

## **PRODUÇÃO DE ETANOL E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS DE SEUS RESÍDUOS NA INDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA DE ALAGOAS - I**

**RONEY CALHEIROS DE NOVAIS<sup>1\*</sup>; JOÃO NUNES DE VASCONCELOS<sup>2</sup>;  
CÍCERO LUIZ CALAZANS DE LIMA<sup>3</sup>; ROSA CAVALCANTE LIRA<sup>4</sup>;  
IVOMBERG DOURADO MAGALHÃES<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>MSc. Energia da Biomassa, UFAL, Rio Largo-AL, roneycalheiros@hotmail.com;

<sup>2</sup>Dr. em Engenharia química, Prof. Titular. CETEC, UFAL, Rio Largo-AL,xxxx;

<sup>3</sup>Dr. em Agronomia, Prof. Assoc. CECA, UFAL, Rio Largo-AL, calaslima@yahoo.com.br;

<sup>4</sup>Dra. Prof. Titular, CECA, UFAL, Rio Largo-AL, rosa.c.lira@bol.com.br;

<sup>5</sup>Dr. Pesquisador DCR CNPq/Fapeal, CECA, UFAL, Rio Largo-AL,xxxxxx;

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018  
21 a 24 de agosto de 2018–Maceió-AL, Brasil

**RESUMO:** Apesar de toda tradição da agroindústria sucroenergética, é notória a inquietações e julgamento crítico relacionado aos impactos ambientais negativos que seus processos industriais possam produzir no meio ambiente. Com isto, este trabalho objetivou avaliar a produção de etanol, açúcar e outros derivados da cana-de-açúcar de quatro unidades industriais de Alagoas, durante três safras e pontuar os possíveis impactos ambientais provocados no processo de industrialização. Foi feito um levantamento com um questionário em três usinas com destilarias anexas (A, B, e C) e em uma destilaria autônoma (D), localizadas no estado de Alagoas. As quatro destilarias conduziram a fermentação em batelada alimentada (processo descontínuo alimentado); possuem dorna pulmão e fermentadores fechados, para recuperação do etanol arrastado pelos gases desprendidos durante a fermentação etanólica. O questionário foi preenchido com dados operacionais de cada destilaria. Foi avaliada a matéria prima por meio das variáveis cana moída para açúcar, cana moída para álcool, % cana moída crua, moagem horária, tipo de mosto (caldo/misto/melaço), ART do mosto. Foi quantificada a produção, resíduos, eficiências e rendimentos das usinas. As destilarias avaliadas neste trabalho utilizam seus resíduos dentro de uma amplitude aceitável do ponto de vista ambiental, buscando sempre melhores tecnologias com intuito de minimizar os impactos ambientais. O procedimento operacional industrial adotado pelas quatro unidades é, salvo pequenas variações, padrão para todo o estado de Alagoas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geotecnologias, capacidade de uso dos solos, restrição de uso do solo, aptidão pedológica.

## **ETHANOL PRODUCTION AND ITS ENVIRONMENTAL IMPACTS OF ITS WASTE IN THE SUGAR ENERGY INDUSTRY OF ALAGOAS - I)**

**ABSTRACT:** Despite all the tradition of the sugarcane agroindustry, it is notorious for the restlessness and critical judgment related to the negative environmental impacts that its industrial processes can produce in the environment. The objective of this study was to evaluate the production of ethanol, sugar and other sugarcane by-products from four industrial units of Alagoas during three harvests and to assess the possible environmental impacts caused by the industrialization process. A survey was carried out with a questionnaire in three mills with attached distilleries (A, B, and C) and in an autonomous distillery (D), located in the state of Alagoas. The four distilleries led to the batch fermentation fed (discontinuous fed process); have dorna lung and closed fermenters, to recover the ethanol dragged by the gases released during the ethanolic fermentation. The questionnaire was filled with operational data from each distillery. The raw material was evaluated by means of the variables cane ground for sugar, cane ground for alcohol, cane ground, hourly grinding, type of must (broth / mixed / molasses), wort ART. Production, residues, efficiencies and yields of the mills were quantified. The distilleries evaluated in this work use their residues within an acceptable range from the environmental point of view, always seeking better technologies in order to minimize

environmental impacts. The industrial operating procedure adopted by the four units is, except for small variations, standard for the entire state of Alagoas..

**KEYWORDS:** Ethanol; sugar cane; distillery; mills; molasses

## **INTRODUÇÃO**

Devido à elevada capacidade de produção de biomassa, a cana-de-açúcar é considerada uma das principais alternativas para diversificar a produção de energia, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar as emissões de gases do efeito estufa (GEE) para a atmosfera. Os maiores produtores de cana-de-açúcar são Brasil, Índia e China, com 658,8, 341,2 e 126,1 milhões de toneladas (t) produzidos em 2013, respectivamente. O interesse em produzir cana-de-açúcar no mundo tem aumentado as pesquisas, que visam melhor compreender a influência do ambiente sobre seu crescimento e desenvolvimento (Silva et al., 2014). O setor canavieiro brasileiro, baseado na biomassa da cana-de-açúcar, tem papel fundamental para o país (Carvalho, 2003). Desde 1975, houve a expansão de áreas cultivadas com cana-de-açúcar e aumento de produção de etanol, crescendo principalmente no estado de São Paulo, mais precisamente nos municípios de Ribeirão Preto e Piracicaba que estiveram em forte expansão até 1987 (Kohlhepp, 2010). Os impactos ambientais gerados a partir do intenso cultivo da cana-de-açúcar para suprir, sobretudo, a demanda por etanol, podem ser reversíveis ou não e apresentar efeitos positivos ou negativos. A cultura da cana, assim como toda atividade agrícola, gera sempre algum impacto no meio ambiente, na medida em que emprega recursos naturais como água e solo e faz uso de insumos e defensivos químicos, como fertilizantes e pesticidas (Rodrigues, 2010). Quando utilizado como combustível, o etanol traz consigo uma diversidade de vantagens para o meio ambiente. Entre as suas mais relevantes qualidades, está o fato de ser combustível não só limpo como também renovável e autossustentável. Domingues et al., (2016)) revelam que, de acordo com dados publicados pela Agência Internacional de Energia - IEA, “a utilização de etanol produzido através da cana-de-açúcar reduz, em média, 89% a emissão de Gases do Efeito Estufa – GEE, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (NO<sub>2</sub>), se comparado com a gasolina”. Os autores reportam ainda, que o etanol de outras fontes também colabora no sentido de reduzir tal problemática, todavia, em menor escala, “sendo 46% a redução do etanol produzido por beterraba e 31% no etanol de grãos”. Neste contexto, apesar da literatura especializada apresentar um grande número de trabalhos sobre os resíduos poluentes da indústria sucroenergética e de seus impactos ambientais (Rebelato et al., 2013; Rebelato et al., 2016), observa-se que os trabalhos voltados para a relação entre produção de etanol e seus impactos ambientais na indústria alcooleira no Nordeste, especificamente para o estado de Alagoas, são escassos.

Este estudo visa contribuir para a avaliação da produção de etanol e seus impactos ambientais na agroindústria da cana-de-açúcar no Estado de Alagoas..

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para a avaliação dos impactos ambientais gerados pela produção de etanol no Estado de Alagoas, foram coletadas informações de 4 unidades industriais (A, B, C e D), nas safras 2015/16 e 2016/17.

O levantamento foi feito por meio de questionário distribuído nas referidas unidades industriais e de consultas informais aos responsáveis pelas respostas do questionário, além de outras questões de caráter geral. As unidades industriais referidas estão localizadas no Estado de Alagoas.

Ressalte-se que as unidades industriais amostradas conduziram a fermentação etanólica em batelada alimentada (processo descontínuo alimentado). As unidades B e C operam com dornas fechadas e recuperação do etanol arrastado pelos gases produzidos durante a fermentação, por meio de lavagem dos mesmos com água em coluna específica.

A avaliação das informações foi feita quantificando-se os diversos derivados, oriundos da produção de etanol, assim como a destinação dos mesmos. As principais variáveis avaliadas foram: água (de lavagem de cana-de-açúcar, de preparação de mosto, de limpeza de equipamentos e piso); bagaço de cana-de-açúcar; vinhaça produzida no processo de destilação para a produção de etanol; cinzas resultantes da queima do bagaço nas caldeiras.

No questionário, foram solicitadas informações como moagem de cana, produção de açúcar, produção de etanol hidratado, produção de etanol anidro, de torta filtro rotativo, álcool de 2<sup>a</sup>, óleo de fúsel, kg de açúcar por tonelada de cana, kg de melaço por tonelada de cana e litros de álcool por tonelada de cana, consumo de ácido sulfúrico e de ciclohexano; água utilizada na lavagem da cana e

na lavagem dos gases liberados durante a fermentação, entre outras, para que se possa ter uma visão global de uma unidade sucroalcooleira.

Foram calculados os principais resíduos da cana (bagaço, vinhaça, água de lavagem, cinzas e torta) para cada safra. Para estes cálculos foi considerada a quantidade de bagaço (média estimada para Alagoas) presente em uma tonelada de cana e a quantidade de vinhaça (média estimada para Alagoas) obtida para cada litro de etanol produzido, em todas as unidades produtivas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

**Tabela 1.** Derivados da cana-de-açúcar de quatro unidades industriais (A, B, C e D) no Estado de Alagoas, durante duas safras (2016/2017, 206/2015).

RESÍDUOS	Usina/Destilaria			
	ABCD			Não moeu
	Safra 2016/2017			
Melaço por Tonelada de Cana (Kg)	72.31	62.36	61.65	Não moeu
Destino do Melaço	Venda/álcool	Venda/álcool	Venda/álcool	
Bagaço por Tonelada de Cana (Kg)	315	327	301	
Destino do Bagaço	Caldeiras	Caldeiras	Caldeiras	
Torta por Tonelada de Cana (Kg)	33.71	32	38	
Destino da Torta	Campo	Campo	Campo	
Vinhaça por Litro de Álcool (L)	-	14	13	
Destino da Vinhaça	Irrigação	Irrigação	Irrigação	
Água de Lavagem por Tonelada de Cana (m <sup>3</sup> )	5.74	5	2	
Destino da Água de Lavagem de Cana	Irrigação	Irrigação	Irrigação	
Cinzas das Caldeiras por Tonelada de Cana (Kg)	-	5.49	-	
	Safra 2015/2016			
Melaço por Tonelada de Cana (Kg)	62,65		60,99	N/produz
Destino do Melaço	Venda/álcool	53,37	Venda/álcool	N/produz
Bagaço por Tonelada de Cana (Kg)	310	320,48	308,91	308
Destino do Bagaço	Caldeiras	Caldeiras	Caldeiras	Caldeiras
Torta por Tonelada de Cana (Kg)	30,45		38,17	N/produz
Destino da Torta	Campo	31,24	Campo	N/produz
Vinhaça por Litro de Álcool (L)	14	Campo	13	14
Destino da Vinhaça	Irrigação	14,00	Irrigação	Irrigação
Teor Alcoólico da Vinhaça (GL)	-	Irrigação	0,0380	0,006
Temperatura da Vinhaça (°C)	-	0,0329	60	-
Água de Lavagem por Tonelada de Cana (m <sup>3</sup> )	5,58	100	2.000	-
Destino da Água de Lavagem de Cana	Irrigação	5,00	Irrigação	Tratamento
Cinzas das Caldeiras por Tonelada de Cana (Kg)	-	Irrigação	-	-
		0,50		

Esta tabela evidencia que, apesar de inúmeros derivados da cana-de-açúcar produzidos e em grande quantidade, a agroindústria da cana e, em particular, a do etanol, traz inúmeras vantagens do ponto de vista ambiental, por ser atividade cuja matéria-prima é renovável. A vinhaça, produzida em grande quantidade, é aplicada em sua totalidade nos canaviais, não gerando problemas ambientais. O etanol

anidro é misturado à gasolina, atualmente na proporção de 27%, como agente oxigenante/antidetonante, diminuindo as emissões de poluentes, quando se compara com a queima da gasolina pura. Nos veículos flex, sucesso absoluto atualmente no Brasil, o etanol hidratado pode ser utilizado, puro ou misturado à gasolina, em quaisquer proporções.

O bagaço da cana-de-açúcar é outro importante derivado. Para esta variável, na safra 2016/2017, a usina B produziu 327 kg/ton de cana processada, enquanto a usina A produziu 315 kg/ton. A usina C produziu 301 kg/ton e a destilaria D não moeu nesta safra. Estes resultados são superiores aos encontrados por Cortez e Magalhães (1992), que afirmam que, para 1 tonelada de cana moída, produz-se aproximadamente 250 kg de bagaço. Porém, de acordo com a CONAB (2011), a produção do bagaço depende do tipo de cana-de-açúcar utilizada, das condições climáticas, do solo etc, sendo que as variedades comumente utilizadas no Brasil produzem entre 270 e 290 kg por tonelada de cana processada.

Todas as usinas avaliadas destinaram o bagaço da cana-de-açúcar para as caldeiras, com o objetivo de gerar vapor. Cortez e Magalhães (1992), estudando os principais derivados da agroindústria canavieira e sua valorização, concluíram que a energia embutida no bagaço, é maior do que a contida no etanol produzido, pois 250 kg de bagaço podem gerar, quando convertido em energia calórica, 560.000 kcal.

A usina C obteve uma maior quantidade de torta de filtro, 38 kg por tonelada de cana processada, enquanto as usinas A e B produziram 34 e 32 Kg/ton, respectivamente, na safra 2016/2017. Para a safra 2015/2016, as usinas A, B e C produziram 30,5; 31,3 e 38,5 kg/ton de cana, respectivamente.

O destino da torta produzida a partir da cana processada, para as usinas A, B e C, foi ao campo, aplicada como adubo. De acordo com Marques (2009), esse resíduo é rico em minerais (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) e matéria orgânica, principalmente proteínas e lipídeos, podendo ser utilizado para alimentação animal ou ainda como adubo. Para Rossetto (2005) as propriedades fertilizantes da torta de filtro são conhecidas desde a década de 1950, entretanto, seu uso com esse objetivo começou na década de 1970.

Para a produção da vinhaça, as usinas A, B e C geraram quantidades similares nas três safras estudadas 14, 14 e 13 litros de vinhaça por litro de álcool etílico, respectivamente. A destilaria D produziu 14 litros de vinhaça por litro de álcool na safra 2015/2016.

Toda vinhaça gerada nas destilarias avaliadas, são destinadas para as lavouras, na forma de irrigação (fertirrigação). Silva et al. (2014) relatam que quando a vinhaça é aplicada no solo, o mesmo é alterado, gerando modificações em parte de suas propriedades químicas, uma vez que altera o pH e os teores de potássio trocáveis. Para Silva et al. (2007) estas alterações no solo favorecem o aumento da disponibilidade de alguns elementos para as plantas. Além de ser uma importante alternativa econômica, já que as indústrias sucroalcooleiras gastam menos com adubo (Silva et al., 2014). Entretanto, esse subproduto pode contaminar corpos d'água (Previtali, 2011) e, quando em excesso, causa diversos tipos de impactos ambientais (Christofolletti et al., 2013). Por outro lado, para Laime et al. (2011) o seu descarte no solo é a alternativa menos poluente.

A lavagem da cana de açúcar é a etapa de maior demanda de água em todo o processo. A usina A foi a que mais utilizou água para esta etapa, 5.74 e 5.32 m<sup>3</sup>/ton de cana, para a safra 2016/2017. As usinas B e C utilizaram a mesma quantidade de água, 5 e 2 m<sup>3</sup>/ton de cana para a safra avaliada.

Todas as usinas avaliadas utilizam a água de lavagem de cana em circuito fechado, porém, ao fazerem o descarte, destinam a água de lavagem para irrigação. O lodo da lavagem de cana tem contribuído para que retornem ao campo, auxiliando a lavoura quando incorporados ao solo (Lima, 2001).

As cinzas são oriundas da queima do bagaço nas caldeiras. Para esta variável, apenas a usina B apresentou resultados, em média de 4,34 kg/ton de cana para as safras estudadas. De acordo com Malavolta (2001), uma tonelada de cana pode gerar 16,5 kg de cinzas. As cinzas de caldeira de bagaço de cana-de-açúcar, por apresentarem quantidades consideráveis de nutrientes de plantas, podem ser aproveitadas em solos de baixa fertilidade natural, melhorando as suas características físico-químicas (Feitosa et al., 2009).

## CONCLUSÃO

Apesar de inúmeros derivados da cana-de-açúcar produzidos e em grande quantidade, a agroindústria da cana e, em particular a do etanol, traz inúmeras vantagens do ponto de vista ambiental, por ser atividade cuja matéria-prima é renovável.

A vinhaça, produzida em grande quantidade, é aplicada em sua totalidade nos canaviais, não gerando problemas ambientais.

As destilarias avaliadas neste trabalho utilizam seus resíduos dentro de uma amplitude aceitável do ponto de vista ambiental, buscando sempre melhores tecnologias com intuito de minimizar os impactos ambientais.

## REFERÊNCIAS

- Carvalho, L. C. C. Cenário sucroalcooleiro: as esperanças do ano novo. STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos. Piracicaba, v. 21, n.3, p. 8-9, 2003.
- Christofoletti, C. A.; Pedro-Escher, J.; Correia, J. E.; Marinho, J. F. U.; Fontanetti, C. S. Sugarcanevinasse: Environmental implications of its use. Waste Management, v. 33, p. 2752- 2761, 2013.
- CONAB. (Companhia Nacional de Abastecimento). A Geração Termoelétrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Brasil - Análise do Desempenho da Safra 2009-2010. 2011.
- Cortez, L. & Magalhães, P. Principais subprodutos da agroindústria canavieira e sua valorização. Revista Brasileira de Energia, Vol.2, n. 2, 1992.
- Feitosa, D. G.; Maltoni, K. L. & Silva, I. P. F. Avaliação da cinza oriunda da queima do bagaço da cana-de-açúcar na substituição da adubação química convencional para produção de alimentos e preservação do meio ambiente. Revista Brasileira de Agroecologia, v. 04. n. 02, p. 2412-2415, 2009.
- Kohlhepp, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. Estudos avançados, v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010.
- Laime, E. M.; Fernandes, P. D. O.; Souza, D. C. D. Possibilidades tecnológicas para a destinação da vinhaça: uma revisão. Revista trópica: Ciências Agrárias e Biológicas, Chapadinha, v. 5, n. 3, p. 16-29, 2011.
- Lima, U. A. Biotecnologia industrial: processos fermentativos e enzimáticos. São Paulo: Edgard Blücher, v. 3, p. 1-43, 2001.
- Malavolta, E. Sobre a utilização agrícola do resíduo de cinza de caldeira, CNA Centro de Energia Nuclear na Agricultura, USP, In: Parecer para Cargill Citrus Ltda, 2001.
- Marques, D. Conselho de Informações sobre Biotecnologia, Guia da cana-de-açúcar. 2009.
- Previtali, N. R. Uso de vinhaça para fertirrigação. Faculdade de Tecnologia de Aracatuba, 2011.
- Rebelato, M. G.; Madaleno, L. L.; Rodrigues, A. M. Ponderação do impacto ambiental dos resíduos e subprodutos da produção industrial sucroenergética. Revista Gestão Industrial, v. 9, n. 2, 2013.
- Rebelato, M. G.; Madaleno, L. L.; Rodrigues, A. M.. Análise do desempenho ambiental das usinas sucroenergéticas localizadas na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 3, 2016.
- Rodrigues, L. D. A cana-de-açúcar como matéria-prima para a produção de biocombustíveis: impactos ambientais e o zoneamento agroecológico como ferramenta para mitigação. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Análise Ambiental), Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.
- Rossetto, R.; Dias, F. L. F. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: indagações e reflexões. Encarte do Informações Agronômicas, n.110, p. 6-11, jun. 2005.
- Silva, M. A. S.; Griebeler, N. P.; Borges, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.
- Silva, A. P. M.; Bono, J. A. M.; Pereira, F. A. R. Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: Efeito no solo e na produtividade de colmos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 1, 2014.