

# EFEITO DA ADIÇÃO DE BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR SOBRE AS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE PU DE MAMONA

**Ed-ek Soares SILVA (1); Jacques Cousteau da Silva BORGES (2);  
Manoel Leonel de OLIVEIRA NETO (3)**

(1) IFRN, Av. Senador Salgado Filho 1559, Natal/RN, CEP 59015-000: [edek.s.silva@gmail.com](mailto:edek.s.silva@gmail.com)

(2) IFRN – Campus João Câmara, João Câmara/RN, e-mail: [couteau.borges@ifrn.edu.br](mailto:couteau.borges@ifrn.edu.br)

(3) IFRN, Campus Natal Central, e-mail: [leonel.oliveira@ifrn.edu.br](mailto:leonel.oliveira@ifrn.edu.br)

## RESUMO

A preocupação com o destino de resíduos da agroindústria representa um campo de pesquisa para materiais compósitos, com a finalidade de reduzir o impacto ambiental e desenvolver novos materiais. Nessa direção, o presente trabalho discute os resultados preliminares das medições de condutividade térmica, difusividade térmica e capacidade calorífica de um compósito de matriz polimérica, obtido a partir da resina de óleo da semente de mamona com carga de bagaço da cana de açúcar. Este bagaço é oriundo de moendas de cana de açúcar para obtenção do caldo e fabricação de derivados. O bagaço foi obtido no seu estado pós-moagem e em seguida tratado, lavado em água deionizada, picotado e triturado em minitriturador. Posteriormente, foi feita a mistura com a resina de óleo de mamona por misturador rotativo em tempo sugerido pelo fabricante do produto. Após isto, a combinação foi colocada em moldes cilíndricos fechados de altura 17 cm e diâmetro de 7,5 cm, para a confecção de corpos de prova utilizados nos testes a serem realizados. Foram feitas medições de propriedades térmicas em corpos de prova com teor adicional de bagaço de cana em 5%, 10% e 15%. Nestas condições, foi possível concluir que os resultados apresentados mostraram que o compósito produzido possui valores das propriedades térmicas que estão no patamar dos isolantes térmicos comerciais. Além disso, a utilização do bagaço de cana para a produção de novos materiais representa uma alternativa de destino para a grande quantidade de resíduo gerado na indústria sucro-alcooleiras.

**Palavras-chave:** Compósito, Bagaço de Cana, Propriedades Térmicas, Meio ambiente.

## 1 INTRODUÇÃO

Aliado ao desenvolvimento científico e tecnológico deve estar a preocupação com o impacto ambiental causado pela utilização de novas tecnologias pelas indústrias. Pois, a globalização da Produção e do Mercado exige uma produção industrial em larga escala e em todos os setores, desde bens de consumo a produtos mais duráveis.

Deste modo, surge um imenso problema que é a grande geração de resíduos sólidos composto dos mais variados materiais, que resulta em poluição ambiental pela falta de uma finalidade para estes detritos. E em se tratando da agroindústria, a produção de resíduos continuará crescendo já que a produção de alimento é uma necessidade perpétua e os detritos gerados são geralmente queimados, o que polui o ar e o solo. Porém, nessa vertente, o uso de resíduos da agroindústria tem sido uma alternativa viável de matéria prima como reforço na produção de compósitos com matriz polimérica. E, em vista a grande produção de detritos deste tipo no Brasil a reutilização destes rejeitos industriais é uma maneira viável de preservar o meio ambiente.

Em se tratando da Agroindústria, pode-se destacar que segundo dados da Companhia Nacional de abastecimento (CONAB, 2010), o Brasil é o maior produtor mundial de cana de açúcar, com uma safra que em 2009 ultrapassou os 690 milhões de toneladas. Isto gera uma imensa carga de detritos que é o bagaço resultante da moagem da matéria prima. Nesse universo, o Estado do Rio Grande do Norte que é o campo desta pesquisa, representa apenas o décimo segundo lugar na produção de cana de açúcar e contribui com cerca de 4 milhões de toneladas no mesmo período. Mesmo assim, desconsiderando a grande quantidade de bagaço que é utilizada na geração de energia, ainda são descartadas dezenas de milhares de toneladas de bagaço de cana a cada safra (ANJOS, 2009).

Além do uso na geração de energia e alimentação para animais, há utilização do bagaço da cana de açúcar na fabricação de elementos de construção, como reforço de argamassa (PIRES SARMIENTO, 1996), na fabricação de painéis aglomerados (TEIXEIRA, 1997) e na fabricação de painéis em fibras longas (SILVA, 2006). Portanto a sua viabilidade é constatada como reforço em matrizes poliméricas principalmente, segundo os pesquisadores citados, quando passa por um tratamento adequado.

O crescimento nas pesquisas e no uso de materiais lignocelulósicos, como o bagaço da cana de açúcar, na fabricação de compósitos deve-se a flexibilidade de processamento, baixo custo e boas propriedades mecânicas. Além de ser um material renovável e biodegradável, o bagaço da cana pós-moagem é de fácil acesso em países tropicais como o Brasil. Este resíduo apresenta-se como uma alternativa aos materiais sintéticos utilizados na produção de compósitos poliméricos para isolamento térmica, uma vez que estes, além de agregarem altos custos na sua produção, a sua difícil degradação pode causar danos irreparáveis ao meio ambiente.

Nesta linha de pensamento, o presente trabalho apresenta-se como uma potencial alternativa ao uso do bagaço da cana de açúcar na produção de compósitos. Onde são apresentados e discutidos os resultados das medições das propriedades térmicas de um compósito com matriz a base de poliol de mamona para fins de isolamento térmica.

Na **figura 1** é mostrado o depósito de bagaço e de cinzas do bagaço de cana de açúcar na usina de estivas no estado do Rio Grande do Norte.



**Figura 1. Depósito permanente de bagaço e de cinzas da usina Estivas/RN**  
**Fonte: Anjos, 2009.**

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Materiais**

Para os testes a serem realizados foram produzidos corpos de prova utilizando bagaço da cana de açúcar e uma resina de poliol de mamona, que foi adquirida junto à empresa de Produtos Químicos do Nordeste (PROQUINOR, SA). Na confecção dos corpos, se utilizou a infra-estrutura dos laboratórios da UFRN e do IFRN, onde foram realizadas as medições das propriedades térmicas por meio do equipamento Quickline – 30.

Para a lavagem e secagem do bagaço de cana, foram utilizados o laboratório de materiais de construção da Diretoria do curso de Tecnologia da Construção Civil e o laboratório de pesquisa em resíduos sólidos da Diretoria de Educação e Ciência do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN – IFRN. Os experimentos para determinação das propriedades térmicas foram realizados no Laboratório de Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Este é situado no Núcleo de Tecnologia Industrial, numa sala com controle de temperatura que garantia uma variação máxima diária de  $\pm 2^\circ\text{C}$ .

## 2.2 Metodologia

O bagaço da cana de açúcar foi utilizado excluindo-se apenas a parte líquida e a sacarose que foi reduzida no processo de lavagem e secagem. Considerando que, nessas condições, o bagaço apresenta uma grande quantidade de açúcar, ele passou por um processo que consistiu de lavagens com períodos de trocas de água deionizada a cada 8h, por cerca de 32h, a fim de evitar a fermentação da água (SILVA, 2006). O bagaço foi exposto ao ambiente ensolarado por cerca de 8h, para em seguida ser colocado para secagem em estufa com temperatura em torno de 70°C, por cerca de 20h. Para facilitar a ação do triturador, o bagaço seco foi picotado com tesoura. Em seguida o material foi triturado em minitriturador com peneira ABNT/ASTM 850µm e peneirado em peneira ABNT/ASTM 425µm.

A segunda parte do composto, a matriz do compósito, é uma resina poliuretana expansiva à base de óleo de mamona, do tipo bi-componente. Esta consiste de um isocianato e um pré-polímero, que são misturados na proporção de 1:2 em massa. Segundo dados do fabricante, ela apresenta tempo de creme entre 32 e 35 segundos, tempo de evolução de 58 a 65 segundos e densidade média de 30 a 70 kg/m<sup>3</sup> (PROQUINOR, 2010). A resina utilizada neste trabalho é especificada como resina expansiva de densidade 40 kg/m<sup>3</sup> (RESPAN D – 40).

Comercialmente, tal resina já vem sendo empregada como material para isolamento térmica, principalmente devido ao seu processo de cura, que agrega bolhas de gás carbônico à estrutura final, formando assim, após a expansão, um material poroso e de baixa condutividade. Contudo, seu emprego têm se mostrado restrito, pois apresenta uma resistência mecânica que o torna ineficaz em diversas aplicações. A agregação de bagaço de cana como carga, vem trazer melhorias mecânicas a resina expansiva. Esta mistura forma assim um compósito totalmente de origem vegetal: (Mamona + Cana de açúcar). Um produto atrativo, por apresentar comportamento térmico semelhante a materiais sintéticos e ao mesmo tempo é renovável.

Para a mistura dos componentes (isocianato + pré-polímero + bagaço de cana) utilizou-se um misturador rotativo de bancada, considerando os tempos sugeridos pelo fabricante da resina. A mistura foi em seguida depositada em molde de PVC cilíndrico, fechado de comprimento 17,0 cm e diâmetro 7,5cm.

### 2.2.1 Preparação do bagaço de cana

O processo de obtenção do caldo da cana nas moendas resulta em um bagaço na forma de tiras esmagadas, com uma região constituída de vários colmos, onde se concentra resíduos de sacarose. Assim, esse bagaço deve ser levado ao laboratório para sofrer o processo de lavagem em água quente, destilada e/ou deionizada. Este processo consiste na imersão do bagaço na água em intervalos de tempo controlado para que se possa reduzir ao máximo o teor de sacarose, ao mesmo tempo em que a mudança de água evita uma possível fermentação da água. Após esse processo de lavagem, o bagaço é exposto em ambiente ensolarado por cerca de 8h para em seguida ser colocado em estufa em temperatura média de 70°C por 24h, como pode ser observado na **figura 2**. Segundo Silva (2006), temperaturas acima desse valor podem degradar as fibras do bagaço.



**Figura 2 – Secagem do bagaço em estufa**

Após o processo de secagem, o bagaço foi picotado com tesoura para se adequar ao minitriturador. Nas **figuras 3a e 3b**, pode ser observado o bagaço picotado e triturado.



**Figura 3 – (a) Bagaço picotado pronto para ser levado ao minitriturador (b) Bagaço triturado**

### 2.2.3 Preparação dos corpos de prova

Após o processo de picotagem, o bagaço de cana foi peneirado em peneiras ABNT/ASTM 425 $\mu$ m, de modo que os corpos de prova foram fabricados em duas granulometrias: partículas retidas na peneira do minitriturador (< 850 $\mu$ m) e partículas retidas na peneira (< 425 $\mu$ m). O material foi novamente acondicionado em sacos plásticos e as quantidades necessárias à fabricação dos corpos de prova foram levadas à estufa para uma secagem adicional.

Os corpos de prova foram fabricados adicionando-se à matriz de poliuretano de mamona, teores de bagaço de cana em 5%, 10% e 15% em massa.

A matriz é uma espuma formada a partir da reação exotérmica entre um poliol e um pré-polímero (isocianato) que acontece na razão de 1:2 em massa, onde o grupo hidroxila reage com as cadeias do isocianato e libera CO<sub>2</sub> no processo, que é o principal responsável pela expansão do material. À medida que a matriz se expande agrega gás carbônico na forma de pequenas bolhas/poros em seu interior. Na primeira etapa da reação, que é logo após a expansão, a liberação de energia do processo exotérmico diminui e passam a se formar cadeias orgânicas mais extensas, com varias ramificações. São essas cadeias que dão a resistência mecânica à matriz sem carga, que após essa etapa final da cura adquire um aspecto sólido, em detrimento ao pastoso da etapa exotérmica (BORGES, 2009).

Como as condições de uso são diferentes daquelas informadas pelo fabricante, o potencial de expansão precisou ser determinado para as condições específicas da pesquisa. Deve-se considerar ainda que a matriz sem carga possua um potencial de expansão que pode sofrer modificações com a adição do bagaço de cana. Pois, ao se adicionar o resíduo da cana de açúcar são inseridos elementos capazes de participar dos processos químicos envolvidos, como o grupo hidroxila presente nos álcoois da cana que é um grupo característico dessa classe de estrutura orgânica. Além disso, os particulados de cana de açúcar passam a integrar a micro-estrutura do material, interferindo no potencial de expansão. Portanto, para determinar o potencial de expansão foram realizados ensaios preliminares, que apontaram valores de até 12 vezes o volume inicial da amostra, como se pode observar na **tabela 1**.

**Tabela 1 – Potencial de expansão da resina expansiva RESPAN D - 40**

Componentes (g)	Volume Inicial (cm <sup>3</sup> )	Desperdício (g)	Resíduo (g)	Volume Expandido (cm <sup>3</sup> )	Potencial de Expansão
30,0	33,3	1,56	0,41	345	10,4
45,0	50,0	1,65	0,48	565	11,3
60,0	66,6	2,00	0,30	785	11,8
75,0	83,3	2,53	0,65	1015	12,2
Valor Médio					11,2



Esses valores ficaram muito próximos quando o ensaio foi realizado com o compósito PU – Bagaço de cana de açúcar. A **figura 4** permite observar os corpos de prova obtidos no referido ensaio. Exceção apenas para o teor de 15% de bagaço de cana.



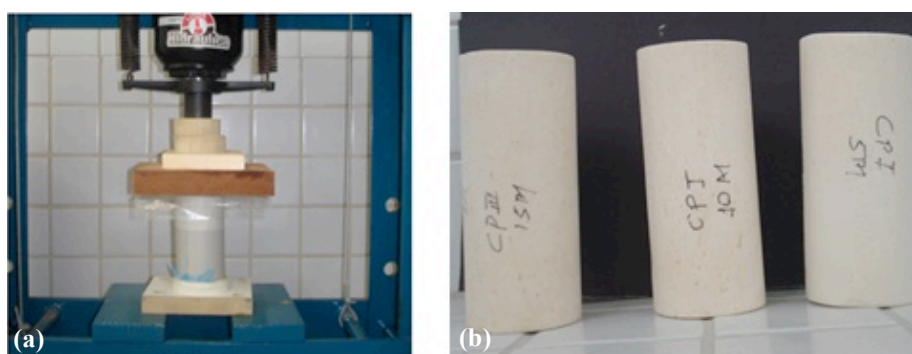
**Figura 4 – Corpos de prova do potencial de expansão**

Com base nos resultados do cálculo do potencial de expansão foram produzidos corpos de prova em molde fechado, o que permite o controle do volume a ser expandido. Estes corpos de prova foram produzidos sob pressão em torno de 20% além do volume que seria expandido em molde aberto, sobre pressão normal. Os valores das massas usados na fabricação dos corpos de prova estão dispostos na **tabela 2**. Aos valores dessas massas foram levados em conta cerca de 6% de massa residual do componente B durante o processo de mistura.

**Tabela 2 – Massas dos componentes na produção das amostras**

Carga (%)	Componente A (g)	Componente B (g)	Bagaço (g)	Total (g)
5	25	50	3,75	78,75
10	25	50	7,50	82,50
15	25	50	11,25	86,25

Na **figura 4a** pode ser observada a moldagem com controle do volume expandido e na **figura 4b** exemplares dos corpos de prova produzidos.



**Figura 4 – (a) Moldagem, (b) Corpos de Prova**

### 2.2.5 Medição das propriedades térmicas

Durante o processo de moldagem, os corpos de prova adquirem uma fina película “plástica” superficial, que foi retirada para a realização das medições de propriedades térmicas. Estas medições foram feitas através de medidor *Quickline – 30* com sonda de agulha para condutividade térmica, na faixa de 0,015 a 0,200 W/m.K, adequada a faixa de condutividade do compósito produzido. A **figura 5** apresenta o processo de medição das propriedades térmicas.



**Figura 5 – Medição das propriedades térmicas no Quickline - 30**

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Densidade aparente

Nesta fase da pesquisa a análise das propriedades térmicas do material com fins de isolamento térmica foi feita com base no teor de carga usado no poliuretano de mamona. Para isto foram realizadas medições de densidade aparente dos corpos de prova nas condições em que foram feitas as medições das propriedades térmicas. Na **tabela 3** encontram-se os valores obtidos neste ensaio para todo o bagaço retido na peneira do minitriturador (CPM) e o bagaço retido na peneira ABNT/ASTM 425 $\mu$ m (CP+).

**Tabela 3 – Densidade aparente dos corpos de prova**

Carga (%)	$\rho$ CP+ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$ CPM( kg/m <sup>3</sup> )
5	93,56	102,7
10	98,97	103,6
15	108,7	110,9

Com base nos dados apresentados na **tabela 3**, constata-se um aumento na densidade aparente com o aumento do teor de bagaço, independente da granulometria do bagaço. Acredita-se que uma vez que a carga foi adicionada ao bagaço, mantendo-se o volume constante no processo de fabricação, houve uma redução nos espaços da espuma do poliuretano, certamente ocupados pelos particulados do bagaço de cana de açúcar. Na formulação, onde se inclui granulometrias maiores e menores do que 425 $\mu$ m (CPM), o aumento da densidade ocorre de forma mais acentuada. Esse aumento pode ter sido causado pelas partículas muito pequenas (pó) ocupando de forma mais acentuada os espaços da espuma de poliuretano.

#### 3.2 Propriedades térmicas

Os valores das propriedades térmicas obtidos para as duas granulometrias são apresentados na **tabela 4**.

**Tabela 4 – Propriedades térmicas dos compósitos**

Carga (%)	k (W/m.K)		$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s)		c (J/m <sup>3</sup> .K)	
	CPM	CP+	CPM	CP+	CPM	CP+
5	0,0390	0,0388	0,314	0,324	0,124	0,119
10	0,0403	0,0398	0,320	0,323	0,126	0,123
15	0,0412	0,0412	0,342	0,326	0,106	0,126

Com base nos dados apresentados na **tabela 4**, constata-se que apesar de sofrer um pequeno aumento com o aumento do teor de bagaço de cana, os valores das propriedades térmicas sofreram alterações pouco significativas com relação as granulometrias estudadas. Entretanto, com relação ao coeficiente de condutividade térmica, os valores obtidos apresentaram valores compatíveis com alguns materiais de isolamento térmica comerciais como a lã de vidro e o poliuretano de petróleo, ambos medidos por Borges 2009.

#### 4 CONCLUSÕES

No presente trabalho foi analisada e discutida a influência da adição do bagaço de cana de açúcar sobre as propriedades térmicas de um compósito poliuretânico de matriz de óleo da semente de mamona. Trata-se de uma análise preliminar, mas os resultados obtidos permitem concluir que:

- A condutividade térmica aumenta com o aumento do teor de bagaço de cana;
- As granulometrias utilizadas influenciaram na densidade, mas não influenciaram significativamente nos valores das propriedades térmicas do compósito;
- Os valores obtidos para o coeficiente de condutividade térmica são compatíveis com alguns isolantes térmicos comerciais na categoria de poliuretanos;
- O uso do bagaço da cana de açúcar como carga de compósitos poliuretânicos pode ser mais uma alternativa nobre ao destino do bagaço gerado nas usinas sucro-alcooleiras.

#### 5 REFERÊNCIAS

ANJOS, M. A. S. **Adição de biomassa de cana de açúcar em pasta de cimentação de poços petrolíferos produtores de óleos pesados**. 2009. 171p. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.

BORGES, J. C. S. **Compósito de poliuretano de mamona e vermiculita para isolamento térmica**. 2009. 80p. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**: Acompanhamento da safra brasileira, levantamento Janeiro 2010. Brasília, 39p, 2010.

PROQUINOR. **Produtos Químicos do Nordeste LTDA**. CD interativo da proquinor, 2007. 1 CD-ROM.

RAMIRES SARMIENTO, C. **Argamassa de cimento reforçada com fibras de bagaço de cana de açúcar e sua utilização como material de construção**. 1996. 105p. Dissertação, Universidade de Campinas (UNICAMP).

SILVA, A. J. P. **Aplicação de partículas longas e orientadas de bagaço de cana de açúcar na produção de painel particulado similar ao OSB**. 2006. 167p. Tese, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2006.