



**SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR: AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO
AMBIENTAL**

Juliana Ferreira **Picoli**¹; Ricardo Tadeu **Gomes**² e Marília Ieda da Silveira Folegatti **Matsuura**³

Nº 14415

RESUMO—A cultura da cana-de-açúcar no Brasil estende-se por uma área de 8,4 milhões de hectares e atinge uma produção anual de 642 milhões de toneladas. O setor sucroalcooleiro brasileiro tem um diferencial ambiental positivo, especialmente representado pela produção do etanol, combustível renovável, proveniente da cana-de-açúcar. O país é destaque mundial no uso de energias renováveis, que representam mais de 44% da sua matriz energética, e os produtos da cana-de-açúcar são responsáveis por 15,7% de toda a oferta de energia do país. No entanto, dada a grande extensão de território brasileiro e a enorme diversidade de ecossistemas, os sistemas de produção praticados no Brasil variam de forma significativa e, conseqüentemente, a eficiência da produção e os impactos ambientais também variam. Neste contexto, a Avaliação de Ciclo de Vida permite uma análise crítica do processo produtivo e dos impactos ambientais gerados, indicando pontos a serem melhorados para a obtenção de um sistema mais sustentável. No presente trabalho, foi avaliado o desempenho ambiental de sistema de produção de cana-de-açúcar praticados em duas regiões brasileiras: a) tradicional, Sudeste; e b) tradicional, Nordeste. Futuramente o estudo incluirá uma terceira região, de expansão no Centro-Oeste. Os resultados mostram que o sistema de produção adotado nas regiões tradicionais do Sudeste do país, mais tecnificado e instalado em áreas de solos mais férteis, tem melhor desempenho ambiental que o praticado em áreas tradicionais da região Nordeste. O emprego de grandes quantidades de fertilizantes sintéticos, bem como a queimada prévia à colheita, são práticas que contribuem grandemente para os impactos ambientais.

Palavras-chaves: Avaliação do Ciclo de Vida, Avaliação de Impactos Ambientais, Agroecossistema.

1 Autor, Bolsista Embrapa: Graduação em Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas-SP; picoli.ju@gmail.com

2 Colaborador, Bolsista Embrapa: Graduação em Tecnologia em Saneamento Ambiental, UNICAMP, Limeira-SP.

3 Orientador: Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna-SP; marilia.folegatti@embrapa.br.



**VIII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC2014
12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo**

ABSTRACT- *Sugarcane cultivation in Brazil extends over an area of 8.4 million hectares and reaches an annual yield of 642 million tons. The Brazilian sugarcane sector has a positive environmental advantage, represented especially by the production of ethanol, a renewable biofuel. Brazil is internationally recognized by the use of renewable energies, which account for over 44% of its energy matrix. The products of cane sugar are responsible for 15.7% of the country's energy supply. However, given the large expanses of the Brazilian territory and the huge diversity of ecosystems, the production systems practiced in Brazil are diverse and, consequently, the production efficiency and the environmental impacts can vary substantially. In this context, the Life Cycle Assessment provides a critical analysis of the production process and the associated environmental impacts, indicating points to be improved to obtain a more sustainable crop production system. In the present study, the environmental performance of the sugarcane was evaluated in two traditional Brazilian production areas, the Southeast and Northeast regions. A third region, the expansion areas in the Midwest Brazil, will be included in a future study. The production system adopted in the traditional regions of the Southeast, more intensive in technology and cultivated in areas of more fertile soils, have shown better environmental performance than those applied in traditional areas in the Northeast. The use of large amounts of synthetic fertilizers and burning prior to harvesting, were practices that contributed greatly to the environmental impacts of the sugarcane production systems.*

Key-words: Life Cycle Assessment, Environmental Impact Assessment, Agroecosystem.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil, o maior produtor mundial de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.), produziu na safra de 2012/2013 mais de 588 milhões de toneladas deste produto, sendo cerca de 65% no Sudeste, 18% no Centro-Oeste e 9% no Nordeste, resultando em mais de 23 bilhões de litros de álcool e 38 milhões de toneladas de açúcar (CONAB, 2013).

O setor sucroalcooleiro brasileiro tem um diferencial ambiental positivo, especialmente representado pela produção do etanol, combustível limpo e renovável, proveniente da cana-de-açúcar. No entanto, dada a grande extensão de território brasileiro e a enorme diversidade de ecossistemas, os sistemas de produção praticados no Brasil variam de forma significativa e, conseqüentemente, a eficiência da produção e os impactos ambientais também variam.



VIII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC2014 12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo

Um sistema de produção pode ser conceituado como um conjunto de sistemas de cultivo ou de criação no âmbito de uma propriedade rural, definidos a partir dos fatores de produção (terra, capital e mão-de-obra) e interligados por um processo de gestão (HIRAKURI *et al.*, 2012). Segundo Neves *et al.*, cada conjunto de atividades e operações agrícolas que compõe um sistema de produção confere uma identidade tecnológica ao sistema.

Em geral, os sistemas de produção da cana-de-açúcar apresentam as seguintes atividades: preparo do solo; plantio; tratos culturais; colheita e transporte. Eles podem ser agrupados em duas grandes regiões e variam quanto ao seu nível tecnológico: Centro-Sul, com alto nível tecnológico, e Nordeste, com baixo nível tecnológico e, conseqüentemente, menor produtividade.

Na região Centro-Sul, a maioria das operações de preparo do solo é mecanizada. Já na região Nordeste é comum que as operações agrícolas sejam feitas de forma manual, devido à alta declividade do terreno. O plantio da cana-de-açúcar é realizado em diferentes épocas: geralmente nos meses de janeiro a maio, na região Centro-Sul, e nos meses de setembro e outubro, na região Nordeste (SEGATO *et al.*, 2006). Devido às diferentes épocas de plantio, a colheita da cana-de-açúcar também ocorre em períodos distintos: no caso do Centro-Sul, o processo inicia-se geralmente em maio, prolongando-se até o mês de novembro; na região Nordeste, inicia-se no mês de setembro e continua até março, sendo feita de forma manual, precedida por queima (MARQUES, 2009).

Segundo Ripoli (2005), existem três tipos de sistemas de colheita de cana-de-açúcar. O sistema manual, que consiste no emprego da mão-de-obra para o corte e carregamento da matéria-prima. O sistema semi-mecanizado, no qual o corte é manual e o carregamento é mecanizado. Por fim, tem-se o sistema mecanizado, no qual a matéria-prima é cortada e carregada por máquinas, sem a utilização direta da mão-de-obra. Nas regiões de expansão da cana-de-açúcar, principalmente no Estado de São Paulo, o avanço da mecanização é acentuado. Cabe destacar que corte mecanizado da cana-de-açúcar dispensa a prévia queimada, prática prejudicial ao meio ambiente e à saúde da população (MOREIRA, 2010).

Os diferentes tipos de impactos gerados por cada sistema de produção podem ser avaliados pela metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A ACV é uma metodologia utilizada para avaliar os impactos ambientais causados por um produto ou processo durante todo o seu ciclo de vida ou cadeia de produção, ou seja, desde a extração de recursos junto à natureza até sua disposição junto ao ambiente, incluindo as etapas de transporte (SEO; KULAY, 2006). Também se aplica à identificação dos estágios do ciclo de vida que mais contribuem para a geração de impactos; à avaliação da implementação de melhorias; à integração de aspectos ambientais ao projeto e



VIII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC2014 12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo

desenvolvimento de produtos; e ao subsídio a declarações ambientais. É uma metodologia com forte base científica e reconhecida internacionalmente (ABNT, 2009).

Este estudo avaliou o desempenho ambiental da cana-de-açúcar, considerando diferentes sistemas de produção praticados nas regiões: a) tradicional, no Sudeste; b) tradicional, no Nordeste. Futuramente o estudo incluirá uma terceira região, de expansão no Centro-Oeste. Então, os sistemas de produção representativos das diferentes regiões brasileiras serão reunidos para gerar inventários consolidados da produção de cana-de-açúcar e derivados no país.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia de ACV é realizada em quatro fases principais: a) definição dos objetivos e escopo; b) análise do Inventário de Ciclo de Vida (ICV); c) avaliação dos impactos ambientais associados ao sistema (AICV); e d) interpretação dos resultados (ABNT, 2009). Este trabalho se baseou nos requisitos técnicos da norma ABNT NBR ISO 14044:2009 (ABNT, 2009).

2.1 Definição dos objetivos e escopo

O objetivo do estudo foi avaliar o desempenho ambiental da cana-de-açúcar obtida por diferentes sistemas de produção. O escopo do trabalho é apresentado abaixo:

2.1.1 Sistemas de produto

Definiu-se como sistemas de produto, os sistemas de produção de cana-de-açúcar adotados nas macrorregiões Centro-Sul Tradicional (Catanduva – SP) e Nordeste Tradicional (Maceió – AL).

2.1.2 Função e unidade funcional

A função dos sistemas é produzir cana-de-açúcar destinada à indústria sucroalcooleira. A unidade funcional dos sistemas é a produção de 1 tonelada de cana-de-açúcar.

2.1.3 Fronteiras

Os processos incluídos nos sistemas de produto são a produção e transporte de insumos agrícolas (incluindo óleo diesel e mudas) e a produção de cana-de-açúcar.



VIII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC2014 12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo

2.1.4 Fontes de dados

Os dados de emissões foram estimados com base em modelos apresentados na literatura científica (CANALS, 2003; IPCC, 2006; NEMECEK & KÄGI, 2007; SCHMIDT, 2007).

Já os dados referentes à produção de cana-de-açúcar nas regiões de Catanduva (SP) e Maceió (AL) foram fornecidos pelo Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas – PECEGE (PECEGE, 2013), levantados por meio de painéis (Tabela 1).

Tabela 1. Cidades e regiões em que os painéis foram realizados na safra 2012/2013.

| Macrorregião | Painel | UF |
|------------------------|-------------|----|
| Centro-Sul Tradicional | Assis | SP |
| | Catanduva | SP |
| | Jacarezinho | PR |
| | Jaú | SP |
| | Piracicaba | SP |
| | Porecatu | PR |
| | Sertãozinho | SP |
| Nordeste Tradicional | João Pessoa | PB |
| | Maceió | AL |
| | Recife | PE |

Fonte: Dados do PECEGE (2013), adaptado.

2.2 Análise do Inventário de Ciclo de Vida

Os inventários da etapa agrícola da produção de cana-de-açúcar basearam-se nos levantamentos do PECEGE, para a entrada de material e energia nos sistemas produtivos, sendo as emissões para os compartimentos ambientais estimadas por modelos matemáticos.

Os inventários da produção de insumos agrícolas e de óleo diesel corresponderam aos disponíveis na base de dados Ecoinvent v. 2.2, adequados para as condições brasileiras.

2.3 Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV)

Para a avaliação dos impactos ambientais do ciclo de vida foi adotado o método ReCiPe Midpoint (H) V1.07 / World ReCiPe H, desconsiderando-se as categorias de impacto não pertinentes à natureza dos processos principais em estudo. Vale destacar que não foram contabilizadas as emissões derivadas do uso de pesticidas.



VIII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC2014 12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo

O balanço de emissões de gases de efeito estufa (GEE) foi avaliado pelo método IPCC 2007 GWP 100a, versão 1.02 (IPCC, 2007), e o balanço energético, pelo método “Cumulative Energy Demand” (CED), versão 1.08 (FRISCHKNECHT E JUNGLUTH, 2003). Foi usado como software de apoio o SimaPro, versão 7.3.3.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aplicada a normalização aos resultados de avaliação de impactos, as categorias de impacto que mais contribuíram para o impacto total foram Toxicidade Humana, Formação de Material Particulado e Eutrofização de Água Doce. Com importância secundária, Ocupação de Terra Agricultável, Formação de Oxidantes Fotoquímicos, Ecotoxicidade de Água Doce e Acidificação Terrestre (Figura 1).

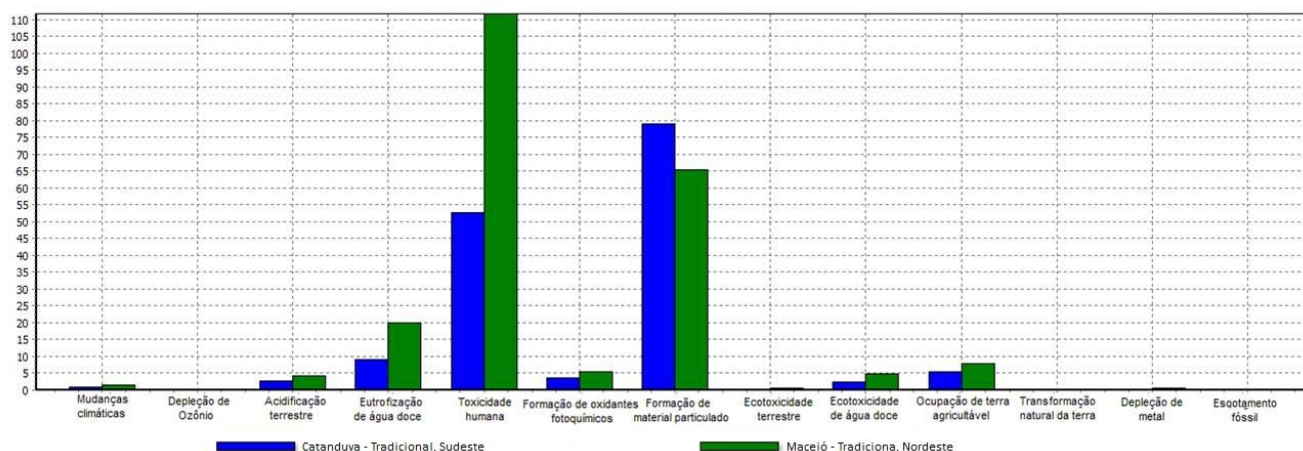


Figura 1. Resultados da avaliação de impactos do ciclo de vida, normalizados.

As principais substâncias responsáveis pelo impacto de Toxicidade Humana foram o nitrato lixiviado para águas subterrâneas e óxidos de nitrogênio e amônia liberados para a atmosfera, aportadas ao sistema produtivo pelo fertilizante nitrogenado. Para o impacto Formação de Material Particulado contribuíram as substâncias monóxido de carbono e óxidos de nitrogênio, originários da queima da cana-de-açúcar pré-colheita e da combustão de diesel em operações de transporte. Já para a Eutrofização de Água Doce, os principais contaminantes foram o fosfato destinado diretamente à água ou ao solo, emitido na atividade agrícola e na fase de produção de fertilizantes fosfatados.

Comparando-se os sistemas de produção praticados no Sudeste e Nordeste nota-se que o sistema praticado na área tradicional de produção no Sudeste tem melhor desempenho ambiental em todas as categorias de impacto, exceto Formação de Material Particulado (Figura 2). Este melhor

desempenho ambiental se explica principalmente pela maior produtividade agrícola do sistema praticado no Sudeste (80 t ha^{-1}), frente ao do Nordeste (60 t ha^{-1}), bem como pela maior fertilidade dos solos da primeira região, o que exige menor emprego de fertilizantes sintéticos.

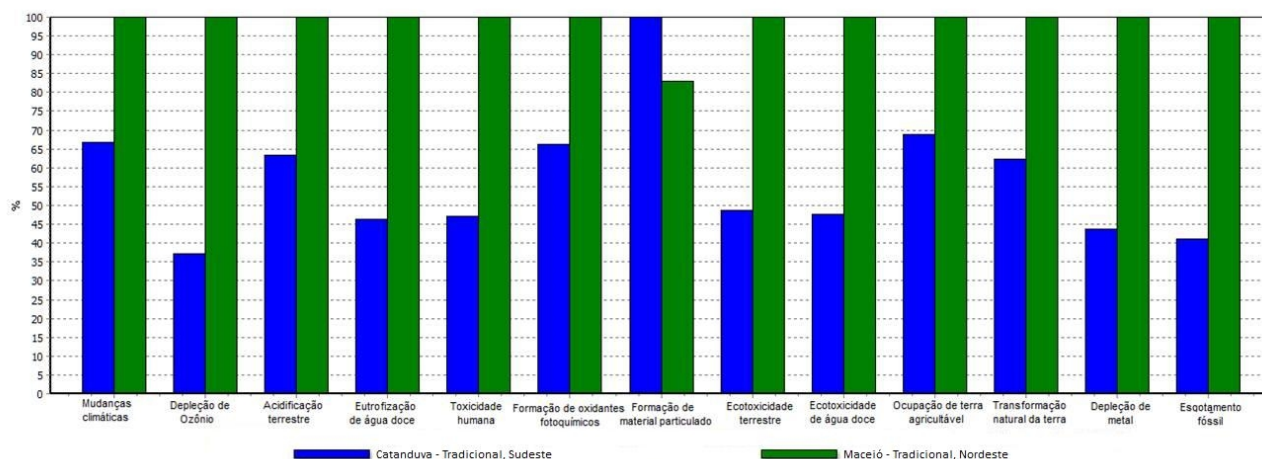


Figura 2. Resultados da avaliação de impactos do ciclo de vida, caracterizados.

Para a categoria ‘Mudanças Climáticas’ contribuíram as emissões de dióxido de carbono fóssil, de óxido nitroso e de metano biogênico da fase agrícola de produção. O sistema de produção praticado no Sudeste emitiu $6,71\text{E}3 \text{ kg de CO}_2 \text{ eq}$ por tonelada de cana-de-açúcar produzida, enquanto o do Nordeste emitiu $1\text{E}4 \text{ kg de CO}_2 \text{ eq}$.

Quanto à Demanda Acumulada de Energia, o sistema do Nordeste consumiu mais energia em todas as modalidades contabilizadas (não renováveis e renováveis).

4 CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho mostram que o sistema de produção adotado nas regiões tradicionais do Sudeste do país (Catanduva - SP), mais tecnificado e instalado em áreas de solos mais férteis, tem melhor desempenho ambiental que o praticado em áreas tradicionais da região Nordeste.

O emprego de grandes quantidades de fertilizantes sintéticos, bem como a queimada prévia à colheita, são práticas que contribuem grandemente para os impactos ambientais. A adoção de práticas conservacionistas, como por exemplo, manutenção da palhada no solo e rotação de culturas, poderia contribuir para a melhora do desempenho ambiental destes sistemas de produção.

Na sequência deste estudo será realizada a análise do sistema de produção adotado para a canavicultura da região de expansão da cana-de-açúcar no Centro-Oeste. Reunidos os sistemas de



VIII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC2014 12 a 14 de agosto de 2014 – Campinas, São Paulo

produção representativas das regiões brasileiras, será gerado o inventário consolidado da produção de cana-de-açúcar no país.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e à Embrapa (Projeto SISCANA).

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14044: Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações**. Rio de Janeiro, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto de 2013**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_08_08_09_39_29_boletim_cana_portugues_-_abril_2013_1o_lev.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2014

FRISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N. **Implementation of life cycle impact assessment methods: final Report Ecoinvent 2000**. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2003.

HIRAKURI, Marcelo Hiroshi et al. **Sistemas de Produção: conceitos e definições no contexto agrícola**. Londrina: Embrapa Soja, 2012. 14 p. Disponível em: <http://www.cnpso.embrapa.br/download/Doc_335-OL.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2014.

IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **IPCC Fourth Assessment Report: the physical science basis**. Genebra: IPCC, 2007. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>>. Acesso em: 12 dez. 2013.

MARQUES, P.V. (Coord.) **Custo de produção agrícola e industrial de açúcar e álcool no Brasil na safra 2007/2008**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/Departamento de Economia, Administração e Sociologia. 2009. 194 p. Disponível em: <http://www.udop.com.br/download/estatistica/publicacoes/pecege_17032010_1456.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2014.

NEVES, Evaristo M. & AZEVEDO Fo., A.J.B.V. **Sistemas de produção agrícola. Mudanças nas políticas governamentais e seus efeitos nas estimativas de custos**. O solo, Piracicaba, 76(1):3138, jan./jun. 1984.

NEMECEK, T.; KÄGI, T. **Life cycle inventories of agricultural production systems**. Data v2.0 (2007). Zürich and Dübendorf: ART, 2007. 46 p. (Ecoinvent Report, 15).

PECEGE. **Custos de produção de cana-de-açúcar, açúcar e etanol no Brasil: Fechamento da safra 2012/2013**. Piracicaba: Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Programa de Educação Continuada em Economia e Gestão de Empresas/ Departamento de Economia, Administração e Sociologia. 2013. 67 p.

SEO, E.S.M e KULAY, L.A. **Avaliação do ciclo de vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão**. Interfacehs, 2006.