

Gestão de Resíduos Sólidos 2

Leonardo Tullio
(Organizador)



Leonardo Tullio
(Organizador)

Gestão de Resíduos Sólidos

2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G393 Gestão de resíduos sólidos 2 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Gestão de Resíduos Sólidos; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-188-6

DOI 10.22533/at.ed.886191403

1. Lixo – Eliminação – Aspectos econômicos. 2. Pesquisa científica – Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.).
3. Sustentabilidade. I. Tullio, Leonardo. II. Série.

CDD 363.728

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Neste Volume II, são apresentados 18 artigos que analisaram o potencial de uso de diversos materiais em vários setores, propondo destino correto a esses resíduos.

A construção civil apresenta-se como elevado potencial na incorporação desses resíduos industriais, que podem ser utilizados como matéria-prima alternativa, uma vez que disponíveis em grandes quantidades e sem destinação pela indústria que o produz, sua utilização pode levar a vantagens econômicas, técnicas e ecológicas, ademais solução de muitos problemas da indústria.

Também se observa o potencial de utilização de resíduos da atividade agrícola no meio urbano, sendo assim o aproveitamento, além de minimizar os problemas ambientais, é visto como atividade complementar, que pode contribuir para a diversificação dos produtos e para a diminuição do custo final de produtos.

Todavia, a correta destinação de um resíduo deve ser estudada e tratada com cautela, pois o "desleixo" causa impactos ambientais incalculáveis na sociedade.

Bons estudos.

Leonardo Tullio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
SUSTENTABILIDADE: USO DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E EDUCAÇÃO AMBIENTAL	
<i>Cristine Machado Schwanke</i> <i>Juliana Young</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8861914031	
CAPÍTULO 2	13
UTILIZAÇÃO DE CARVÃO DE CAROÇOS DE BUTIÁ (<i>BUTIA CAPITATA</i>) COMO MEIO DEPURIFICAÇÃO ALTERNATIVA DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO	
<i>Beatriz Stoll Moraes</i> <i>Ferdinando Bisogno de Castro</i> <i>Maick Bravo da Silva</i> <i>Paulo Roberto Diniz da Silva</i> <i>Daniela Lilge Silva</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8861914032	
CAPÍTULO 3	25
USO DE RESÍDUOS DE CELULOSE NA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS	
<i>Genyr Kappler</i> <i>Carlos Alberto Mendes Moraes</i> <i>Regina Célia Espinosa Modolo</i> <i>Juliana Damasio Waschevicz</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8861914033	
CAPÍTULO 4	34
REJEITOS RADIOATIVOS DO MAIOR ACIDENTE RADIOLÓGICO DO BRASIL	
<i>Lení Maria de Souza</i> <i>Francisco Itami Campos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8861914034	
CAPÍTULO 5	46
PRODUÇÃO DE CARBOXIMETILCELULASE E AVICELASE PELO BACILLUS SP SMIA-2 EM MEIO CONTENDO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR	
<i>Andréia Boechat Delatorre</i> <i>Silvania Alves Ladeira</i> <i>Marcela Vicente Vieira Andrade Gonçalves</i> <i>Cristiane de Jesus Aguiar</i> <i>Thiago Freitas de Almeida</i> <i>Meire Leles Leal Martins</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8861914035	
CAPÍTULO 6	55
O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO MERCADO DE EQUIPAMENTOS GAMER	
<i>Felipe Elsemann Barreto</i> <i>Ana Júlia Senna Sarmiento Barata</i> <i>Ricardo Ribeiro Alves</i> <i>Djulia Regina Ziemann</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8861914036	

CAPÍTULO 7 68

ESTUDO PARA INSTALAÇÃO DE CENTROS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO RIO DE JANEIRO EM SEROPÉDICA

Hélio Fernandes Machado Júnior

Rui de Góes Casqueira

Fabíola Oliveira da Cunha

DOI 10.22533/at.ed.8861914037

CAPÍTULO 8 78

ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DA SERICINA EMPÓ RESULTANTE DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DESIDRATADA EM “SPRAY DRYER”

Ana Paula Sone

Camilo Freddy Mendoza Morejon

Marcelino Luiz Gimenes

DOI 10.22533/at.ed.8861914038

CAPÍTULO 9 92

ESTUDO DA CONFORMIDADE DE BLOCOS CERÂMICOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE CHAMOTE E CASCA DE ARROZ

Ivando Stein

Maurício Livinali

Éder Claro Pedrozo

Lucas Fernando Krug

DOI 10.22533/at.ed.8861914039

CAPÍTULO 10 103

ESTUDO COMPARATIVO DO LIXIVIADO GERADO POR RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICO E ELETROELETRÔNICO EM SIMULAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

Beatriz Rodrigues de Barcelos

Caio Soares Camargos

Gabriel Alves Teixeira

Lorena Silva Pereira

Ygor dos Santos Carneiro

DOI 10.22533/at.ed.88619140310

CAPÍTULO 11 116

DESMONTAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE LÂMPADAS LED PARA RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS

Emanuele Caroline Araujo dos Santos

Alini Luísa Diehl Camacho

Leonardo Daniel Rauber

Carlos Alberto Mendes Moraes

DOI 10.22533/at.ed.88619140311

CAPÍTULO 12 126

CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE PETROLINA/PE

David José Oliveira da Silva

Iago Santos Calábria

Walter de Moraes Calábria Junior

DOI 10.22533/at.ed.88619140312

CAPÍTULO 13 136

AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE RESÍDUOS GERADOS PELA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE COMO MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA A INDÚSTRIA CIMENTEIRA

Joana Gomes Meller
Letícia Torres Maia
Oscar Rubem Klegues Montedo
Dachamir Hotza
Hiany Mehl Zanlorenzi
Silvana Meister Sommer

DOI 10.22533/at.ed.88619140313

CAPÍTULO 14 147

ANÁLISE DOS PLANOS MUNICIPAIS DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO ESTADO DO PARANÁ

Daniel Poletto Tesser
Luciana Janoni Botelho de Freitas do Nascimento
Antônio Carlos de Francisco
Cassiano Moro Piekarski

DOI 10.22533/at.ed.88619140314

CAPÍTULO 15 160

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO AQUECIMENTO DE ÁGUA ATRAVÉS DE UM AQUECEDOR SOLAR FEITO COM MATERIAL RECICLÁVEL

Maiara Stein Wünsche
Nadine Rech Medeiros Serafim
Rafaela Picolotto

DOI 10.22533/at.ed.88619140315

CAPÍTULO 16 170

ANÁLISE DA MISTURA DO AGREGADO RECICLADO DE RCD ASSOCIADO AO SOLO LATERÍTICO PARA UTILIZAÇÃO NA CAMADA DE BASE DE PAVIMENTOS

Natássia da Silva Sales
Caio César Luz Araújo

DOI 10.22533/at.ed.88619140316

CAPÍTULO 17 182

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

Lilian de Castro Moraes Pinto
Maria do Socorro Lira Monteiro

DOI 10.22533/at.ed.88619140317

CAPÍTULO 18 191

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA NACIONAL E INTERNACIONAL SOBRE TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Manoela Paiva de Amorim Santos
Rafael de Freitas Taves
Alexandre Lioi Nascentes
Armando Borges de Castilhos Junior

DOI 10.22533/at.ed.88619140318

SOBRE O ORGANIZADOR..... 203

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

Lilian de Castro Moraes Pinto

Universidade de Brasília, Brasília, DF

Maria do Socorro Lira Monteiro

Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI

RESUMO: O Brasil é o líder mundial do setor de agroenergia devido à sua produção de etanol à base de cana-de-açúcar. 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 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, a eficiência energética do sistema foi de 10,30. 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. 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 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. 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 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, the net energy balance of the system was 10.30. In addition, the fossil energy consumption in the agricultural phase was lessened due to the application of filter mud, which partially replaced chemical fertilization. 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 and sustainable in the generation of this type of waste, because of its reduction of dependence on fossil fuels.

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

1 | 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 entremeado 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).

2 | 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.

3 | 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.

Dimensão	Indicadores de Ecoeficiência	
	Indicadores Gerais	Indicadores Consolidados A Valor B 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.
Ambiental	E. Geração de resíduos sólidos	C/E. Produção de açúcar por kg de resíduos sólidos gerados. D/E. Lucro bruto de açúcar por kg de resíduos sólidos gerados.

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).

4 | 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.

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\$

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

Fonte: MORAES PINTO (2018).

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.

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

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

Fonte: MORAES PINTO (2018)

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 diminuíram 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.

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

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

Fonte: MORAES PINTO (2018).

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 organomineral 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.

5 | 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

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040:2009**. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. 2009a.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044:2009**. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações. 2009b.

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.

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.

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.

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.

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.

GOLDENBERG, J.; COELHO, S. T.; GUARDABASSI, P. **The sustainability of ethanol production from sugarcane.** Energy Policy, v. 36, n. 6, p. 2086-2097, 2008.

HOFSETZ, K.; SILVA, M. A. **Brazilian sugarcane bagasse: Energy and non-energy consumption.** Biomass and Bioenergy, v. 46, p. 564-573, 2012.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia do trabalho científico.** São Paulo: Atlas, 2009. 228 p.

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>>.

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.

SOBRE O ORGANIZADOR

Leonardo Tullio - Doutorando em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná – UFPR (2019-2023), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR (2014-2016), Especialista MBA em Agronegócios – CESCAGE (2010). Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais- CESCAGE/2009). Atualmente é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-188-6

