

## **Comportamento térmico de painéis particulados de bagaço de cana e bambu expostos à variação de temperatura.**

Taís Pitz Barbosa<sup>1</sup>, Martha Andreia Brand <sup>1</sup>, Ariton Araldi <sup>1</sup>, Thiago Henrique Mombach<sup>1</sup>,  
Giovanna de Oliveira Souza<sup>1</sup> e Paula Gabriella Surdi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Centro de Ciências Agroveterinárias(CAV) Lages / SC, Brasil, <sup>2</sup>Universidade Federal de Viçosa(UFV), Viçosa/MG, Brasil. [ariton.araldi@ifsc.edu.br](mailto:ariton.araldi@ifsc.edu.br).

**Resumo:** Este estudo realizou a análise termogravimétrica para determinar o comportamento de degradação térmica em painéis particulados feitos de diferentes matérias-primas: bagaço de cana de açúcar (*Saccharum officinarum* L.), bambu (*Dendrocalamus asper*), com adesivos de ureia-formaldeído (UF). Sete tratamentos foram analisados em uma balança termogravimétrica aquecida até 1000°C a uma taxa de 10°C por minuto. As curvas termogravimétricas (TG) e a derivada da perda de massa (DTG) foram utilizadas para avaliar a degradação térmica. Os resultados demonstraram que: (i) os painéis tratados com água quente foram termicamente mais estáveis; (ii) o tratamento composto exclusivamente de bambu foi termicamente mais estável do que os demais; quanto maior a quantidade de bagaço, houve redução gradativa da temperatura inicial da emissão e queima dos voláteis (2º inflexão), aumento da temperatura para o início da queima do carbono fixo (3º inflexão), e maior número de picos de temperaturas com maior velocidade de perda de massa.

**Palavras-chave:** Combustibilidade em painéis, variação da massa, comportamento térmico.

### **Analysis of the Behavior of Particulate Panels Exposed to Temperature Variation**

**Abstract:** This study performed the thermogravimetric analysis to determine the thermal degradation behavior in particulate panels made of different raw materials: sugarcane bagasse (*Saccharum officinarum* L.), bamboo (*Dendrocalamus asper*), with urea-formaldehyde (UF) adhesives. Seven treatments were analyzed on a thermogravimetric scale heated to 1000°C at a rate of 10°C per minute. The thermogravimetric (TG) and mass loss derivative (DTG) curves were used to evaluate the thermal degradation. The results showed that: (i) the panels treated with hot water were more thermally stable; (ii) the treatment composed exclusively of bamboo was thermally more stable than the others; the greater the amount of bagasse, there was a gradual reduction in the initial temperature of the emission and burning of volatiles (2nd inflection), an increase in the temperature for the beginning of fixed carbon burning (3rd inflection), and a greater number of temperature peaks with a higher speed of mass loss.

**Keywords:** Combustibility in panels, mass variation, thermal behavior.

## 1. INTRODUÇÃO

A partir do aumento do consumo de madeira para diversas atividades no cotidiano, surgiu a necessidade de se criar uma alternativa sustentável e econômica. Desta forma, foram criados os painéis de madeira particulados. Eles podem ser produzidos a partir de resíduos de madeira processada e algum adesivo para fazer a fixação das partículas uma na outra. Segundo De Paula Protásio et al. (2015), os painéis de madeira, especialmente os aglomerados, permitem melhor aproveitamento da matéria-prima lignocelulósica e apresentam certas vantagens em relação a outros materiais convencionais, por serem renováveis e biodegradáveis.

A resina mais comumente utilizada é a ureia-formaldeído. Devido a seu baixo custo, alta velocidade de cura, pouco desenvolvimento de cor e resistência à chama Essmann (2008). No entanto, esses adesivos, quando em uso ou quando expostos à incêndios emitem gases tóxicos, são prejudiciais à saúde humana e animal.

Segundo Mackenzie (1979), a análise térmica compreende um grupo de técnicas que medem a variação em uma propriedade física de uma amostra submetida a uma programação controlada de temperatura. A análise termogravimétrica (TGA) é a técnica que confere a propriedade de variação de massa de um material em função de temperatura programada por um determinado tempo, avaliando sua decomposição (Denari; Cavalheiro, 2012). Já a Termogravimetria Derivada (DTG) é um arranjo matemático no qual a derivada da variação de massa em relação ao tempo ( $dm/dt$ ) é registrada em função da temperatura ou tempo.

Portanto, uma questão de pesquisa que pode ser levantada é: O comportamento dos painéis a elevadas temperaturas pode ser determinado com base na análise do comportamento térmico como a análise termogravimétrica? Com base neste pressuposto, a hipótese que se coloca é que a análise termogravimétrica se constitui em uma ferramenta adequada para entender as emissões de gases que ocorrem durante a degradação térmica dos painéis reconstituídos de madeira. Assim, o objetivo deste estudo foi determinar o comportamento de perda de massa em painéis de madeira produzidos com diferentes matérias-primas, utilizando-se a técnica de termogravimétrica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A matéria-prima utilizada para a análise térmica foi composta por painéis com dimensões de aproximadamente 40,0 x 40,0 x 1,57 cm em largura, comprimento e espessura retirados de painéis particulados de bagaço de cana (*Saccharum officinarum* L.) e bambu (*Dendrocalamus asper*) material provenientes da tese de doutorado de Surdi, Paula Gabriella Surdi. O plano de estudo utilizado no presente experimento envolveu 7 tratamentos produzidos em laboratório onde foram testadas diferentes matérias-primas para a produção dos mesmos. Para a análise dos dados, os tipos e painéis foram separados em dois grupos (1 e 2) em função do tipo de matéria-prima utilizada para a produção dos painéis e de tratamentos aos quais foram submetidos.

Tabela 1: Caracterização dos tratamentos utilizados no estudo.

Grupo de análise	Tratamento	Descrição
1	FT3	100% part. de bagaço de cana – controle; 10% UF
	FT4	100% part. de bagaço de cana – tratada em água quente; 10% UF
2	FT9	100% partículas de bambu, 10% UF
	FT10	75% partículas de bambu + 25% partículas de bagaço; 10% UF
	FT11	50% partículas de bambu + 50% partículas de bagaço; 10% UF
	FT12	25% partículas de bambu + 75% partículas de bagaço; 10% UF
	FT13	100% partículas de bagaço; 10% UF

De cada tratamento foram retirados 3 corpos de prova de 2 x 2 x 2 cm, com massa aproximada de 1 g. Estes corpos de prova foram submetidos à análise termogravimétrica em uma balança termogravimétrica, modelo TGA 2000 (Automatic Multiple Sample Termogravimetric Analyser), marca NAVAS Instruments. O ensaio foi realizado com ar atmosférico, com fluxo de 2,5 L/m de ar sob taxa de aquecimento de 10°C/minuto, desde a temperatura ambiente até 1000°C.

De posse dos dados, foram construídas as curvas termogravimétricas (TG) para a perda de massa em função da temperatura e a curva da derivada primeira da perda de massa (DTG) para avaliar a velocidade de perda de massa. As duas curvas

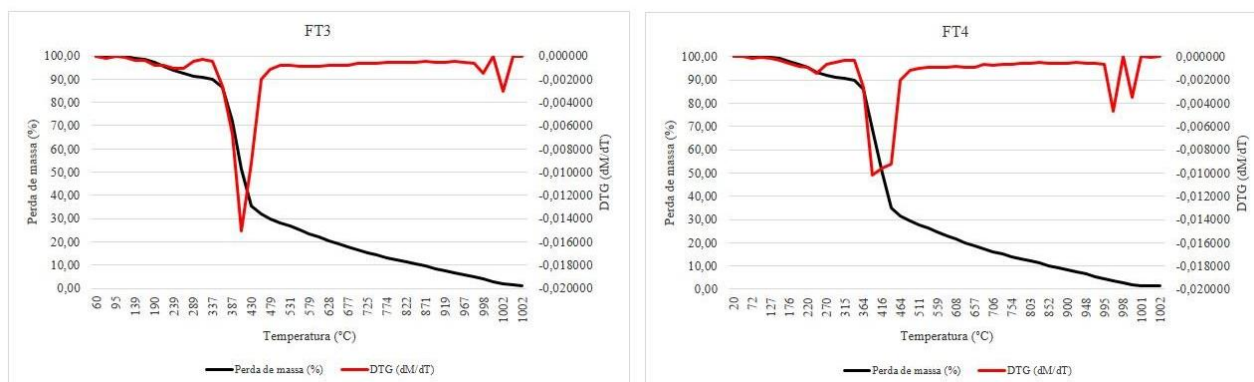
(TG e DTG) foram apresentadas em um mesmo gráfico, ou seja,  $dM/dT$  sendo considerada a temperatura de eliminação do pico.

Com base nos gráficos, das curvas de perda de massa, foram extraídas as temperaturas iniciais de degradação térmica e sua massa remanescente equivalente; e subsequentemente as temperaturas de cada inflexão de perda de massa da curva, com a massa remanescente para cada temperatura. Além disso, foi registrada a temperatura de ignição dos voláteis e a temperatura do término da queima dos voláteis. Para a curva da primeira derivada (velocidade de perda de massa) foram obtidas as temperaturas de cada pico de velocidade registrado.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, observa-se as curvas de perda de massa dos tratamentos do Grupo de análise 1 de acordo com a temperatura de degradação térmica desde a temperatura ambiente até 1000°C.

Figura 1: Curvas de TG (perda de massa) e DTG (velocidade de perda de massa) de painéis particulados de bagaço de cana sem tratamento prévio das partículas com água quente (FT3) e com tratamento prévio das partículas com água quente (FT4).



Na tabela 2 podem ser observados o número de picos, as temperaturas e a massa remanescente em cada inflexão significativa das curvas TG e DTG, bem como as temperaturas onde houve a maior velocidade de perda de massa para cada tipo de painel avaliado no grupo de análise 1.

Tabela 2 – Temperaturas e massa remanescente nas inflexões durante a degradação térmica

	Ti (°C)	MR (%)	Ti (°C)	MR (%)	TVPM (°C)		
	FT 3	FT3	FT4	FT4	FT3		FT4
IPM	69	99,85	100	99,85	1º pico	406	388
1º inflexão	166	98,46	149	99,10	2º pico		439
2º inflexão	337	90,10	342	90,07	3º pico		
3º inflexão	357 <sup>1</sup>	86,37	364 <sup>1</sup>	86,03	4º pico		
4º inflexão	430 <sup>2</sup>	35,44	439 <sup>2</sup>	35,06			
TEM (°C)	1002	1,32	1001	1,63			

<sup>1</sup> Ignição dos voláteis; <sup>2</sup> Fim da queima dos voláteis

Nota: IPM = Início da perda de massa; Ti = temperatura inicial (°C); MR = massa remanescente na temperatura inicial (%); TVPM = temperatura no ponto de maior velocidade de perda de massa (°C). TEM = temperatura da estabilização da massa.

Quanto aos painéis testados no presente estudo, compostos unicamente de bagaço de cana, a perda de massa iniciou entre 69°C à 100°C, sendo que a perda de massa foi de apenas 0,15% nesse estágio.

A diferença entre os dois tratamentos do Grupo de análise 1 (FT3 e FT4), consiste no fato de um ter as partículas tratadas com água quente antes da produção do painel e o outro não. O painel sem tratamento com água quente, começou a alteração da massa em temperatura menor do que o tratado com água quente. Este último permanecerá estável por mais tempo. Isso pode ter ocorrido em consequência da perda dos extrativos solúveis em água. Considerando a primeira inflexão, nota-se que o painel tratado em água quente, apesar de começar a degradação térmica em temperatura maior, teve sua massa estável por mais tempo. A partir da segunda inflexão, o comportamento não se alterou, sendo que os painéis com e sem tratamento, tiveram comportamentos iguais. As diferenças de comportamento ocorreram na fase inicial de degradação, comprovando o efeito dos extrativos sobre o comportamento térmico dos painéis no início do processo de degradação térmica.

Na tabela 3 e Figura 2 podem ser observados o número de picos, as temperaturas e a massa remanescente em cada inflexão significativa das curvas TG para cada tipo de painel avaliado no grupo de análise 2.

Tabela 3 - Temperaturas e massa remanescente nas inflexões durante a degradação térmica

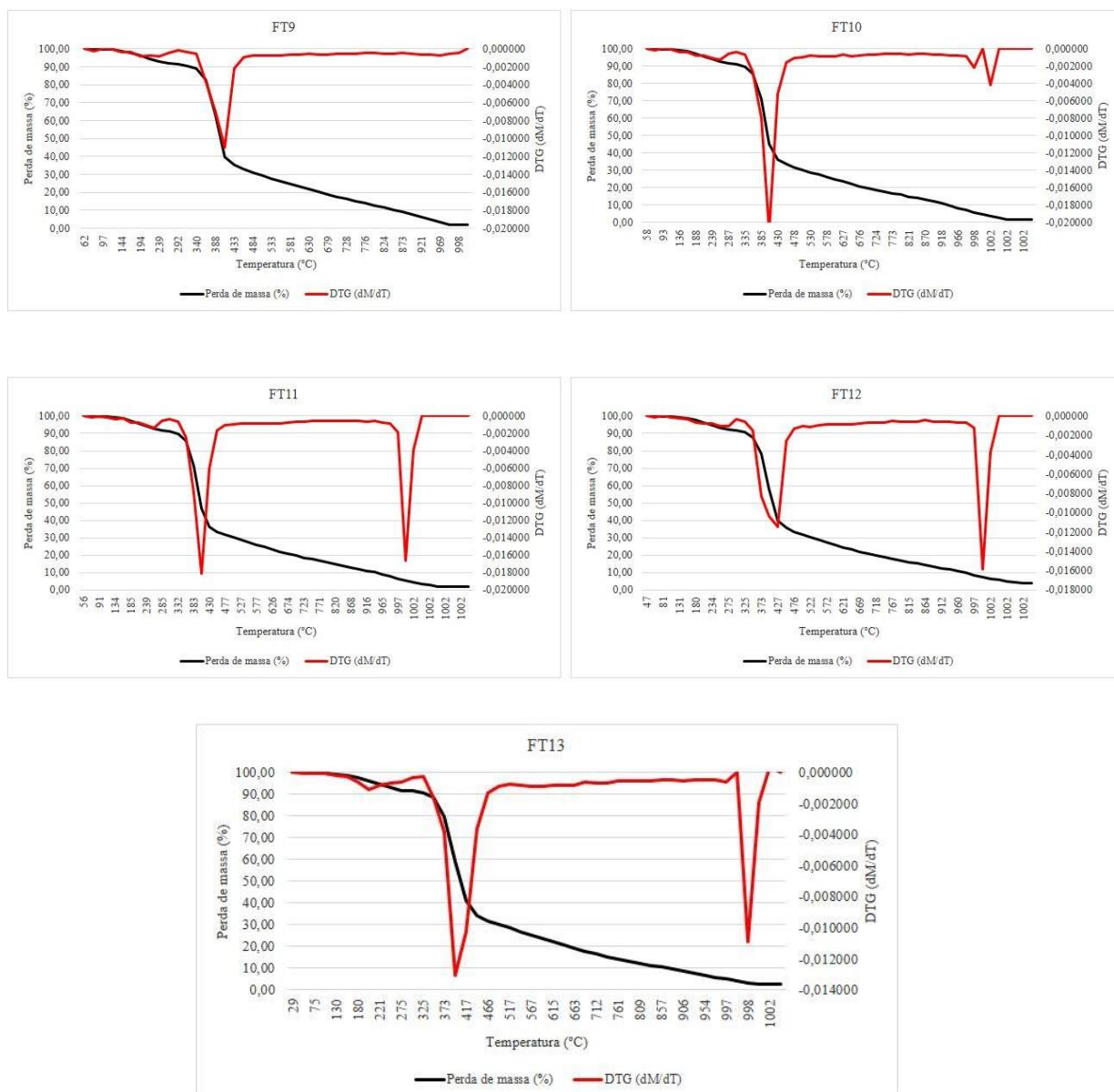
MR		MR		MR		MR		MR	
Ti (°C)	(%)	Ti (°C)	(%)	Ti (°C)	(%)	Ti (°C)	(%)	Ti (°C)	(%)



	Ti	MR	Ti	MR	Ti	MR	Ti	MR	Ti	MR
	FT9	FT9	FT10	FT10	FT11	FT11	FT12	FT12	FT13	FT13
IPM	70	99,79	69	99,87	69	99,87	69	99,86	68	99,88
1° inflexão	123	99,44	162	98,66	159	98,73	131	99,36	130	99,31
2° inflexão	340 <sup>1</sup>	88,98	335 <sup>1</sup>	89,87	332 <sup>1</sup>	89,95	325 <sup>1</sup>	90,82	325 <sup>1</sup>	90,82
3° inflexão	433 <sup>2</sup>	35,20	430 <sup>2</sup>	36,15	430 <sup>2</sup>	36,07	451 <sup>2</sup>	35,59	442 <sup>2</sup>	34,05
TEM	992	1,80	1002	1,69	1002	1,97	1002	3,98	998	2,76

<sup>1</sup> Ignição dos voláteis; <sup>2</sup>Fim da queima dos voláteis

Figura 2 - Curvas de TG (perda de massa) e DTG (velocidade de perda de massa).



Já na tabela 4 podem ser observadas as temperaturas onde houve a maior velocidade de perda de massa para cada tipo de painel avaliado no grupo 2.

Tabela 4 - Picos de velocidade de perda de massa na degradação térmica

	TVPM (°C)				
	FT9	FT10	FT11	FT12	FT13
1º pico	411	404	403	373	392
2º pico			998	403	416
3º pico				427	997
4º pico				998	

Neste conjunto, os tratamentos consistem de um painel feito unicamente de bambu, painéis onde foram adicionadas porcentagens de bagaço de cana ao bambu e um exclusivamente de bagaço. Foi possível também observar a influência que o bagaço de cana exerceu na perda de massa e no número de picos de maior velocidade de perda de massa durante a degradação térmica dos painéis. Assim, quanto maior a quantidade de bagaço, houve redução gradativa da temperatura inicial da emissão e queima dos voláteis (2º inflexão) e aumento da temperatura para o início da queima do carbono fixo (3º inflexão), além de haver maior número de picos de temperaturas com maior velocidade de perda de massa.

No entanto, na fase inicial, de perda de massa, que coincide com a secagem (saída da água na forma de vapor) foi similar para todos os tratamentos. Apesar disso, pode-se verificar uma tendência dos tratamentos puros serem mais estáveis do que os com as misturas.

Em termos de degradação térmica, os painéis de bambu são um pouco mais estáveis do que os demais. As diferenças mais significativas consistem na velocidade de perda de massa, sendo que com maior quantidade de bambu, o tratamento é mais estável à degradação térmica, e com mais bagaço a perda de massa inicia em temperaturas menores e há maior quantidade de picos de velocidade.

Neste estudo, a perda de massa dos tratamentos com adição de bagaço de cana, iniciaram em temperaturas de 99,87°C e 99,86°C, com perdas de 0,13 à 0,14% de sua massa no primeiro estágio. Desta forma, conclui-se que estes painéis são mais estáveis do que os primeiros. No segundo estágio de degradação, a perda de massa total ocorreu nas temperaturas de 335°C, 332°C e 325°C nos tratamentos FT10, FT11

e FT12. Nestes, o percentual de perda de massa total foi de 75,29%, 75,45% e 74,16%.

Com relação a temperatura de máxima velocidade de perda de massa, as temperaturas foram de 404°C, 403°C e 373°C, confirmando os resultados já esperados, de que os painéis do presente estudo são estáveis termicamente.

#### 4. CONCLUSÃO

Quanto aos Grupos de análise 1, os painéis tratados com água quente foram termicamente mais estáveis do que os não tratados com água quente;

No que se refere ao Grupo de análise 2, o tratamento composto exclusivamente de bambu foi termicamente mais estável do que os demais, e quanto maior a adição de bagaço de cana.

#### 5. REFERÊNCIAS

DENARI, G. B.; CAVALHEIRO, E. T. G. **Princípios e aplicações de análises térmicas**. São Carlos: IQSC, 2012. 40 p.

DE PAULA PROTÁSIO, T., MENDES, R. F., SCATOLINO, M. V., MENDES, L. M., TRUGILHO, P. F., & DE MELO, I. C. N. A. **Estabilidade térmica de painéis aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar e madeira de Pinus spp.** Sci. For., v. 43, n. 107, p. 683-691, 2015.

ESSMANN, V. E. **Estudo da Reação de Cura de Resinas Uréia-Formol Por Espectrometria de Ressonância Magnética Nuclear**. Curitiba, 2008. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

MACKENZIE, R.C. **Thermochim. Acta**, 28, 1 (1979).