



1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

GRAMADO-RS

12 a 14 de junho de 2018

ANÁLISE DA ECOEFICIÊNCIA DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM USINA SUCROALCOOLEIRA NO PIAUÍ

Lilian de Castro Moraes Pinto (*), Maria do Socorro Lira Monteiro

* Universidade Federal do Piauí, lilian.moraes@gmail.com

RESUMO

O Brasil é o líder mundial do setor de agroenergia devido à sua produção de etanol à base de cana-de-açúcar, matéria-prima vegetal que ainda origina outros produtos como açúcar, melaço, garapa, aguardente e rapadura. Na safra brasileira de 2017/2018, uma área de 8.729,5 mil hectares desta espécie foi colhida e destinada à atividade sucroalcooleira. Contudo, o processamento industrial da cana gera resíduos que, se não tiverem destinação adequada, podem causar impactos negativos ao meio ambiente. No contexto desta pesquisa focou-se nos resíduos sólidos do tipo bagaço da cana e torta de filtro. Foram analisados os efeitos ambientais da reciclagem desses restos agroindustriais em usina sucroalcooleira situada no estado do Piauí, durante a safra de 2015, por meio de exame de indicadores de ecoeficiência de valor e de influência ambiental, conforme a metodologia descrita pela norma ABNT NBR ISO 14045:2014. Para cada quilograma de resíduo gerado, produziu-se 0,09 litros de etanol e 0,19 quilogramas de açúcar, denotando um lucro bruto de R\$0,01 e R\$0,13, respectivamente, o que aponta pouca ecoeficiência. Todavia, reconhece-se que o aproveitamento do bagaço no fornecimento de energia e da torta de filtro como fertilizante remediou a geração de resíduos sólidos. Inclusive, uma vez que o bagaço foi usado para abastecer o processamento industrial na totalidade, a eficiência energética do sistema foi de 10,30, o que significa que para cada 1,0 MJ de energia fóssil consumida se produziu 10,3 MJ de energia renovável, na forma de etanol da cana. Além disso, o consumo de energia fóssil na fase agrícola foi reduzido devido à aplicação de torta de filtro, que substituiu parcialmente a adubação química, tornando menor a necessidade do aporte de nitrogênio, potássio e fósforo, cujos processos produtivos são altamente dependentes dessa energia não-renovável. Assim, ao considerar que os resíduos sólidos gerados foram completamente reciclados pela Usina, a produção sucroalcooleira do Piauí em 2015 foi ecoeficiente neste quesito e pôde também ser considerada sustentável no tocante à geração desse tipo de resíduo, por diminuir sua dependência de combustíveis fósseis.

PALAVRAS-CHAVE: ABNT ISO 14045, Bagaço, Torta de filtro, Etanol, Energia fóssil.

ABSTRACT

Brazil leads the international agroenergy sector due to its production of ethanol made from sugarcane, a raw material whose processing originates other products such as sugar, molasses, garapa, brandy and rapadura. Between 2017 and 2018, 8,729.5 thousand hectares of sugarcane were harvested in Brazil and destined to the sugar-alcohol business. However, industrial processing of sugarcane generates waste that, if not properly disposed of, can cause negative impacts to the environment. This research focused on solid residues: sugarcane bagasse and filter mud. We analyzed the environmental effects of the recycling of these agroindustrial wastes in a sugar and alcohol mill located in the state of Piauí in 2015, through the study of ecoefficiency indicators of value and environmental influence, according to the methodology described in ABNT NBR ISO 14045:2014. For each kilogram of residue generated, 0.09 liters of ethanol and 0.19 kilograms of sugar were produced, resulting in a gross profit of R\$ 0.01 and R\$ 0.13, respectively, which indicates little eco-efficiency. However, the use of bagasse to provide energy and the application of filter mud as fertilizer has remedied the generation of solid waste. In fact, since the bagasse was used to activate the industrial processing in its entirety, the net energy balance of the system was 10.30, which means that for every 1.0 MJ of fossil energy consumed, 10.3 MJ of clean energy was produced, as ethanol. In addition, the fossil energy consumption in the agricultural phase was lessened due to the application of filter mud, which partially replaced chemical fertilization, reducing the need for input of nitrogen, potassium and phosphorus, whose production processes are highly dependent on this non-renewable energy. Thus, taking into consideration that the solid waste generated was completely recycled by the Plant, sugarcane production in Piauí in 2015 was acknowledged as eco-efficient in this regard and could also be considered sustainable in the generation of this type of waste, because of its reduction of dependence on fossil fuels.

KEY WORDS: Eco-efficiency, Bagasse, Filter mud, Ethanol, Fossil energy.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, que é uma matéria-prima vegetal de extrema importância por fornecer alternativas para o setor de biocombustíveis devido ao grande potencial na produção de etanol e aos respectivos subprodutos. A safra brasileira de 2017/2018 finalizou com 633,3 milhões de toneladas de cana-de-açúcar cultivada e colhida, com a produção de 633.261,9 mil toneladas de açúcar e 27,76 bilhões de litros de etanol. As unidades de produção têm buscado operar com maior eficiência, auxiliando na redução dos custos e contribuindo para a sustentabilidade da atividade (CONAB, 2018).

Em 2015, o Piauí possuía 15,1 mil hectares (ha) de área plantada de cana-de-açúcar, cujo processamento industrial ocorreu em uma única empresa sucroalcooleira, com uma área total de 16.000 ha, abrangendo municípios do Piauí, Teresina, União e José de Freitas, e do Maranhão, Caxias e Timon. O período da moagem ocorreu entre julho e dezembro e foram processadas de 6000 a 6500 toneladas de cana a cada 24 horas, sendo que cada tonelada era capaz de produzir 80 quilos (kg) de açúcar ou 80 litros (L) de álcool (MORAES PINTO, 2017).

Segundo Aquino *et al.* (2014), resíduos sólidos originados do processamento da cana-de-açúcar para produção de etanol e açúcar, como bagaço, torta de filtro e levedura seca, provocam degradação ambiental, que pode ser evitada por meio do reaproveitamento destes resíduos.

A torta de filtro é um resíduo agroindustrial obtido através da clarificação do caldo de cana-de-açúcar. Como seus constituintes são derivados dessa planta, juntamente com produtos químicos utilizados na etapa de clarificação, é uma fonte de nutrientes importantes para as plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio, bem como quantidades notáveis de outros nutrientes como Na, Fe, Mn, Ca, Cu, Si, Mg, S e Zn (ELSAYED *et al.*, 2008). Ela passou a ser empregada como um subproduto orgânico para recuperação de solos exauridos ou de baixa fertilidade a partir de 1980, fornecendo nutrientes e reduzindo os custos de adubação (CRUZ *et al.*, 2016).

O bagaço é o subproduto sólido mais importante da cana-de-açúcar, composto por celulose (30,0%), hemiceluloses (23%) e lignina (22%). Representa cerca de metade da matéria orgânica da cana e é fortemente entremeadado por lignoceluloses (PEREZ-GARCIA *et al.*, 2005). O bagaço representa uma fonte de energia potencial, sendo usado principalmente para produção de vapor e geração de energia (HOFSETZ; SILVA, 2012).

No Brasil, muitas usinas utilizam o próprio bagaço da cana moída como fonte de energia (calor e eletricidade) adicional para alimentar o processo produtivo de açúcar e etanol (GOLDENBERG; COELHO; GUARDABASSI, 2008).

OBJETIVOS

Este trabalho objetivou analisar os efeitos da reciclagem dos resíduos sólidos gerados na produção sucroalcooleira em usina situada no estado do Piauí, sobre o meio ambiente. Para tanto, especificamente, examinaram-se indicadores de ecoeficiência de valor e de influência ambiental, relacionados à geração de bagaço e torta de filtro, para os processos de produção de açúcar e álcool na Usina estudada.

METODOLOGIA

Como suporte teórico-metodológico, empregou-se o método de estudo de caso. Destaca-se que esse trabalho é derivado de uma dissertação de mestrado e que os dados referentes à produção de resíduos sólidos são resultado de avaliação ambiental baseada na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do etanol e do açúcar, em conformidade com a ABNT NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) e ABNT NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b), cujos resultados foram utilizados para uma avaliação de ecoeficiência. Outrossim, aplicou-se a análise de estatística descritiva sobre os dados coletados, e os cálculos foram realizados através do *software* Microsoft Excel.

Salienta-se que o universo da pesquisa foi representado pela produção de açúcar e de álcool em uma única usina sucroalcooleira no Piauí. A coleta de dados envolveu pesquisa direta, cuja seleção dos entrevistados ocorreu mediante amostragem não probabilística intencional.

A coleta de dados foi iniciada com os levantamentos documental, bibliográfico e documentação direta. Como técnica de documentação direta, de cunho intensivo, utilizou-se entrevista estruturada com perguntas abertas, e como técnicas de documentação direta, de cunho extensivo, usou-se análise de conteúdo, que permite a descrição sistemática, objetiva e quantitativa do conteúdo da entrevista, e formulário, que é um roteiro de perguntas enunciadas pelo entrevistador e

preenchidas pelo mesmo com as respostas do pesquisado (MARCONI; LAKATOS, 2009).

Nesse sentido, no primeiro semestre de 2016, realizaram-se as entrevistas, que focaram nos resultados da safra do ano anterior, 2015, e as perguntas foram divididas nas dimensões econômica, com a finalidade de obter informações da produção; e ambiental, com o fim de investigar o impacto ambiental de cada fase do processo produtivo.

De posse dos dados referentes à produção de 2015, utilizou-se a metodologia descrita pela norma ABNT NBR ISO 14045 (ABNT, 2014), para avaliar a ecoeficiência do setor sucroalcooleiro no Piauí. Inicialmente, descreveu-se separadamente o sistema de produção de açúcar e de álcool, sucedida de uma avaliação qualitativa, na qual se identificaram as implicações causadas nos dois processos de produção, examinando os resíduos gerados, através dos elementos de ecoeficiência.

O fluxograma de produção de açúcar e etanol na Usina revelou que todas as entradas, como os reagentes químicos empregados no tratamento, e saídas do sistema, como o bagaço e a torta de filtro, estavam relacionadas a ambos os produtos até o estágio no qual o caldo claro é obtido (MORAES PINTO, 2018). O registro fotográfico demonstrado na Figura 1 mostra um montante de resíduo sólido do tipo bagaço, resultante do processamento industrial da cana-de-açúcar na safra de 2015.



Figura 1: Acúmulo de bagaço para aproveitamento pela Usina em 2015. Fonte: MORAES PINTO (2018).

Em seguida, realizou-se, para cada processo, um exame quantitativo do grau de impacto sobre o meio ambiente, onde se mensurou e analisou indicadores de ecoeficiência de valor, oriundos da dimensão econômica e indicadores de influência ambiental, provenientes da dimensão ambiental. Ao final, esses indicadores foram consolidados em indicadores síntese que mensuram a razão entre as dimensões de valor e a ambiental. Esta investigação tomou como unidade funcional para obtenção dos dados da ACV, conforme a norma ABNT ISO 14040 (ABNT, 2009a), a medida de 1 hectare, cultivado com cana-de-açúcar por um período de 1 ano.

Para a produção de etanol, a Usina processou 967.427,41 toneladas (t) de cana em 2015, das quais 152.282,14 t foram destinadas à produção de álcool, gerando um produto de 32.679.517 litros de etanol, sendo 89,8% anidro e 10,2% hidratado, o que possibilitou calcular os seguintes indicadores de valor:

- A. quantidade de etanol produzido em litros;
- B. lucro bruto na produção de etanol em real (R\$).

Para a produção de açúcar, foram destinadas 815.145,27 t de cana-de-açúcar para o processamento, gerando 1.338,292 sacas de açúcar. Tais dados possibilitaram a concepção dos indicadores de valor abaixo:

- C. quantidade de açúcar produzido em quilogramas;
- D. lucro bruto na produção de açúcar em real (R\$).

Já o indicador ambiental analisado para este trabalho configurou-se na geração de resíduos sólidos (E), referente à quantidade de resíduo, em kg, gerado no processamento industrial da cana. A quantidade de resíduo sólido gerado na produção de etanol e de açúcar correspondeu ao peso total do bagaço residual da cana e o peso total de torta de filtro produzida, visto que são resíduos comuns aos dois processos produtivos. O indicador consolidado mediu a quantidade de produto gerado por kg de resíduo sólido (A)/(E) e (C)/(E) e o lucro bruto gerado por kg de resíduo sólido (B)/(E) e (D)/(E), como apresentado no Quadro 1.

Quadro 1. Indicadores de ecoeficiência para a geração de resíduos sólidos na produção de etanol e de açúcar no Piauí em 2015

Fonte: MORAES PINTO (2018).

Dimensão	Indicadores de Ecoeficiência	
	Indicadores Gerais	Indicadores Consolidados Valor Impacto Ambiental
Econômica	A. Quantidade de etanol produzido B. Lucro bruto na produção de etanol C. Quantidade de açúcar produzido D. Lucro bruto na produção de açúcar	A/E. Produção de etanol por kg de resíduos sólidos gerados. B/E. Lucro bruto de etanol por kg de resíduos sólidos gerados. C/E. Produção de açúcar por kg de resíduos sólidos gerados.
Ambiental	E. Geração de resíduos sólidos	D/E. Lucro bruto de açúcar por kg de resíduos sólidos gerados.

RESULTADOS

A produção de cana-de-açúcar, implementada pela COMVAP em 2015, foi completada em 167 dias de safra, o que equivaleu a 3.694,03 horas efetivas de trabalho, com aproveitamento de 93,8% do tempo, redundando no cultivo de 967.427,41 toneladas de cana, das quais 152.282,14 t foram direcionadas para a produção de etanol. Com base nesse cenário, detectou-se que 3.340,530 m³ de álcool hidratado e 29.338,987 m³ de álcool anidro foram produzidos em 2015, totalizando uma produção de 32.679,517 m³ de etanol. Esse panorama possibilitou a geração de uma receita informada de R\$55.663.683,00 a um custo total comunicado de R\$50.390.400,00.

Adicionalmente, salienta-se que na safra de 2015, o montante de 815.145,269 toneladas de cana originou 1.338.292 sacas de açúcar, o que equivale a 66.914.600 kg, o qual foi responsável por uma receita de R\$ 93.390.689,00 e um custo total de R\$ 48.951.361,00, com um lucro bruto de R\$ 44.439.328,00, conforme balanço patrimonial. Assim, conheceu-se os indicadores de ecoeficiência para a dimensão valor do etanol e do açúcar, como explicitado na Tabela 1.

Tabela 1. Indicadores de valor para o processo de produção de etanol e de açúcar na Usina em 2015.

Fonte: MORAES PINTO (2018).

Indicador de valor	Valor	Unidade
Etanol		
(A) Quantidade produzida	32.679.517,00	L
(B) Lucro bruto	5.273.283,00	R\$
Açúcar		
(C) Quantidade produzida	66.914.600,00	kg
(D) Lucro bruto	44.439.328,00	R\$

Sublinha-se que a Tabela 1 apresenta os indicadores de ecoeficiência para a dimensão valor do etanol e do açúcar distinguidos em quantidade produzida e lucro. Salienta-se que a escolha da variável lucro bruto se deu devido à impossibilidade informada de determinar o lucro líquido da produção de etanol, uma vez que existiram despesas comuns aos produtos açúcar e álcool. Destarte, o lucro bruto foi calculado subtraindo-se o custo total da produção de cada produto da receita informada pela Usina.

Enfatiza-se que a quantidade exata de bagaço de cana não pôde ser contabilizada pela Usina em virtude de ter sido totalmente aproveitada na geração de energia para o acionamento da mesma e outras eventualidades. No entanto, essa quantidade pôde ser estimada, pois de acordo com as informações coletadas na Usina, cada tonelada de cana processada resulta em aproximadamente 324,07 kg de bagaço e a produção foi de 967.427,41 toneladas de cana, gerando 24.123,03 t de torta de filtro na safra de 2015, como exibido na Tabela 2.

Tabela 2. Quantidade de resíduos sólidos produzidos pela Usina em 2015

Fonte: MORAES PINTO (2018).

Item	Valor	Unidade
Quantidade de torta de filtro	24.123.030,00	Kg
Quantidade de bagaço	313.514.200,00	Kg
(E) Quantidade de resíduos sólidos	337.637.230,00	Kg

Por meio da Tabela 2, identificou-se a geração de 337.637.230 kg de resíduos sólidos durante o processamento da safra de 2015.

Para cada mil toneladas de cana moída, as usinas produzem de 30 a 35 toneladas de torta de filtro (AQUINO *et al.*, 2014), o qual é um montante superior ao encontrado nesta investigação, que foi de 24,9 toneladas de torta de filtro para mil toneladas de cana. Essa diferença pode ser um indicativo de menor perda de matéria orgânica durante o processamento industrial.

Salienta-se que a totalidade de bagaço e de torta de filtro foi aplicada na própria Usina, seja como adubo nos campos de cultivo de cana-de-açúcar ou como fonte de energia para o acionamento da mesma, configurando-se em subprodutos que, em conformidade com Aquino *et al.* (2014), viabilizaram economicamente e ambientalmente essa produção, pois diminuiram a necessidade de compra e aplicação de fertilizantes químicos e de consumo de energia.

A análise de ecoeficiência revelou a relação entre as dimensões de valor e de influência ambiental, como demonstrado na Tabela 2. Ressalta-se que, no contexto desta investigação, o sistema produtivo foi considerado ecoeficiente se ambos IC1 e IC2 forem maiores (>) que 1,0, e não foi considerado ecoeficiente se ambos IC1 e IC2 forem menores ou iguais (\leq) a 1,0.

Tabela 3. Indicadores de ecoeficiência consolidados nos processos de produção de etanol e de açúcar pela Usina em 2015

Fonte: MORAES PINTO (2018).

Indicadores de ecoeficiência	Ecoindicador Consolidado 1			Ecoindicador Consolidado 2		
	Fórmula	Valor	Unidade	Fórmula	Valor	Unidade
Etanol	A/E	0,09	L/kg	B/E	0,01	R\$/kg
Açúcar	C/E	0,19	kg/kg	D/E	0,13	R\$/kg

Em consonância com a Tabela 3, o IC1 atestou que para cada kg de resíduo, produziu-se apenas 0,09 L de etanol e 0,19 kg de açúcar, denotando um lucro bruto de R\$0,01 e R\$0,13 (IC2), respectivamente. Isso aponta pouca eficiência na geração de resíduos sólidos na fabricação de álcool e açúcar, ou seja, houve uma grande produção de resíduo e pouco lucro, ainda que, comparativamente, a produção de açúcar tenha apresentado maior ecoeficiência nesse quesito. Todavia, reconheceu-se que o aproveitamento do bagaço e da torta de filtro, pelas características naturais próprias, criaram uma compensação na geração de resíduos.

Acentua-se que a investigação revelou que a eficiência energética do sistema foi de 10,30, o que significa que para cada 1,0 MJ de energia fóssil consumida se produziu 10,3 MJ de energia renovável, na forma de etanol da cana. Esse resultado foi possibilitado pelo uso do bagaço como insumo para queima e geração de energia que abasteceu a Usina e acionou seu funcionamento na safra de 2015, diminuindo a necessidade de consumo de energia fóssil. Durante a execução desta pesquisa, foi constatada a predominância do gasto de energia fóssil nas atividades executadas durante a fase agrícola, uma vez que o processamento industrial foi acionado pela queima do bagaço. Todavia, reconhece-se que esse montante poderia ter sido mais alto, em virtude de a Usina utilizar aplicação de torta de filtro, cuja riqueza organo-mineral é elevada, e por isso substitui parcial ou totalmente a adubação química, tornando menor a necessidade do aporte de nitrogênio, potássio e fósforo, cujos processos produtivos são altamente dependentes de energia fóssil.

CONCLUSÕES

O sistema produtivo de açúcar obteve melhores resultados que o de álcool no que diz respeito à geração de resíduos sólidos, por ter evidenciado maior valor e menor impacto ambiental negativo. De acordo com a norma ABNT ISO 14045 (ABNT, 2014), a produção sucroalcooleira analisada não teria sido considerada ecoeficiente para a geração de resíduos sólidos se a totalidade desses resíduos não tivesse sido reaproveitada. Esse contexto reforça a necessidade de estudos técnicos que permitam encontrar alternativas para aumentar os indicadores de valor analisados para o açúcar e o etanol.

Sublinha-se que o sistema produtivo de etanol gerou mais energia do que consumiu, mesmo que ela tenha sido direcionada majoritariamente à produção de açúcar, e que essa energia produzida foi considerada renovável por derivar de matéria vegetal. Isso foi possibilitado pelo reaproveitamento do bagaço, como fonte de energia, e da torta de filtro, como fertilizante. A reciclagem desses resíduos sólidos tornou a produção sucroalcooleira do Piauí mais sustentável, por diminuir sua dependência de combustíveis fósseis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:2009**. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. 2009a.
2. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044:2009**. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. 2009b.
3. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14045:2014**. Gestão ambiental - Avaliação da eco eficiência de sistemas de produto - Princípios, requisitos e orientações. 2014.
4. AQUINO, J. A.; BIDÔ, E. S.; GALVÃO, M. L. M.; OLIVEIRA, V. N. **Etanol da cana de açúcar: possibilidades energéticas da região de Ceará-Mirim-RN**. *Holos*, v. 30, n. 01, p. 105-125, 2014.
5. CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: cana de açúcar**. Safra 2017/18, v. 4, n. 4, Brasília, p. 1-77, abril 2018.
6. CRUZ, I. S.; ANDRADE, I. C.B.; SOUZA, R. R. S.; FACCIOLI, G. F. **Gestão ambiental ISO 14001 nas indústrias sucroalcooleiras em Sergipe**. *Interfaces Científicas - Exatas e Tecnológicas*, Aracaju, v. 2, n. 1, p. 51-60, fev. 2016.
7. ELSAYED, M.T.; BABIKER, M.H.; ABDELMALIK, M.E.; MUKHTAR, O.N.; MONTANGE, D. **Impact of filter mud applications on the germination of sugarcane and small-seeded plants and on soil and sugarcane nitrogen contents**. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 10, p. 4164-4168, 2008.
8. GOLDENBERG, J.; COELHO, S. T.; GUARDABASSI, P. **The sustainability of ethanol production from sugarcane**. *Energy Policy*, v. 36, n. 6, p. 2086-2097, 2008.
9. HOFSETZ, K.; SILVA, M. A. **Brazilian sugarcane bagasse: Energy and non-energy consumption**. *Biomass and Bioenergy*, v. 46, p. 564-573, 2012.
10. MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Atlas, 2009. 228 p.
11. MORAES PINTO, L. C. **Ecoeficiência na produção sucroalcooleira no Piauí**. 2018. 174f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Piauí, Piauí, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.ufpi.br/xmlui/handle/123456789/996>>.
12. PÉREZ-GARCIA, J.; LIPPKE, B.; COMNICK, J.; MANRIQUEZ, C. **An assessment of carbon pools, storage and wood products market substitution using life-cycle analysis results**. *Wood and Fiber Science*, v. 37, p. 140-148, 2005.