

# Transferência de calor através de painéis aglomerados de bagaço de cana, pinus e eucalipto

## Heat transfer through against panels of sugar cane, pinus and eucaliptus

DOI: 10.34140/bjbv5n2-037

Recebimento dos originais: 05/01/2023

Aceitação para publicação: 31/03/2023

### **Roberto Luiz de Azevedo**

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras- UFLA  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas- IFSULDEMINAS- Câmpus Machado  
Rodovia Machado Paraguaçu km 3, Santo Antônio, Machado-MG- Brasil  
roberto.azevedo@ifsuldeminas.edu.br

### **Edson R. S. Leite**

Doutor em Ciência e Tecnologia da Madeira Universidade Federal de Lavras-UFLA  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas- IFSULDEMINAS- Câmpus Machado  
Rodovia Machado Paraguaçu km 3, Santo Antônio, Machado-MG- Brasil  
edson.leite@ifsuldeminas.edu.br

### **Renato A. C. Oliveira**

Mestre em Educação pela Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas- IFSULDEMINAS- Câmpus Machado  
Rodovia Machado Paraguaçu km 3, Santo Antônio, Machado-MG- Brasil  
renato.candido@ifsuldeminas.edu

### **Rafael Sidney Orfão**

Eng.: Agrônomo pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sul de Minas- IFSULDEMINAS  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas- IFSULDEMIAS- Câmpus Machado  
Rodovia Machado Paraguaçu km 3, Santo Antônio, Machado-MG- Brasil  
rafaelsidney.o@hotmail.com

### **Rafael Farinassi Mendes**

Doutor em Ciência e Tecnologia da Madeira Universidade Federal de Lavras-UFLA  
Universidade Federal de Lavras-UFLA  
Trevo rotatório professor Edmir Sá Santos, s/n, caixa postal 3037- cep 37203-202 Lavras- MG - Brasil  
rafael.mendes@ufla.br

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar a transferência de calor, a temperatura de combustão e o calor específico de painéis de aglomerado feitos de bagaço de cana, pinus e eucalipto. Os painéis foram expostos a uma fonte de calor até a combustão e mantido por 30 minutos o fluxo de calor entre os materiais. Os resultados mostraram que a transferência de energia durante o aquecimento é maior para os painéis feitos de bagaço de cana-de-açúcar em comparação com os demais materiais.

**Palavras-chave:** Painéis, combustão, fluxo de calor.

## ABSTRACT

The objective of this work was to determine the heat transfer, the combustion temperature and the specific heat of agglomerate panels made from sugarcane bagasse, pine and eucalyptus. The panels were exposed to a heat source until combustion and the heat flow between the materials was maintained for 30 minutes. The results showed that the energy transfer during heating is greater for panels made from sugarcane bagasse compared to the other materials.

**Keywords:** Panels, combustion, heat flow.

## 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia de produção de painéis de partículas aglomeradas desenvolveu-se principalmente após a Segunda Guerra Mundial, em função da escassez da matéria-prima e, também, pela necessidade de reduzir perdas ocorridas tanto na indústria madeireira como na exploração florestal. No Brasil, a produção de painéis de madeira aglomerada teve início em 1966 (MENDES et al., 2003).

Esses painéis são geralmente fabricados a partir de partículas de madeira aglutinadas por adesivo sintético ou outro aglomerante, sendo o conjunto prensado a quente, por tempo suficiente para que a cura da resina se efetue.

A princípio, esses painéis também podem ser fabricados a partir de qualquer outro material lignocelulósico que lhes confira alta resistência mecânica e peso específico pré-estabelecido, já que a composição química dos materiais lignocelulósicos é semelhante à da madeira (ROWELL et al., 2000).

A utilização de materiais alternativos, tais como bagaço de cana deve ser considerado, uma vez que o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar. A primeira estimativa, da safra 2023/24, aponta para um aumento na produção de cana-de-açúcar, quando comparada à última safra. A estimativa é de crescimento de 4,4% em relação à safra 2022/23, resultando em uma produção de 637,1 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. (CONAB, 2023), cada tonelada de cana produz em média 259 kg de bagaço.

O desempenho térmico de painéis construtivos está vinculado ao estudo das propriedades térmicas e suas variáveis, as quais podem ser definidas pela condutividade térmica, massa aparente e pelo calor específico.

Segundo Costa (1974), em um espaço, sempre que houver uma diferença de temperatura entre duas regiões, esta tende a desaparecer devido ao fluxo de energia térmica. O primeiro a fazer um estudo

detalhado da transmissão de calor por condução foi o físico e matemático francês Joseph Fourier (1768-1830).

O calor transferido de uma face a outra, em um certo intervalo de tempo, chama-se de fluxo de calor, esta propriedade pode ser útil ao estudo de acumulação térmica, isolamento térmico e incêndios. Quanto à pesquisa de painéis de madeira ou de materiais lignocelulósico sobre o desempenho térmico e combustão destes materiais, pouco se conhece.

O objetivo deste estudo foi determinar a transferência de calor, a temperatura de combustão e o calor específico de painéis de aglomerado feito de bagaço de cana-de-açúcar, pinus e eucalipto.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAL E A CÂMARA COM ISOLAMENTO TÉRMICO

Para este estudo foram utilizados painéis aglomerados produzidos em escala industrial no Brasil com a madeira de pinus, a madeira de eucalipto e painéis aglomerados de bagaço de cana. Os três tipos de painéis foram produzidos com o adesivo ureia-formaldeído.

Os painéis foram cortados nas medidas de 22,2 x 19,7 x 1,5 cm (comprimento x largura x espessura, respectivamente). A umidade de cada peça foi determinada mediante o uso do medidor de umidade digital portátil de madeira da Instrutherm modelo MUMC-620 (Figura 1).

Figura 1. Medidor de umidade Instrutherm Modelo MUMC- 620



### 2.2 MEDIDORES DE TEMPERATURA

Os ensaios foram realizados com base em um projeto de uma câmara com isolamento térmico constituído para realizar o experimento com uma resistência de 1200 W e com pouca perda de calor para o ambiente externo.

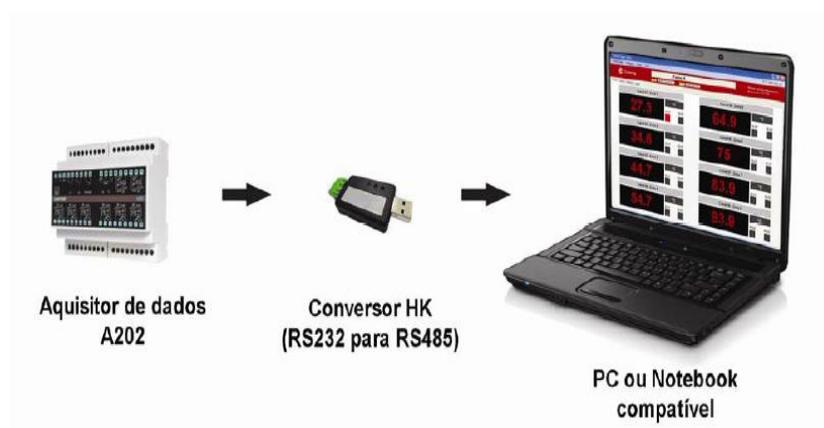
Foram instalados sensores de ambiente do tipo K no centro do painel, um do lado interno e outro do lado externo a fonte de calor.

O termopar é constituído por um termoelemento positivo (KP): Ni 90% Cr 10% (Cromel) e um termoelemento negativo (KN): Ni 95%, Mn 2%, Si 1%, Al 12% (Alumel), o intervalo de medição da temperatura é de 0 e 1200 °C.

As temperaturas foram registradas no aquisitor de dados Modelo A 202 versão 1.04, log de dados para até 2 MB de registro e monitoramento das variáveis analógica, ligado ao conversor USB D 50, comunicação RS 485a ao computador (figura 2).

Estes sensores foram conectados a um registrador de dados que recebeu os sinais enviados, temperaturas registradas a cada 30 segundos e em °C. A duração do tempo de ensaio foi determinada em 30 minutos. Adotou-se como padrão interromper o fornecimento e energia logo que houvesse a ignição das chamas (combustão).

Figura 2. Conversor e aquisitor de dados A202



### 2.3 DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ENERGIA

Sendo  $\Phi$  o fluxo de calor transmitido de uma face a outra, em um intervalo de tempo  $\Delta t$ , o fluxo de calor ( $\Phi$ ) é dado pela equação 1, onde os experimentos de Fourier mostram que:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t} = k \frac{A (\theta_1 - \theta_2)}{L} \quad (1)$$

Onde:

$\theta_1$  e  $\theta_2$  são as temperaturas das faces opostas da placa em (K), A área ( $m^2$ );

L é a largura da placa (m);

k é uma constante que depende do material e é denominada condutividade térmica do material, cuja a unidade de medida é:

$$k = \frac{J \cdot m}{s \cdot m^2 \cdot K} = \frac{J}{s \cdot m \cdot K} = \frac{J}{s} \cdot \frac{1}{m \cdot K} =$$

↓  
W

Fonte de calor é todo elemento capaz de produzir aumento na temperatura de um corpo, foi usado como fonte de calor uma resistência retangular de 1200 W ligada à uma tensão de 220 V e para a determinação da quantidade de calor produzida pela fonte de calor (resistência), foi utilizada a equação 3.

$$P = \frac{Q \text{ (Joule)}}{\Delta t \text{ (segundos)}}, \text{ onde } Q = m \cdot c_{\text{esp}} \cdot \Delta t \quad (3)$$

O calor específico dos painéis foram calculados pela equação 4, considerando o tempo de ignição das placas.

$$c_{\text{esp.}} = \Delta Q / m \cdot \Delta T \quad (\text{KJ/m} \cdot ^\circ\text{C}) \quad (4)$$

Para razão de compactação, que é a densidade do painel pela densidade do material lignocelósico, utilizou-se valores descritos em Mendes et al.,(2010).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS

Tabela 1. Valores médios de densidade, perda de massa e umidade.

<i>Placas</i>	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	CV (%)	Ubu (%)	Perda de massa (%)	Razão de compactação
Pinus	0,6478	0,91	14	10,00	1,5
bagaço de cana	0,6519	1,95	14	11,00	6,7
Eucalipto	0,6554	0,93	14	6,86	1,2

A Tabela 1 apresenta a densidade aparente média e a perda de massa além de informar que a umidade foi igual em todos os tratamentos. Quanto a densidade aparente, os painéis de aglomerado apresentaram valores próximos, mas os aglomerados feitos de pinus mostraram-se numericamente menor que os demais.

Os valores médios da densidade aparente dos painéis variam na faixa de 0,6411 g/cm<sup>3</sup> (bagaço de cana) a 0,6727 (bagaço de cana) g/cm<sup>3</sup>, desta forma todos os painéis podem ser considerados painéis de média densidade (MENDES et al., 2010).

A razão de compactação é uma propriedade a considerar na condução do calor, pois a relação entre a densidade do painel e a densidade do material lignocelulósico (MENDES et al. 2010), pode influenciar na porosidade e na condutividade térmica do material, interferindo assim na propagação de calor.

Na tabela 2 encontram-se as variáveis fundamentais para os objetivos deste estudo, como energia transferida de uma face a outra, o calor gerado pela fonte de calor, a temperatura e tempo de ignição, além do calor específico encontrados.

Tabela 2. Valores médios da transferência de calor, temperatura e tempo de ignição.

Placas	FLUXO (J/s)	Calor gerado pela fonte (KJ/s)	$\Delta t/W$ (%)	Temperatura de Ignição (°C)	Tempo Ignição (min)	C <sub>esp.</sub> KJ/Kg.°C
Pinus	21616	954	0,1969	325	13	5,259
bagaço de cana	22625	1251	0,0206	345	17	5,723
Eucalipto	18231	814	0,017	295	11	5,051

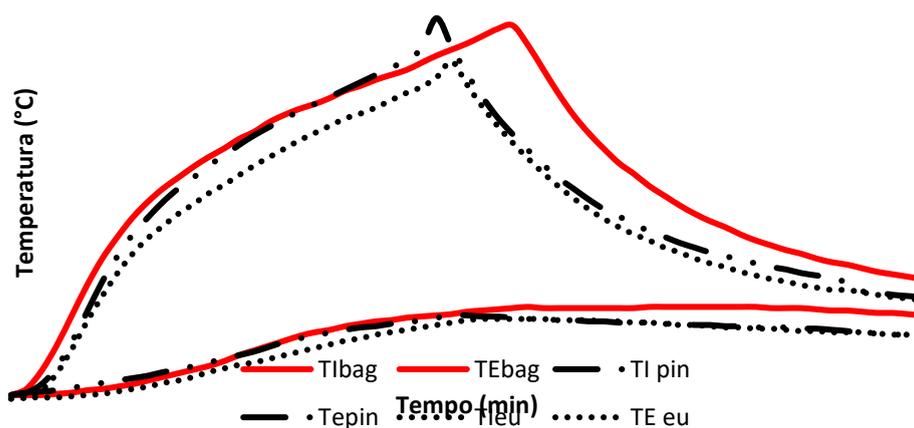
c<sub>esp.</sub>= Calor específico em KJ/Kg.°C.

O fator de compactação (Tabela 1) pode explicar a transferência de calor (Tabela 2) de uma face do painel a outra, quando submetida a uma fonte de calor. Observa-se que os painéis de bagaço de cana apresentaram a maior quantidade de energia fluindo entre as faces em 30 min, considerando que esta placa apresenta o maior fator de compactação e, por consequência, a menor porosidade, seguida pela placa de pinus com a segunda maior razão de compactação (1,5).

A capacidade de propagação de calor dependerá de sua estrutura porosa, pois, em estruturas porosas possibilita a formação de bolsões de ar em seu interior, este com baixa condutividade térmica, o que interfere na condução de calor.

### 3.2 COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA EM FUNÇÃO DO TEMPO

Figura 3. O comportamento da temperatura em função do tempo.



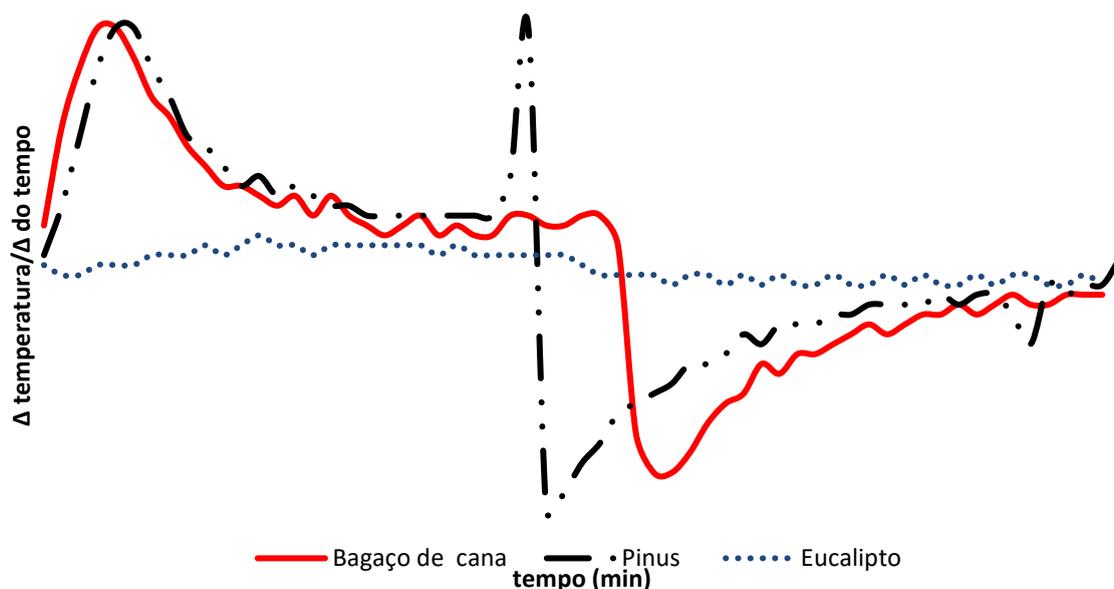
Tibag=Temperatura interna bagaço de cana,TEbag= Temperatura externa bagaço de cana, TIpín=temperatura interna pinus, temperatura externa pinus, TTeu=temperatura interna eucalipto, TEeu= temperatura externa eucalipto

O gráfico da Figura 3 mostra que o painel de bagaço de cana tem maior temperatura de ignição e calor específico.

A capacidade de aquecimento de um material representa a quantidade de energia térmica necessária para causar a troca de uma unidade de temperatura em uma unidade de massa deste material, fato de maior ocorrência com o painel de bagaço de cana, ou seja, a que teve maior calor específico (5,723 KJ/Kg.°C).

### Gráfico da variação da temperatura em função do tempo

Figura 4. Comportamento da temperatura com o tempo



Na figura 4, vê-se que o painel de bagaço de cana de açúcar e de pinus, apresentaram maiores taxa de aquecimento, necessitando de mais energia para elevação de temperatura em um intervalo de tempo maior e, em contrapartida, um maior período para seu resfriamento. No caso do bagaço isso pode ser evidenciado pelo seu maior calor específico (5,723 KJ/Kg.°C).

### 4 CONCLUSÃO

O painel de bagaço de cana de açúcar quando comparado aos painéis de pinus e eucalipto, possui a menor isolamento térmica devido, entre outros fatores, a sua menor porosidade, mas necessita de maior tempo e quantidade de energia para entrar em combustão, por este motivo apresenta um calor específico mais elevado entre os demais painéis, podendo ser utilizado como isolante térmico em foros e paredes internas de casas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos o apoio irrestrito da FAPEMIG, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, na concessão de bolsas aos alunos do Ensino Médio participantes da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

CONAB- **Acompanhamento safra brasileira cana-de-açúcar**. Vol.: 11 – Safra 2023/24, n.1 - Primeiro Levantamento, Brasília, p. 1-56, abr. 2023.

COSTA, E.C.D. **Física aplicada à construção: conforto térmico**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1974. 259 p.

MENDES, R.F.; MENDES, L.M.; GUIMARAES JUNIOR, J.B.; ABRANCHES, R.A.S.; SANTOS, R.C. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba.v.38, n.86, p.285-295, jun. 2010

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S. A indústria brasileira de painéis de madeira. **Revista da Madeira**, v. 1, n. 71, p. 12-12, 2003.

ROWELL, R.M.; HAN, J.S.; ROWELL, J.S. **Characterization and factors affecting fiber properties**. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A.L.; MATTOSO, L.H.C.