

ANÁLISE TÉRMICA APLICADA A ESTUDOS DE ECOEFICIÊNCIA DO BAMBU PARA PROCESSOS DE CARBONIZAÇÃO

¹Costa, T.M.S., ²Martinelli, ³J.R., Matos, J.R.

Al. Barão de Limeira, 539, São Paulo – SP, CEP:01202-001, dalmolim@uol.com.br

¹Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI - CPC, São Paulo, SP.

²Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, São Paulo, SP.

³Instituto de Química - USP, Laboratório de Análise Térmica Prof. Dr. Ivo Giolito – LATIG,
São Paulo, SP.

RESUMO

*O objetivo deste trabalho foi obter dados quanto à degradação térmica do bambu da espécie *Bambusa vulgaris* Schard, identificando os parâmetros importantes na qualidade do carvão vegetal como fases e teores de umidade, materiais voláteis, carbono fixo e de cinza, quando esse material é submetido a um aquecimento na faixa de 25 a 900°C. As amostras foram submetidas aos ensaios de termogravimetria/termogravimetria derivada (TG/DTG) e calorimetria exploratória diferencial (DSC). As curvas TG/DTG e DSC foram obtidas com velocidade de aquecimento de 10 °C/min. Os ensaios de DSC foram realizados entre 25 e 600°C e sob atmosfera dinâmica de N₂ (100 mL/min). Os ensaios de TG/DTG foram realizados entre 25 e 900°C, sob atmosfera dinâmica de N₂ e de ar (50 mL/min). O processo de carbonização, a partir da decomposição térmica do bambu, ocorre com liberação de calor mesmo em atmosfera inerte, sugerindo um controle mais adequado de atmosfera e temperatura podendo-se identificar as fases de geração dos sub-produtos no processo de carbonização, sugerindo um controle mais adequado de atmosfera e temperatura nos processos de produção e produtividade do carvão vegetal, assim como, estimar uma aplicação desse produto para o mercado, otimizando recursos buscando a ecoeficiência.*

Palavras-chave: Análise térmica, bambu, carbonização.

INTRODUÇÃO

No início da década de 80 acentuou-se o interesse das indústrias por novas tecnologias para fins energéticos, em consequência da elevação dos preços internos do óleo combustível e do gás natural, favorecendo um maior uso da lenha e do carvão vegetal. Conforme o último Balanço Energético Nacional - BEN, de 2003, a lenha é ainda a principal fonte de energia primária como matéria-prima, a ser consumida e transformada em carvão vegetal nas carvoarias, onde é convertida em fontes de energia secundária, sendo que o seu principal uso está na indústria siderúrgica, na produção do gusa. A outra parcela da fonte de energia primária é consumida na cocção de alimentos, consumo de carvão utilizado em máquinas à vapor e caldeiras utilizadas pela indústria. Atualmente, para atender à demanda de madeira, o gênero mais utilizado é o *Eucalyptus*, seguida por resíduos da floresta de Pinus, lenha de Pinus, resíduos de serrarias de Pinus, lenha nativa, resíduos de florestas de *Eucalyptus* e serrarias de *Eucalyptus*.

O comportamento geral apresentado pela madeira no processo de carbonização para a produção de carvão vegetal está ligado aos fenômenos que ocorrem com os seus três constituintes principais: celulose, hemicelulose e lignina. Cada um desses componentes reage liberando e

absorvendo energia e perdendo massa, devido à sua natureza química. Esta perda de massa ocorre quando a madeira e seus componentes são submetidos a um aquecimento contínuo e controlado, e pode ser caracterizada pela técnica de termogravimetria, identificando as fases do processo e reações dos constituintes, mostrando a evolução da perda de massa em função da temperatura de aquecimento (Penedo, 1982).

Os dados encontrados na literatura sobre pirólise são diversos, pois os resultados dependem das condições experimentais, da aparelhagem e seus parâmetros, como taxa de aquecimento, sensibilidade do equipamento entre outros. A forma de apresentação dos resultados também difere de acordo com o autor pesquisado; seguindo a linha de Beall & Eickner (1970), os fenômenos da carbonização da madeira podem ser divididos nas seguintes etapas:

- Evaporação da água: até 140 °C;
- Formação de gases: ocorre entre 200 e 450 °C, com liberação máxima entre 350 e 400 °C;
- Formação de pirolenhoso: o pirolenhoso seria formado até cerca de 350 °C, passando por um máximo entre 280 e 300 °C;
- Formação de alcatrão: a produção de alcatrão ocorre entre 300 e 450 °C;
- Liberação de outros gases: acima de 400 °C haveria formação de gases, principalmente hidrogênio.

O objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento de degradação da espécie *B. vulgaris*, pelo fato do bambu ser uma alternativa na produção de carvão vegetal, pois possui semelhanças com as madeiras pela natureza lignocelulósica, sendo possível comparar com o comportamento da degradação da madeira nas faixas de temperaturas aplicadas em processos de carbonização.

Assim sendo, a caracterização termogravimétrica pode auxiliar na escolha de faixas de temperaturas utilizadas no processo de carbonização, para a obtenção do carvão vegetal, podendo ser aplicável para a caracterização de carvões comerciais, buscando a economia de energia utilizada nos fornos, além de identificar as principais fases das reações de liberação ou absorção de energia, e perda de massa, que estão diretamente ligados a qualidade do carvão vegetal.

A relação do rendimento gravimétrico e perda de peso da lignina são fatores importantes para a determinação da qualidade do carvão vegetal, mas não devemos esquecer da existência de técnicas complementares que fornecem informações necessárias para o controle da qualidade do carvão vegetal, que são: o teste de resistência à abrasão e queda, tamboramento, resistência à compressão, densidade e porosidade, composição química e poder calorífico, as quais não são contempladas neste estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Seleção e coleta de material

Para este estudo, as amostras de *Bambusa vulgaris* Schard., com idade de dois anos, foram coletadas de três touceiras no viveiro do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), na Fazenda Santa Elisa, localizada em Campinas, no mês de junho de 2003, utilizando-se facão e machado para o corte dos colmos de maior porte.

Corte e moagem

Os colmos foram amarrados com barbante e cortados rente ao solo, logo acima do nó, com foice, sem deixar o bambu rachar ou lascar, em três segmentos, nas posições basal, mediana e topo, no sentido longitudinal, a partir da base, sendo o primeiro corte a 10 cm do solo representando 1% e os subseqüentes a 25 cm (2,5%), 50 cm (5%), 75 cm (7,5%) do solo.

Após o corte no campo, os internódios dos colmos foram separados com o auxílio de serra circular de vídea de 60 dentes e 12", no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola (UNICAMP). Dos colmos foram obtidos os cavacos com comprimentos de 1,5 cm, 3,0 cm e 6,0 cm, largura de 0,4 cm, 0,8 cm e 1,2 cm e espessura de 0,2 cm, 0,6 cm e 1,0 cm, utilizando como ferramenta, o "rachados de bambu". Os cavacos foram reunidos em uma bandeja de plástico e separados em quatro partes, tirando-se uma amostra de um terço de cada parte para serem transformados em serragem utilizando-se o desfragmentador DP-1 da marca noqueira e moinho semi-industrial do tipo Willy, passando por peneiras com retenção de 40 *mesch*, para análise térmica.

Condições do ensaio

As amostras de *B. vulgaris* foram submetidas aos ensaios de termogravimetria/termogravimetria derivada (TG/DTG) e calorimetria exploratória diferencial (DSC). As curvas TG/DTG e DSC foram obtidas, respectivamente, por meio da termobalança TGA-50 e célula DSC-50, ambas da marca Shimadzu, com uma velocidade de aquecimento de 10 °C/min. Para os ensaios de TG/DTG, realizados entre 25 °C e 900 °C sob atmosfera dinâmica de N₂ e de ar (50 mL/min), utilizou-se cadinho de platina contendo aproximadamente 6 mg de amostra. Para os experimentos de DSC, realizados entre 25 °C e 600 °C e sob atmosfera dinâmica de N₂ (100 mL/min), empregou-se cadinho de Al contendo aproximadamente 2 mg de amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise termogravimétrica

As curvas características das análises termogravimétricas TG e DTG da serragem de *B. vulgaris* representaram a perda de massa de 7,2% (sob atmosfera de N₂), conforme mostra a figura 1 e 9,6% (sob atmosfera de ar), conforme a figura 2, ambas na fase de liberação da água de umidade,

em função da elevação da temperatura entre 25 °C e 120 °C, aproximadamente. Observou-se, entre as temperaturas de 120 °C a 400 °C, uma perda de massa mais significativa na amostra, de aproximadamente 65%, correspondente à etapa de decomposição térmica do bambu, iniciando-se a fase de formação de carbono elementar.

Entre 400 °C e 550 °C, sob atmosfera de ar, observou-se uma rápida perda de massa de 24,5% devido à oxidação do material carbonáceo e formação de cinza com teor de 1,3%. Porém, sob atmosfera de N₂ a eliminação do carbono elementar ocorreu lenta e parcialmente entre 400 °C e 900 °C ($\Delta m = 16,9\%$).

Esse comportamento foi atribuído a mecanismos cinéticos de carbonização, onde os fatores tempo e temperatura influem diretamente na transferência de calor através da camada de carvão já formada, partindo-se da propagação do calor exterior pela superfície da serragem por condução, iniciando o processo de pirólise, seguido do movimento dos gases, por convecção, na direção oposta à transferência de calor, iniciando-se a formação do carvão, sem os componentes voláteis na estrutura.

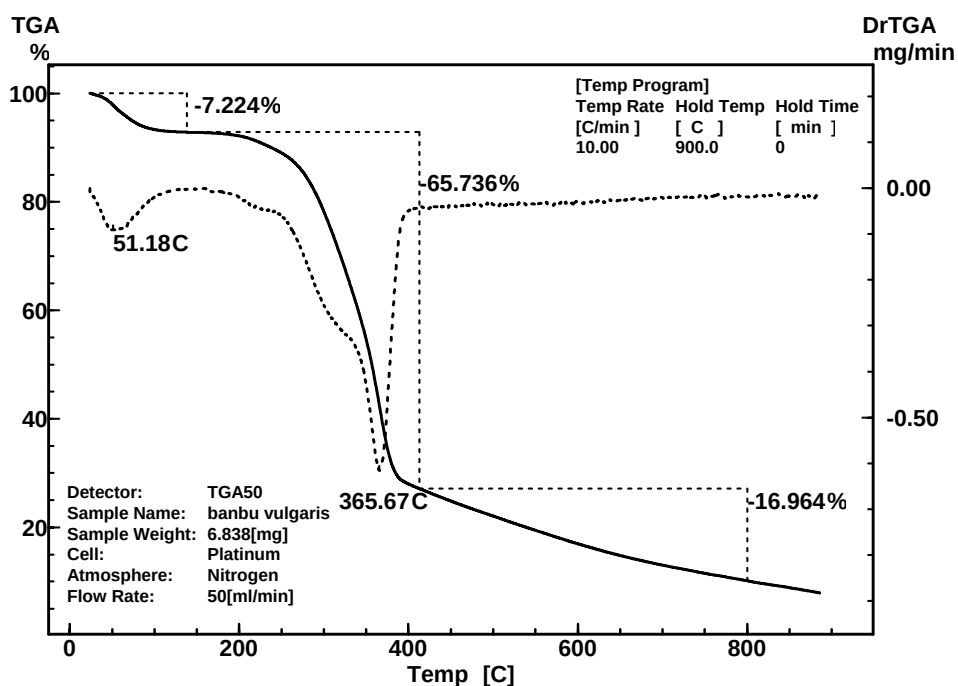


Figura 1 – Curva TG/DTG, aquecimento de 10 °C/min sob atmosfera dinâmica de N₂ sintético (50 mL/min), da serragem do *B. vulgaris*.

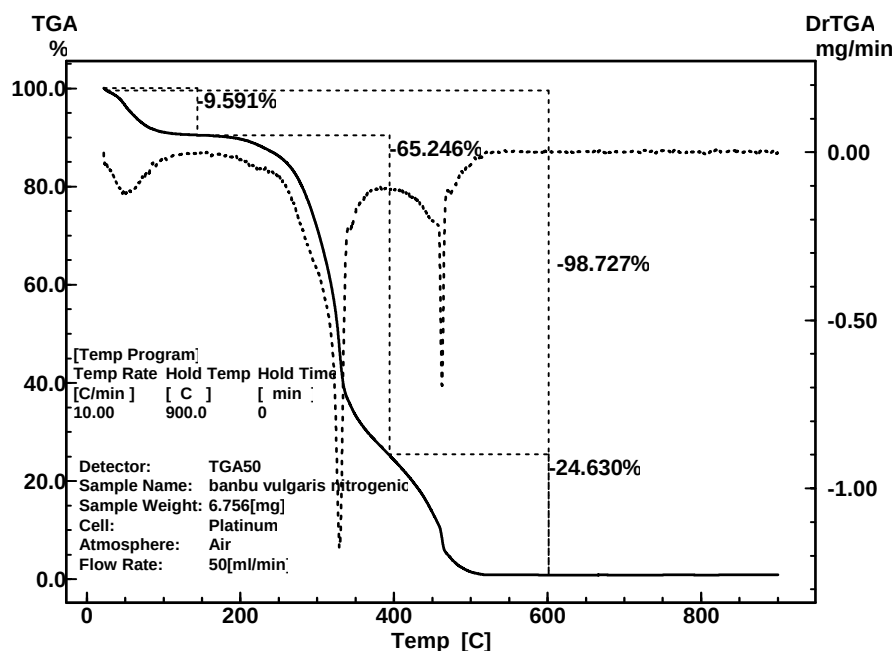


Figura 2 – Curva TG/DTG, aquecimento de 10 °C/min sob atmosfera dinâmica de ar sintético (50 mL/min), da serragem do *B. vulgaris*

Calorimetria Exploratória Diferencial

A curva DSC apresentada na Figura 3, fornece informações relevantes sobre a temperatura de início, de “onset”, em 50,01 °C, evidenciando a liberação de água no processo como endotérmico.

Na faixa acima de 300 °C iniciou-se a carbonização através de reações exotérmicas com a decomposição térmica do *B. Vulgaris*, aparecendo o pico exotérmico ($\Delta H = 468 \text{ J/g}$), à temperatura de 390°C. Os produtos obtidos nesta etapa estão sujeitos a reações secundárias, e são subprodutos com características combustíveis que incluem o alcatrão, CO e CH₄.

Com o conhecimento prévio desses valores foi possível escolher a temperatura inicial para a carbonização do *B. vulgaris* para obtenção do carvão vegetal, em escala laboratorial, podendo ser extrapolado para ensaios piloto comercialmente.

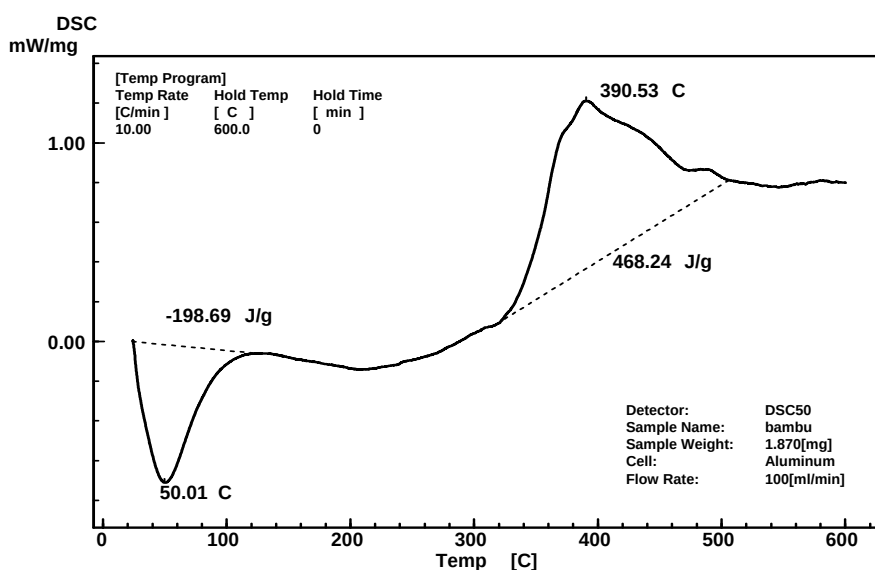


Figura 3 – Curva DSC da serragem do *B. vulgaris*

CONCLUSÕES

As curvas termogravimétricas do bambu refletem a soma dos comportamentos individuais da degradação térmica, sendo que a perda de peso acontece de forma gradativa. Em temperaturas inferiores a 400°C tem-se um maior teor de materiais voláteis. Acima de 400 °C, há o aparecimento do resíduo carbonoso, ou seja, identifica-se o teor de carbono fixo. Quanto maior a temperatura maior de tratamento térmico, maior será o teor de carbono fixo relacionado ao poder calorífico. Esta propriedade é de grande importância para a escolha da utilização comercial do carvão vegetal, como fonte de energia, caso venha a substituir combustíveis derivados do petróleo.

O conhecimento prévio das temperaturas de início e “onset” do bambu, permitiu a escolha da melhor condição de carbonização para obtenção de carvão vegetal, otimizando o tempo de produção e a energia necessária ao sistema.

A partir do conhecimento do comportamento da degradação térmica de amostras de bambu, foi possível identificar as fases de geração dos sub-produtos no processo de carbonização, aumentando o ciclo de vida do produto e suas aplicações para o mercado, com foco em ecoeficiência.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto Agronômico de Campinas, ao Prof. Anízio Azzini, pelo fornecimento do bambu, ao Prof. Dr. Antonio L. Beraldo, da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, e ao Prof. Dr. José Otávio Brito, do Depto de Ciências Florestais da ESALQ/USP pelo apoio de equipamentos para o desenvolvimento de parte das pesquisas deste trabalho.

REFERÊNCIAS

1. BEALL, F.C.; & EICKNER, H.W. **Thermal Degradation of Wood Components**; a review of the literature, s.l., Forest Products Laboratory, Forest Service, US Department of Agriculture, s.d. (1970), p. 22.
2. Brasília. **Balanco Energético Nacional** - BEN 2003, Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>> Acesso em 14 fev. 2004.
3. PENEDO, W.R.; **Produção e Utilização de Carvão Vegetal – aspectos técnicos**. Belo Horizonte, CETEC, 1982, p. 64.

THERMAL ANALYSIS APPLIED TO ECOEFFICIENCY STUDIES OF BAMBOO CARBONIZATION PROCESS

¹Costa, T.M.S., ²Martinelli, ³J.R., Matos, J.R.

Al. Barão de Limeira, 539, São Paulo – SP, CEP:01202-001, dalmolim@uol.com.br

¹Cleaner Production Centre - CPC - SENAI, São Paulo, SP, Brazil.

²Nuclear and Energy Resource Institute – IPEN, São Paulo, SP, Brazil.

³Chemistry Institute - USP, Thermal Analysis Laboratory Prof. Dr. Ivo Giolito – LATIG, São Paulo, SP.

ABSTRACT

The aim of this work was to determine the thermo degradation behavior of the bamboo specie Bambusa vulgaris Schard. by thermal analysis. The main parameters related to the charcoal quality and carbonization process were identified, such as phases and moisture contents, volatile amounts, fixed carbon and ash content, when bamboo is heated in the temperature range of 25 to 900°C. The derivative thermogravimetry (TG/DTG) and differential scanning calorimetry (DSC) curves were obtained at 10 °C/min. The DSC curves were determined in flowing nitrogen atmosphere (100 mL/min) in the range of 25 - 600°C. The TG/DTG curves were obtained in flowing nitrogen atmosphere and in air (50 mL/min) in the range of 25 - 900°C. The carbonization process based on the thermal degradation of bamboo, suggests a more adequate control of the atmosphere and temperature in the production and productivity processes of the charcoal.

Keywords: thermal degradation, bamboo, carbonization.