos foram pesados, e suas massas registradas como m_{cont} .

A partir de amostras secas, foi adicionado aos cadinhos 1 g de resíduos de porongo, e suas massas foram registradas como m_{bc} . Os cadinhos foram levados ao interior do forno mufla a uma temperatura de 500°C , com taxa de aquecimento de $5^\circ\text{C}/\text{min}$. Após o procedimento, os cadinhos foram resfriados em dessecador em temperatura ambiente por uma hora, e suas massas foram registradas como m_{cinzas} . O teor de cinzas (TCZ) foi determinado pela equação 2:

$$TCZ (\%) = [(m_{\text{cinzas}} - m_{\text{cont}})/(m_{\text{bc}} - m_{\text{cont}})] \cdot 100 \quad (2)$$

em que

TCZ(%): teor de cinzas percentual;

m_{cinzas} : massa de cinza na amostra (g);

m_{cont} : massa do cadinho seco (g);

m_{bc} : massa do cadinho com a biomassa (g).

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE VOLÁTEIS

A determinação do teor de voláteis é basicamente feita por meio da volatilização da massa da amostra durante o processo de incineração (RENDEIRO; NOGUEIRA, 2008).

A norma utilizada para esse procedimento foi ASTM E872. Primeiramente, dois cadinhos de porcelana (50 mL) com tampa foram pesados, e suas massas registradas como m_c . Após a pesagem, foi adicionado aos cadinhos, 1 g de amostra seca, e suas massas foram registradas como m_0 . Após esse processo, os cadinhos foram levados até o interior da mufla, onde permaneceram por sete minutos na temperatura de 950°C. Após esse período, os cadinhos foram resfriados durante uma hora em dessecador em temperatura ambiente. As massas finais dos cadinhos foram registradas como m_p após o resfriamento.

O teor de materiais voláteis (TMV) foi determinado pela equação 3:

$$TMV (\%) = [(m_0 - m_p)/(m_0 - m_c)] \cdot 100 \quad (3)$$

em que

TMV (%): teor percentual de materiais voláteis;

m_c : massa do cadinho de porcelana com tampa (g)

m_p : massa final do cadinho de porcelana com tampa com a amostra (g)

m_0 : massa inicial do cadinho de porcelana com tampa com a amostra (g)

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CARBONO FIXO

A determinação do teor de carbono (TC) fixo é a massa restante, subtraindo o total da amostra e os teores de cinzas e de voláteis (RENDEIRO; NOGUEIRA, 2008).

$$TC (\%) = 100 - TCZ - TMV \quad (4)$$

ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA (TGA)

A análise termogravimétrica (TGA) consiste em uma balança que serve de suporte para uma amostra. Esta é então aquecida sob atmosfera e temperatura controlada, e pode-se obter uma curva da perda de massa ao longo de uma faixa de temperatura analisada, podendo-se, ainda, variar a taxa de aquecimento. Com isso, verificam-se diversas informações, como as temperaturas de degradação e a derivada termogravimétrica (DTG), a qual indica a temperatura em que a maior perda de massa ocorre (MOTHÉ; AZEVEDO, 2009).

Para essa análise térmica, foi utilizada uma balança termogravimétrica (TGA-50, Shimadzu, Japão) do Laboratório de Processos Ambientais (LAPAM), na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) (Figura 2). A amostra foi colocada em um cadinho de platina e submetida a uma programação de temperatura controlada, desde a temperatura ambiente (25°C) até 600°C. A massa da amostra no equipamento foi de 5 mg, em uma taxa de aquecimento de 10°C/min. O experimento foi realizado em atmosfera inerte, de nitrogênio gasoso (N₂) 99,999%, com uma vazão do gás de 50 mL/min. As perdas de massa foram obtidas em função da temperatura (TGA) e também da sua derivada (DTG).

Figura 2 - Balança termogravimétrica (TGA-50, Shimadzu, Japão) - Laboratório de Processos Ambientais (Universidade Federal de Santa Maria).



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise imediata realizados no Laboratório de Materiais Cerâmicos S03/P11 do Centro Universitário Franciscano são apresentados na tabela 1. Além disso, dados de outras biomassas

citadas na literatura são apresentados, com relação aos resultados dos teores de umidade, cinza, voláteis e carbono fixo, de forma que sirvam de comparativo.

Tabela 1 - Resultados da análise imediata para os resíduos de porongo e demais biomassas.

Biomassa	Teor de Umidade (%)	Teor de Cinzas (%)	Teor de Voláteis (%)	Teor de Carbono Fixo (%)	Referências
Porongo	13,3	7,02	40,08	52,90	-
Casca de Arroz	7,9	17,1	59,5	23,4	Diniz (2005)
Resíduos de Soja	6,3	5,1	69,6	25,3	Werther et al. (2000)
Bagaço de Cana	8,2	4,2	83,1	12,7	Katyal et al. (2003)
Sabugo de Milho	17,1	1,1	81,31	17,6	Silva et al. (2004)
Eucalipto	5,76	0,2	87,02	12,8	Lourenço (2012)
Tucumã	6,8	1,5	76,75	21,75	Lourenço (2012)

A análise imediata mostra que o teor de umidade do porongo é relativamente baixo (13,3%). De acordo com Klautau (2008), a presença de umidade dificulta a queima do combustível e reduz o poder calorífico, além de gerar poluição ambiental devido ao aumento do volume de produtos de combustão e de material particulado.

Observa-se que há um baixo teor de cinzas, menor que 7,2%. Quando esse valor está em alta concentração, pode diminuir o poder calorífico e causar perda de energia, além de afetar a transferência de calor. Para Hoffmann (2010), o alto teor de cinzas diminui a eficiência devido ao aumento do consumo de oxigênio para derreter as cinzas e pela perda de calor com a saída das cinzas do reator, que não pode ser totalmente recuperado.

O teor de voláteis mostrou-se um bom resultado, apesar de ser o menor valor em comparação com as biomassas da literatura. Segundo Klautau (2008), quanto maior o teor de voláteis, maior é a facilidade da biomassa em incendiar e queimar, ou seja, esse teor mede a facilidade com que a biomassa queima.

O teor de carbono fixo (52,9%), em comparação com as demais biomassas da literatura, mostrou um valor muito superior, o que é um ótimo indicativo da qualidade do combustível, pois um elevado teor de carbono está relacionado a um elevado poder calorífico.

ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

A análise termogravimétrica foi realizada a fim de monitorar a perda ou ganho de massa da amostra em função de uma temperatura. Na figura 3, constam as curvas de decomposição mássica feitas por TGA e DTG. Na figura 4, estão apresentadas as curvas de decomposição termogravimétrica para o eucalipto e caroço do fruto do tucumã, como caráter comparativo.

Figura 3 - Curva de decomposição termogravimétrica para a amostra de resíduo de porongo.

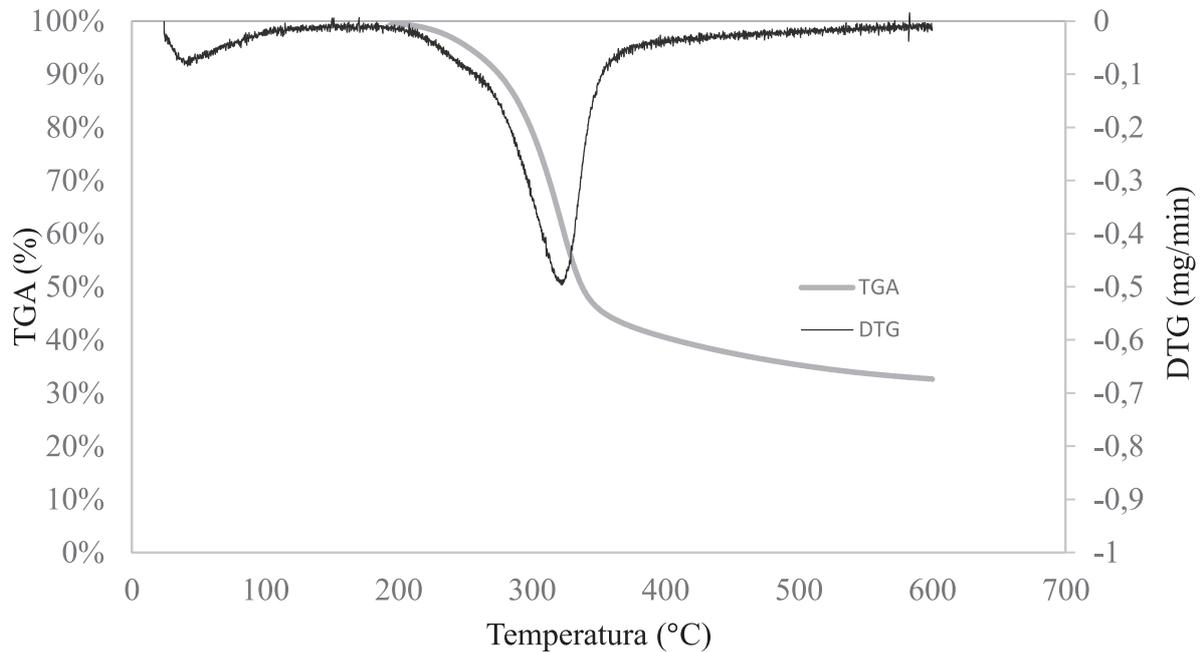
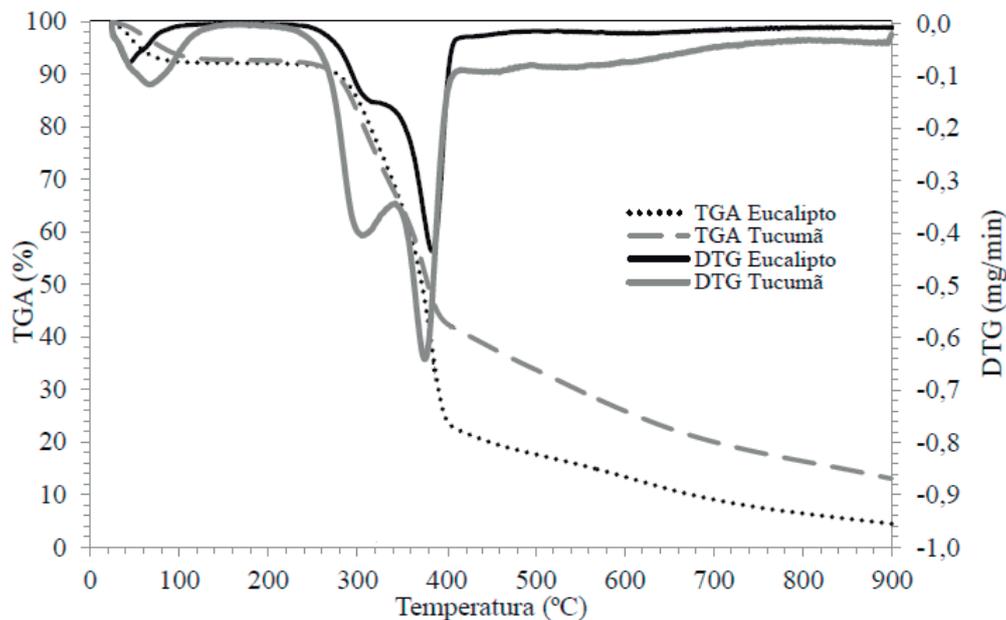


Figura 4 - Curva de decomposição termogravimétrica para o eucalipto e caroço do fruto do tucumã.



Fonte: Lourenço (2012).

Segundo Yao et al. (2008), que analisaram diversas biomassas, como bambu, casca de arroz e madeiras, por meio de curvas termogravimétricas derivadas, o primeiro pico característico das curvas de DTG obtidas indica a decomposição térmica da hemicelulose, e o segundo pico é atribuído à decomposição da celulose. A degradação da lignina ocorre a elevadas temperaturas, e pode ser identificada pela presença de “caldas” nos gráficos.

Neste estudo, pôde-se observar que, entre 25°C e 160°C, a perda de massa foi atribuída à umidade da amostra. Entre 160°C e 360°C, a perda de massa deve-se à degradação da celulose e hemicelulose e, entre 360°C e 600°C, atribui-se a perda de massa à degradação de lignina. Observa-se que a maior perda de massa ocorre para a degradação da celulose e hemicelulose, de 50% para o porongo. Em caráter comparativo, o porongo obteve uma perda de massa menor, em relação ao eucalipto e o tucumã, pois ambos obtiveram, 70% e 52% respectivamente.

AVALIAÇÃO DE FÁBRICAS DE CUIAS NA CIDADE DE SANTA MARIA

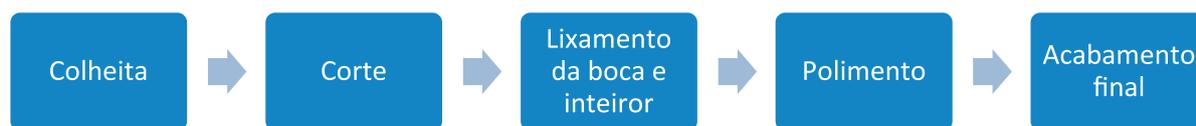
A fim de entender melhor o mercado de cuias de Santa Maria, principal gerador de resíduos de porongo, foram realizadas visitas a duas empresas, e questões foram levantadas. As perguntas e respostas referentes ao setor são apresentadas no quadro 1.

Quadro 1 - Resultado de pesquisa realizada em empresas que fabricam cuias em Santa Maria/RS.

Pergunta	Resposta Empresa 1	Resposta empresa 2
Qual a espécie do Porongo?	Família das Cucurbitaceas, nome científico é <i>Lagenaria siceraria</i> .	Família das Cucurbitaceas, nome científico é <i>Lagenaria siceraria</i> .
Quantidade de resíduos gerados pela fábrica?	De acordo com a demanda, cerca de 20Kg por mês.	De acordo com a demanda, de 10 a 12Kg por mês.
Qual a origem do porongo?	Plantio próprio e advindos de plantadores de Cacequi e de Vila Nova do sul.	Adquiridos de produtores externos, como das cidades de Vicente Dutra e Cacequi.
A fábrica possui licença ambiental?	Sim	Sim
Qual é o destino dos resíduos?	Os resíduos são usados na horta como adubo, e as aparas são usadas para lareira e fogão à lenha.	Os resíduos são utilizados principalmente em lareiras e como adubo.
Quais regiões do RS a fábrica atende?	Atende pedidos do estado inteiro, mas a maioria dos consumidores está na região central do estado.	Atende a todas as regiões do estado, mas é na região central onde se concentra sua maior demanda.
Qual o custo do porongo para a fábrica?	Cerca de 60 a 70 centavos.	Cerca de 80 centavos.
O porongo é submetido a algum tratamento químico? Qual?	Não.	Não.
Qual a quantidade de matéria prima utilizada?	Varia de acordo com a demanda da fábrica.	Varia de acordo com a demanda da fábrica.

O processo de fabricação da cuia, realizado por essas empresas, é relativamente simples por se tratar de um processo artesanal e sem nenhum tipo de tratamento químico. A maior parte da geração de resíduos se dá nas etapas de corte e lixamento do porongo, pois é nesse estágio que o produto final toma forma. Por isso, essa etapa foi escolhida para o estudo. Vale destacar que o levantamento da quantidade de resíduos produzida em cada etapa ou no processo como um todo não foi determinada. Na figura 5, é apresentado o fluxograma que representa o processo de produção de cuias na cidade de Santa Maria. As amostras utilizadas nesta pesquisa foram obtidas da etapa de lixamento da boca e interior da cuia.

Figura 5 - Fluxograma da produção de cuias na cidade de Santa Maria.



Fonte: própria

CONCLUSÃO

Diante da apresentação dos resultados deste trabalho, conclui-se, por meio da análise imediata, que o porongo é um potencial gerador de energia, pois apresenta um baixo teor de umidade, cerca de 13%, e um bom teor de materiais voláteis e carbono fixo, os quais compõe 80% da massa do material.

A partir da análise da decomposição termogravimétrica do porongo, pode-se concluir que, entre 25°C e 160°C, a perda de massa foi atribuída à umidade da amostra. A degradação da celulose e hemicelulose ocorreu entre 160°C e 360°C, e a degradação de lignina ocorreu entre 360°C e 600°C. A maior perda de massa, cerca de 50%, foi devida à degradação da celulose e hemicelulose.

Com este estudo, realizado com a contribuição de duas fábricas de cuias, verificou-se que, por se tratarem de microempresas que operam conforme a demanda de seus consumidores, a geração de resíduo não chega a ser um problema, pois, em geral, os resíduos são usados como combustível em lareiras e fogões a lenha, com uma destinação energética local.

REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília, 2008.

ASTM - American Society for Testing and Materials. Standart E1755 - 01, 2007. **Standard Test Method for Ash in Biomass**.

ASTM - American Society for Testing and Materials. Standart E871 - 82, 2006. **Standard Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels**.

ASTM - American Society for Testing and Materials. Standart E872 - 82, 2006. **Standard Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels**.

BASTOS, M. A. B. **Poética da cabaça: fruto de tradição, arte e comunicação**. 2010. 188f. Dissertação (Mestrado em Artes) - UNESP, São Paulo, 2010.

BISOGNIN, D. A.; AMARANTE, C. V. T. do; NICHIMORI, K. H. Análise do crescimento inicial de plantas de porongo - *Lagenaria siceraria*. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 13, n. 2, p. 163-166, 1995.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Unicamp, 2008.

DINIZ, J. **Conversão Térmica de Casca de Arroz à baixa temperatura: Produção de Bioóleo e Resíduo Sílico Carbonoso Adsorvente**. 2005. 156f. Tese (Mestrado em Química Analítica), Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, 2005.

GOLDEMBERG, J. **Os problemas mundiais de energia**. 2011. Disponível em: <<https://goo.gl/Tjgd4S>>. Acesso em: 26 nov. 2016.

GRIMONI, J. A. B.; GALVÃO, L. C. R.; UDAETA, M. E. M. **Iniciação a conceitos de sistemas energéticos para o desenvolvimento limpo**. São Paulo: Edusp, 2004.

HOFFMAN, B. S. **O ciclo Combinado com Gaseificação Integrada e a Captura de CO₂: Uma Solução para mitigar as emissões de CO₂ em Termelétricas a carvão em larga escala no curto prazo**. 2010. 128f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

IQ - Instituto de Química - USP. **Análise térmica - TGA, DSC e DMA**. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/8DwY1m>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

KATYAL, S.; THAMBIMUTHU, K.; VALIX, M. Carbonisation of bagasse in a fixed bed reactor: influence of process variables on char yield and characteristics. *Renewable Energy*. **Pergamon**, Canada, v. 28, p. 713-725, 2003.

KLAUTAU, J. V. P. **Análise Experimental de uma Fornalha a lenha de Fluxo Cocorrente Para Secagem de Grãos**. 2008. 192f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - PPGERHA, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2008.

LOURENÇO, J. B. **Estudo das Características Fluidodinâmicas de Misturas da Madeira de Eucalipto e do Caroço do Fruto do Tucumã com Inerte Visando Aplicação em Processos de Termoconversão**. 2012. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2012.

MOTHÉ, C.; AZEDO, A. **Análise térmica de materiais**. São Paulo: Artiber, 2009.

RENDEIRO, G.; NOGUEIRA, M. F. M. **Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

SILVA, J. N.; SOBRINHO, J. C; SAIKI, E. T. Utilização de Biomassa na Secagem de Produtos Agrícolas via Gaseificação com Combustão Adjacente dos Gases Produzidos. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 2, p. 405-411, 2004.

WERTHER J. et al. Combustion of agricultural residues. *Progress in energy and combustion science*. **Pergamon**, Alemanha, v. 26, p. 1-27, 2000.

YAO, F. et al. Thermal decomposition kinetics of natural fibers: Activation energy with dynamic thermogravimetric analysis. **Polymer Degradation and Stability**, v. 93, p. 90-98, 2008.