

**SECAGEM DE BAGAÇO DE CANA OBTIDO EM DUAS CONDIÇÕES DIFERENTES DE TEOR DE UMIDADE**

LETÍCIA FERNANDES DE OLIVEIRA<sup>1</sup>, POLIANA GASPAR TOSATO<sup>2</sup>; MARCOS FAGNER MEIRA RIBEIRO<sup>3</sup>, BRUNO ELYEZER FONSECA<sup>4</sup>; ANA GABRIELA DA SILVA CARVALHO<sup>5</sup>, JEFFERSON LUIZ GOMÊS CORRÊA<sup>6</sup>

**RESUMO**

O potencial energético do bagaço de cana vem sendo cada vez mais explorado. Uma das formas para o aumento de seu poder enérgico é através de sua pré-secagem. O presente trabalho estudou a secagem de bagaço de cana do pátio e daquele provindo diretamente da moenda em secador ciclônico. Os experimentos de secagem foram gerados com base em planejamento experimental, sendo as variáveis independentes a temperatura do ar de secagem (35 a 275°C) e a vazão mássica de bagaço ( $10 \times 10^{-3}$  a  $29 \times 10^{-3}$  kgs<sup>-1</sup>), mantendo-se a velocidade do ar constante. As variáveis dependentes foram a redução do teor de umidade e o tempo de residência das partículas no secador. Os resultados mostraram que o aumento da temperatura leva a um aumento da redução do teor de umidade. Já o aumento da vazão de sólidos leva a uma diminuição da redução do teor de umidade e do tempo de residência.

**Palavras-chaves:** Secador ciclônico, Bagaço de cana, Secagem, Pátio, Moenda

**INTRODUÇÃO**

A biomassa como fonte de energia vem sendo cada vez mais explorada por representar uma alternativa ao alívio da pressão em recursos finitos de combustíveis fósseis e pelas suas propriedades ambientais positivas, resultando na redução da emissão de gases poluentes. Em seu cenário mais intenso a energia da biomassa irá contribuir modernizando até 2050 cerca de metade da demanda total da energia em países em desenvolvimento (DEMIRBAS, 2008).

Dentre os tipos de biomassa, o bagaço de cana de açúcar é um material muito importante, devido a sua alta produtividade pelas usinas sucroalcooleiras e por poder ser utilizado na produção de eletricidade por meio da co-geração. Além disso, ainda possui como vantagem o fato de o Brasil ser o único que domina todos os estágios da tecnologia de produção da cana-de-açúcar, apresentando uma cadeia bem organizada (VIDAL et al., 2006).

Sendo assim é de extrema importância a procura de novas técnicas e tecnologias para o melhor aproveitamento deste resíduo. O bagaço de cana normalmente é queimado em caldeira logo após sua saída da moenda, contendo cerca de 50% (b.u.) de umidade, ou, no período da entre safra, utiliza-se aqueles armazenados no pátio, com cerca de 70% (b.u.) de umidade. No entanto, o alto teor de umidade do resíduo pode provocar uma ignição pobre e a redução da temperatura de combustão, o que impede a combustão dos produtos de reação e, conseqüentemente afeta a qualidade desta (HELLWIG, 1985 apud WERTHER et al., 2000, p. 4).

Uma alternativa para o aumento do potencial energético do bagaço é através de uma simples pré secagem, e para este fim o ciclone se torna um equipamento atrativo, por ser de baixo custo, com

---

<sup>1</sup> Doutoranda em Ciência dos Alimentos, DCA/ UFLA, letferol@yahoo.com

<sup>2</sup> Mestranda em Ciência dos Alimentos, DCA/ UFLA, pgtosato@hotmail.com

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia de Alimentos, DCA/UFLA marcosfagnermao@gmail.com

<sup>4</sup> Graduando em Engenharia de Sistemas, DCA/UFLA brunoelyezerfonseca@yahoo.com

<sup>5</sup> Graduanda em Engenharia de Alimentos, DCA/UFLA anagabi87@bol.com.br

<sup>6</sup> Professor Adjunto, DCA/UFLA, jefferson@dca.ufla.br

ausência de partes móveis e possibilidade de uso a pressões e temperaturas altas (NEBRA, 1985; SILVA & NEBRA, 1997; NEBRA et al., 2000).

O objetivo deste trabalho foi o estudo da secagem de bagaço de cana, proveniente diretamente da moenda e o do armazenado em pátio, em secador ciclônico em diferentes condições de temperatura e vazão de sólidos.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Matéria prima

O bagaço proveniente do pátio e o obtido diretamente da moenda foram gentilmente cedidos pelas Usinas Junqueira (Iguarapava/SP) e Santa Lúcia (Araras/SP), respectivamente. O primeiro com um teor de umidade inicial de 74,52% (b.u.) e o segundo com 51,72% (b.u.).

### Sistema experimental

A Figura 1 representa um esboço do sistema experimental e do secador ciclônico, com suas respectivas dimensões, utilizado para secagem de bagaço de cana. Sendo o sistema experimental composto por ciclone, coletor de sólidos, alimentador Venturi, esteira elétrica, aquecedor, placa de orifício, soprador. Todo o sistema foi revestido por lã de rocha, com espessura de 10 cm, e alumínio corrugado para manutenção da temperatura.

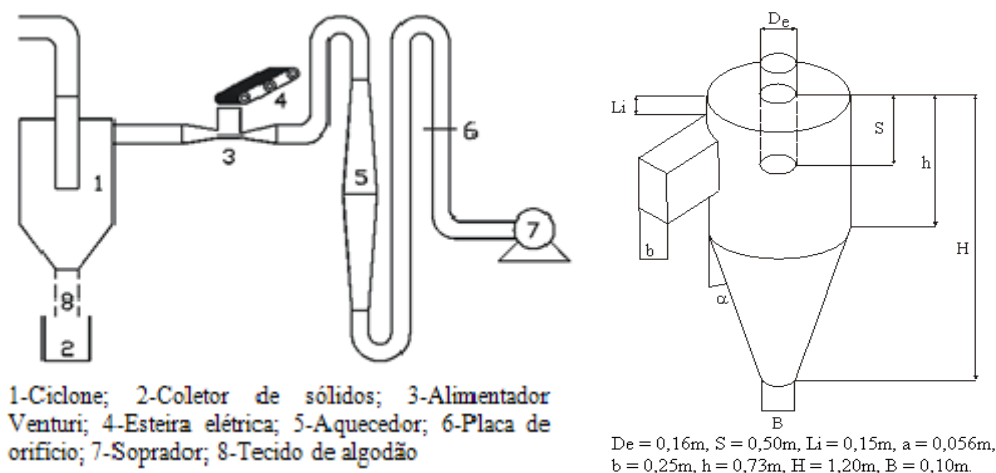


Figura 1 – Esboço do sistema experimental e dimensionamento do secador ciclônico

### Procedimento de secagem

Para secagem em ciclone do bagaço, seguiu-se um planejamento experimental, para cada um destes (Usina Junqueira e Usina Santa Lúcia), sendo o planejamento baseado no método superfície de resposta, com um delineamento composto central rotacional, ou seja,  $2^2$  incluindo 4 ensaios nas condições axiais e 3 repetições no ponto central, totalizando 11 ensaios para cada Usina. Os níveis utilizados e os ensaios experimentais se encontram na Tabela 1.

**XIX CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA**  
**27 de setembro a 01 de outubro de 2010**

Tabela 1- Delineamento experimental para os ensaios de secagem de bagaço de cana.

Ensaio	Variáveis codificadas		Variáveis reais	
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>
1	-1	-1	70	5
2	+1	-1	240	5
3	-1	+1	70	25
4	+1	+1	240	25
5	-1,41	0	35	15
6	+1,41	0	275	15
7	0	-1,41	155	1
8	0	+1,41	155	29
9	0	0	155	15
10	0	0	155	15
11	0	0	155	15

Onde X<sub>1</sub> corresponde à temperatura do ar [°C] e X<sub>2</sub> a vazão mássica do bagaço de cana [10<sup>-3</sup> kg s<sup>-1</sup>].

### Variáveis analisadas

As variáveis independentes analisadas foram a redução da umidade e o tempo de residência.

O tempo de residência foi obtido conforme equação 1. Sendo este dependente da medida da massa remanescente do sólido (m<sub>r</sub>), que é feita ao se cortar simultaneamente as alimentações de sólido e de gás, e da vazão mássica de sólidos (W<sub>p</sub>).

$$t_{res} = \frac{m_r}{W_p} \quad (1)$$

A redução do teor de umidade foi calculada conforme equação 2.

$$RU = \frac{X_i - X_0}{X_i} \quad (2)$$

onde X<sub>i</sub> representa o teor de umidade do bagaço de cana antes de entrar no sistema pelo alimentador Venturi e X<sub>0</sub> o teor de umidade do bagaço logo após secagem em ciclone. Sendo que a medida do teor de umidade final do bagaço procedeu-se por secagem em estufa à 105°C, até obtenção de peso constante.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em vista dos resultados experimentais das variáveis estudadas na análise de variância, determinou-se o coeficiente de correlação (R<sup>2</sup>) e obtiveram-se modelos codificados, onde, dos modelos completos, eliminaram-se os coeficientes não significativos (p > 0,05), resultando os modelos ajustáveis para a redução de umidade (RU) e o tempo de residência (t<sub>res</sub>), representados na Tabela 2.

Tabela 2 - Modelos ajustáveis e coeficientes de variação da secagem do bagaço de cana em secador ciclônico.

MODELOS AJUSTÁVEIS	$R^2$
<b>Usina Junqueira</b>	
$RU = 0,081 + 0,071X_1 - 0,042X_2$	90%
$t_{res} = - 1,969 X_2$	72%
<b>Usina Santa Lúcia</b>	
$RU = 0,177 + 0,083 X_1 - 0,147 X_2 + 0,090 X_2^2$	93%
$t_{res} = - 3,830 X_2$	72%

A partir do modelo obtido, foi possível construir as superfícies de resposta para a RU e o  $t_{res}$ , apresentadas nas Figuras 2 e 3, que permitem visualizar as melhores condições para as variáveis independentes utilizadas neste projeto.

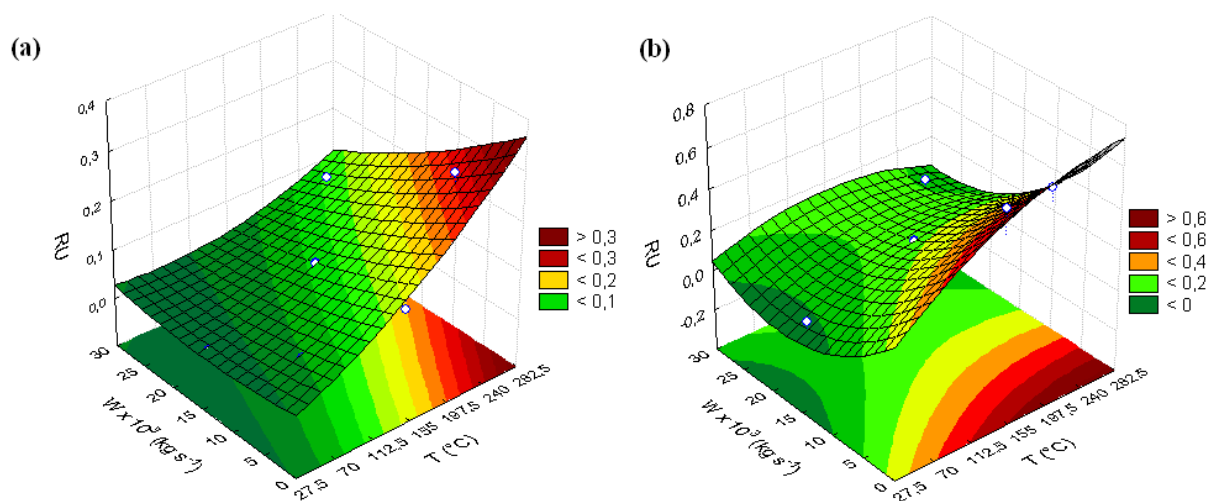


Figura 2 - Superfícies de respostas para a redução de umidade do bagaço de cana da Usina Junqueira (a) e da Usina Santa Lúcia (b).

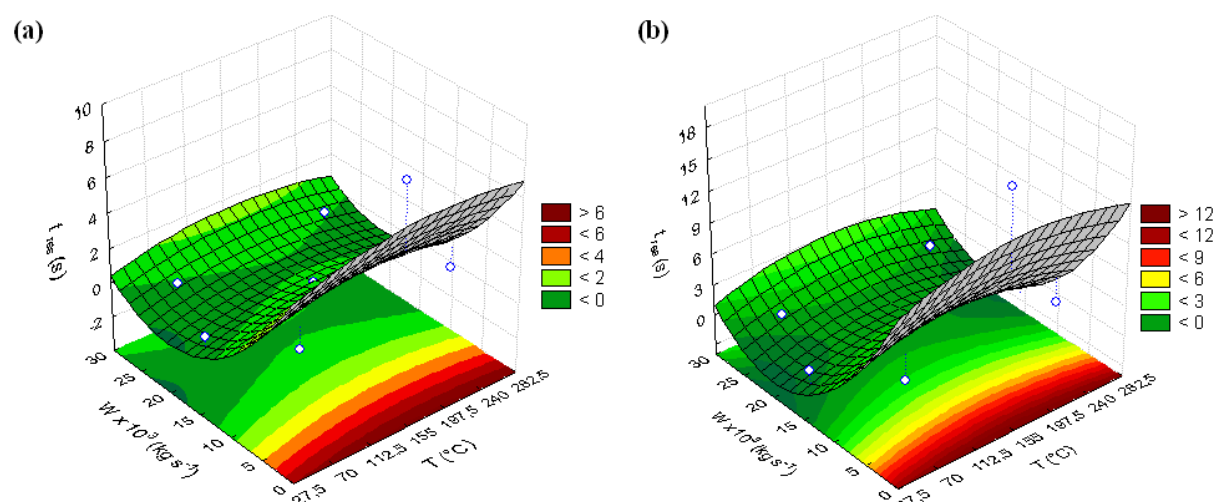


Figura 3 - Superfícies de respostas para o tempo de residência do bagaço da Usina Junqueira (a) e da Usina Santa Lúcia (b).

Para o bagaço obtido em ambas as Usinas, observou-se que maiores reduções do teor de umidade (Figura 2) são alcançados com o aumento da temperatura e a diminuição da vazão de alimentação dos sólidos e o tempo de residência (Figura 3) é maior com o a diminuição da vazão de alimentação dos sólidos. A maior parte da umidade do bagaço de cana é não ligada (CORRÊA et al., 2004a). Neste caso, a relação entre as vazões de partículas e de ar influencia inversamente a secagem, pois quanto menor aquela relação, maior a quantidade de ar aquecido envolvido na secagem frente à quantidade de material úmido. A influência diretamente proporcional da temperatura em processos de secagem tem relação com o aumento da força motriz de calor neste processo.

Com relação ao tempo de residência, o aumento da vazão de bagaço leva a uma maior relação entre a vazão de bagaço pela vazão de ar. Quanto maior esta relação, maior a atuação da força peso do bagaço com relação à força de arraste do ar. Este comportamento foi observado em outros trabalhos (CORRÊA et al., 2004b; SANTOS, 2009; FONSECA et al., 2009). E o aumento da concentração volumétrica de bagaço leva à diminuição da componente tangencial da velocidade que mantém o movimento de giro das partículas no ciclone e prende as partículas às paredes do equipamento (YUU et al., 1978; SILVA et al., 1989; CORRÊA et al., 2000).

Observa-se que a maior redução de umidade obtida foi de 29 % para o bagaço do pátio e 63% para o extraído diretamente da moenda. E que, ambos os bagaços, em um mesmo ensaio, seguem uma mesma tendência para a redução de umidade.

## CONCLUSÃO

Verificou-se que independente do teor de umidade inicial do bagaço de cana, a secagem desta biomassa em secador ciclônico sofre grande influência da vazão mássica de sólidos alimentado e da temperatura de secagem. Sendo que, quanto maior a temperatura e menor a vazão de sólidos maior será a redução do teor de umidade.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FAPEMIG, CAPES, FINEP, CNPq, Usina Junqueira e Usina Santa Lúcia.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CORRÊA, J. L. G.; RIOS, M. T. T.; SILVA, M. A.; NEBRA, S. Estudo do tempo de residência médio de particulados em ciclone. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, ENEMP, p. 165-172, 2000. **Anais em XXVIII Congresso brasileiro de sistemas particulados**, ENEMP, 2000.

CORRÊA, J.L.G.; GRAMINHO, D.R.; SILVA, M.A.; NEBRA, S.A. Cyclone as a sugar cane bagasse dryer. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v.12, p.826 – 830. 2004a.

CORRÊA, J. L. G.; GRAMINHO, D. R.; SILVA, M. A.; NEBRA, S. A. The cyclonic dryer – a numerical and experimental analysis of the influence of geometry on average particle residence time. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 21, n. 01, p. 103 – 112. 2004b.

DEMIRBAS, A. Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. **Energy Conversion and Management**, v. 49, p. 2106-2116. 2008.

FONSECA, J. C. P.; CORRÊA, J. L. G.; SANTOS, J. C. P.; BORGES, S. V.; CARVALHO, A. G. S.; CARVALHO, B. R. Ciclone como secador de resíduos agroindustrial – Estudo de caso: Borra de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, Campinas. **Anais do XXXIV ENEMP**, Campinas, SP, 6 p., 2009.

**XIX CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFPA**  
**27 de setembro a 01 de outubro de 2010**

---

HELLWIG, G. Basic of the combustion of wood and straw. In: WERTHER, J.; SAENGER, M.; HARTGE, E.-U.; OGADA, T.; SIAGI, Z. Combustion of agricultural residues. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 26, 2000 p. 1-27 - 4.

NEBRA, S. A. **Secagem pneumática de bagaço de cana**. 1985. 129 p. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Campinas, Campinas, 129 p., 1985.

NEBRA, S.A.; SILVA M.A.; MUJUMDAR, A. S. Drying in Cyclones - A Review. **Drying Technology**, v. 18, n. 3, p. 791-832. 2000.

SANTOS, J. C. P. **Secagem de borra de café em secador ciclônico**. 2009, 64 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SILVA, M. A.; GODOY, A. L.; NEBRA, S. A. Estudo experimental da variação do perfil de velocidade no ciclone com a concentração de sólidos. In: 10º Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro, RJ., Brasil, **Anais do X COBEM**, v. 1, p. 351-354. 1989.

SILVA, M. A.; NEBRA, S. A. Numerical simulation of drying in a cyclone. **Drying Technology**, v. 15, (6-8), p. 1731-1741. 1997.

VIDAL, M. de F.; SANTOS, J. A. N.; SANTOS, M. A. **Setor sucroalcooleiro no nordeste brasileiro**: estruturação da cadeia produtiva, produção e mercado. Fortaleza, CE: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2006. Disponível em:  
<<http://www.cesumar.br/pesquisa/periodicos/index.php/rama/article/view/1360/1018>>. Acessado em: 02 ago. 2010.

YUU, S.; JOTAKI, T.; TOMITA, Y., YOSHIDA, K. The reduction of pressure drop due to dust loading in conventional cyclone. **Chemical Engineering Science**, v. 33, p. 1573-1580. 1978.