



Adaptação de inventários de ciclo de vida de cana-de-açúcar para o contexto brasileiro

Juliana F. Picoli¹, Marília I. S. F. Matsuura², Mateus F. Chagas³, Otávio Cavalett³, Leticia S. Barrantes⁴, Giovanna Chiumento⁴, Cassia M. L. Ugaya^{4,9}, Luciano B. Rodrigues⁵, Henrique L. Maranduba⁶, José A. Almeida- Neto⁶, André May⁷, Renan M. L. Novaes², Ricardo A. A. Pazianotto², Cristiano A. Andrade², Adriana Pires², Fernando R. T. Dias⁸, Luiz G. S. Hilara², Keryman R. Costa²

¹Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM/UNICAMP), julianafp@fem.unicamp.br

²Embrapa Meio Ambiente (CNPMA)

³Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE)

⁴Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

⁵Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB)

⁶Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC)

⁷Embrapa Milho e Sorgo (CNPMS)

⁸Embrapa Pantanal (CPAP)

⁹Bolsista Produtividade CNPq

Resumo. O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo produzido cerca de 635 milhões de toneladas na safra de 2014/2015, que ocupou cerca de 9 milhões de ha. A magnitude deste setor tem suscitado a preocupação com sua sustentabilidade, refletida nos muitos estudos hoje disponíveis sobre a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) da cana-de-açúcar e seus derivados. Para que os estudos de ACV representem adequadamente a produção brasileira de cana-de-açúcar, as especificidades das diferentes regiões produtoras devem ser consideradas e estar refletidas nos Inventários de Ciclo de Vida (ICV). A literatura da área não disponibiliza trabalhos com estas características. Sendo assim, os objetivos do presente estudo foram: (1) gerar inventários da produção de cana-de-açúcar representativos das principais regiões produtoras brasileiras; (2) a partir destes, gerar um inventário representativo da produção nacional de cana-de-açúcar; (3) comparar este inventário ao que consta atualmente da base de dados ecoinvent; e (4) analisar o impacto do uso destes diferentes inventários na qualidade dos resultados da Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida (AICV). Foram gerados inventários para os sistemas de produção típicos de cada um dos principais estados produtores brasileiros - SP, GO, MG, PR, MS, AL e MT -, agregados em um inventário nacional. A unidade de análise adotada foi 1 t de cana-de-açúcar; os fluxos de referência foram estabelecidos com base na produtividade agrícola de cada região. Efetuou-se ajustes nos parâmetros de entrada dos modelos para estimativas de emissões. As Mudanças de Uso da Terra (MUT) e suas emissões derivadas foram contabilizadas. A AICV foi realizada pelo método ReCiPe Midpoint (H) V1.12 / World ReCiPe H, desconsiderando-se as categorias de impacto não pertinentes à natureza dos processos em estudo. Confirmou-se o efeito da regionalização dos inventários nos resultados da AICV da cana-de-açúcar. Dez, dentre 14 categorias analisadas, mostraram diferenças de 20% a 98% nos resultados de impacto. As principais causas destas diferenças foram: (a) tipos e quantidades diferentes de fertilizantes e pesticidas aportados ao sistema; (b) ocorrência da colheita mecanizada, sem queima; (c) contabilização das emissões de gases de efeito estufa por MUT. Os autores confirmam a importância da regionalização de inventários para a qualidade dos resultados de estudos de ACV

Palavras-chave. Setor sucroalcooleiro, avaliação de impacto ambiental, avaliação de ciclo de vida.

Introdução

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo produzido 635 milhões de toneladas na safra de 2014/2015, ocupando uma área de 9 milhões de ha. Cerca de 90% desta produção provieram da região Centro-Sul do país. O setor sucroalcooleiro movimentou, neste mesmo período, cerca de 45 bilhões de dólares (CONAB, 2015). Devido à significativa participação do setor sucroalcooleiro na economia brasileira e à crescente preocupação com os impactos ambientais por ele gerados, estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) dos sistemas de produção de cana-de-açúcar ganham importância.

A ACV é uma ferramenta de gestão que permite avaliar os impactos ambientais de produtos ao longo de seu ciclo de vida, identificando pontos críticos e contribuindo para a melhoria do seu desempenho ambiental. Uma



das etapas fundamentais de um estudo de ACV é a elaboração de Inventários de Ciclo de Vida (ICV), conjuntos de dados que contabilizam todas as entradas e saídas de material e energia representativas de um sistema de produto. A qualidade dos dados coletados nesta etapa está fortemente relacionada à representatividade do estudo de ACV, tornando imprescindível a consideração das particularidades da região onde é realizado (SEO E KULAY, 2006).

Apesar de existirem inventários de cana-de-açúcar em bases de dados de ACV, poucos representam adequadamente a realidade brasileira. Adicionalmente, a elaboração destes inventários é um grande desafio, considerando as diferentes regiões produtoras e suas particularidades de clima, solo e nível tecnológico. As principais diferenças regionais estão relacionadas aos parâmetros técnicos do processo agrícola e parâmetros de entrada dos modelos de estimativa de emissões.

Neste trabalho foram elaborados inventários dos sistemas de produção de cana-de-açúcar típicos de cada um dos principais estados produtores brasileiros (que juntos somam aproximadamente 93% da produção nacional): São Paulo (SP, com 57% da produção nacional), Goiás (GO, 9%), Minas Gerais (MG, 9%), Paraná (PR, 6%), Mato Grosso do Sul (MS, 6%), Alagoas (AL, 3%) e Mato Grosso (MT, 3%). Sendo São Paulo o maior estado produtor do país e havendo diferenças significativas entre os sistemas de produção adotados em diferentes regiões do estado, estas regiões foram caracterizadas separadamente: Ribeirão Preto (com 43% da produção de SP), São José do Rio Preto (31%), Araçatuba (15%), Piracicaba (7%) e Catanduva (4%) (CONAB, 2014; IBGE, 2014). O “inventário nacional resultante da agregação de inventários regionalizados” foi comparado a um “inventário contido em base de dados internacional” para a análise do efeito da regionalização na qualidade dos resultados da avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV) da cana-de-açúcar.

Material e Métodos

O método utilizado neste trabalho foi baseado nos requisitos técnicos das normas ABNT NBR ISO 14040:2009 e ABNT NBR ISO 14044:2009 (ABNT, 2009 a, b).

Definição do objetivo e escopo

Os objetivos deste estudo foram: (1) gerar inventários da produção de cana-de-açúcar representativos das principais regiões produtoras brasileiras; (2) a partir destes, gerar um inventário representativo da produção nacional de cana-de-açúcar; (3) comparar este inventário ao que consta atualmente na base de dados ecoinvent, a principal base de dados internacional de ICV; e (4) analisar o impacto do uso destes diferentes inventários na qualidade dos resultados da avaliação de impactos do ciclo de vida.

Os sistemas de produto corresponderam aos sistemas de produção de cana-de-açúcar típicos de cada um dos principais estados produtores brasileiros: São Paulo (composto pelos inventários das regiões de Ribeirão Preto, São José do Rio Preto, Araçatuba, Piracicaba e Catanduva), Goiás, Minas Gerais, Paraná, Mato Grosso do Sul, Alagoas e Mato Grosso. A unidade de análise adotada foi uma tonelada de cana-de-açúcar. O fluxo de referência (FR) foi estabelecido com base na produtividade agrícola de cada região. O inventário adotado para comparação foi o “sugarcane, at farm/BR U, da base ecoinvent v. 3.1.

Fronteiras do sistema

Os processos incluídos nos sistemas de produto são: (1) produção de insumos agrícolas; (2) operações agrícolas; e (3) produção de cana-de-açúcar (Figura 1). Os processos de transporte dos insumos até o canavial e da cana-de-açúcar até a unidade de processamento não foram considerados. Mudanças, torta e cinzas são insumos particulares: o processo de produção de mudas pode ser considerado equivalente ao da produção de cana, portanto sua inclusão no sistema representou no inventário um decréscimo na massa de cana produzida; torta e

cinzas correspondem a resíduos da fase industrial e como tal não trazem consigo a carga ambiental dos processos que os geraram.

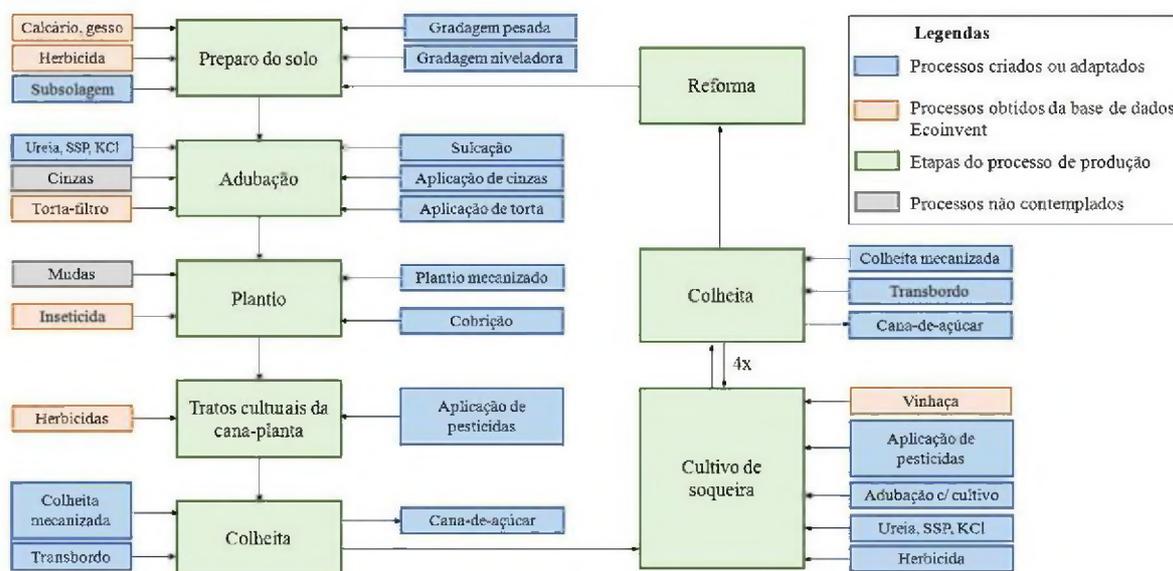
Fonte de dados

Para os inventários da produção de cana-de-açúcar dos sistemas típicos das regiões estudadas, os dados de entrada foram adaptados a partir dos levantamentos do Instituto de Desenvolvimento Agroindustrial (IDEA, 2014), com exceção dos dados sobre pesticidas, obtidos por consulta a especialista (MAY, 2015).

Já os dados de emissões foram estimados com base em modelos da literatura científica (CANALS, 2003; GREET, 2010; NEMECEK E SCHNETZER, 2011), adequados para as condições brasileiras. A lixiviação e perda de fósforo por escoamento superficial não foram contabilizadas nos inventários devido à baixa solubilidade deste elemento nos solos brasileiros (NOVAIS E SMYTH, 1999).

As emissões derivadas de Mudança de Uso da Terra foram calculadas para todos os estados utilizando uma metodologia que vem sendo desenvolvida pela Embrapa Meio Ambiente (NOVAES et al., 2016). A metodologia seguiu orientações do IPCC (2006) e está em consonância com métodos utilizados internacionalmente (BSI, 2011). Se baseou em dados de estatísticas agrícolas nacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e do Instituto Brasileiro de Árvores (IBA) e avaliou a mudança no período de 20 anos, entre 1994 e 2013. Os inventários de operações agrícolas foram gerados por especialistas do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CAVALETT et al., 2016) e consideram equipamentos e coeficientes técnicos representativos da canavicultura brasileira. Os inventários da produção de fertilizantes foram gerados por especialistas do Grupo de Prevenção à Poluição da USP (GP2). Os demais inventários da produção de insumos agrícolas (calcário, gesso e pesticidas) corresponderam aos disponíveis na base de dados ecoinvent v. 3.1.

Figura 1: Fronteiras do sistema considerado para o inventário da produção de cana-de-açúcar.



Método para a elaboração dos inventários do ciclo de vida

Para que os inventários melhor representassem o sistema de produção de cana-de-açúcar, foi necessário ajustar os dados de entrada e de produção obtidos em IDEA (2014) para um “hectare médio de produção”. Para tanto, considerou-se que um sistema de produção de ciclo médio de cinco cortes é composto pelas seguintes fases, convertidas em área: (1) implantação ou reforma do canavial; (2) cana-planta; e (3) cana-soca. Foram



consideradas ainda as seguintes variáveis, também convertidas em área: (a) proporção de “cana de ano” e “cana de ano e meio”; (b) proporção da área de plantio manual e mecanizado; (c) proporção da área de colheita manual e mecanizada; (d) proporção da área que recebe aplicação de resíduos agroindustriais (vinhaça, torta, cinzas).

Para contabilizar a produção de mudas, optou-se por descontá-la da produção total de cana-de-açúcar, de forma similar à feita por Jungbluth et al. (2007). Não foi considerada a aplicação de potássio em área de aplicação de vinhaça, nem a aplicação de fósforo em área de aplicação de torta-filtro.

Quanto ao cálculo de emissões, os principais parâmetros dos modelos propostos por Nemecek e Schnetzer (2011) foram regionalizados com base em trabalhos da literatura científica (BONOMI et al., 2012; CGEE, 2012; DEMATTÊ, 2004; MACEDO, 2005; MELLO et al., 2014).

Todos os inventários de “1 ha médio” foram então convertidos para “1 t de cana-de-açúcar”, considerando a produtividade de cada região. Para a composição do inventário da produção de cana-de-açúcar nacional, os inventários regionais foram agregados em função da sua contribuição relativa ao volume total de cana produzido pelo conjunto das regiões.

Método para a avaliação de impactos do ciclo de vida

Para a avaliação dos impactos do ciclo de vida foi adotado o método ReCiPe Midpoint (H) V1.12 / World ReCiPe H, desconsiderando-se as categorias de impacto não pertinentes à natureza dos processos em estudo. Foi usado como software de apoio o SimaPro®, versão 8.1.1.16 e a base de dados ecoinvent v3.1.

Resultados e Discussão

Analisando o perfil ambiental obtido a partir do inventário nacional da produção de cana-de-açúcar gerado com base em dados regionalizados (ICV BR regionalizado), em comparação ao inventário da cana-de-açúcar brasileira obtido da base de dados internacional (ICV BR BDI), nota-se que apenas as categorias de impacto Toxicidade Humana, Ocupação de Terra Agrícola, Depleção de Metais e Depleção Fóssil tiveram menores alterações (isto é, a diferença foi $\leq 10\%$).

Quanto às outras dez categorias de impacto consideradas, as diferenças foram maiores que 20% e, no caso da Ecotoxicidade Terrestre (ET), atingiu 98%. Para a ET, o ICV BR BDI contabilizou 4,75E+00 kg de 1,4 DB eq. por tonelada de cana (TC), enquanto o ICV BR regionalizado contabilizou 9,17E-02 kg de 1,4 DB eq. A principal substância que contribuiu para este impacto foi o inseticida Aldrin (4,28E+00 kg de 1,4 DB eq./TC), um composto organoclorado com alta persistência no ambiente e capacidade de bioacumulação, cujo uso foi proibido no Brasil desde 1985. Outros dois pesticidas, os herbicidas Atrazina e Linuron, também estavam incluídos no ICV BR BDI em quantidades muito superiores às do ICV BR regionalizado.

As mesmas substâncias foram as principais responsáveis também pelo impacto Ecotoxicidade de Água Doce (EcAD), pela análise que usou o ICV BR BDI - Atrazina (2,58E-01 kg de 1,4 DB eq/TC), Linuron (8,65E-02 kg de 1,4 DB eq/TC) e Aldrin (5,63E-02 kg de 1,4 DB eq/TC), presentes em quantidades muito inferiores no ICV BR regionalizado. As diferenças entre os valores encontrados para os dois ICV foram, neste caso, superiores a 70%.

Em outras três categorias de impacto o desempenho ambiental foi superior quando se tomou como base o ICV BR regionalizado: Formação de Oxidantes Fotoquímicos (FOF), Depleção de Água (DA) e Depleção da Camada de Ozônio (DCO) - sendo as diferenças entre ICV correspondentes a 79%, 70% e 24%, respectivamente.

Ao se usar o ICV BR BDI, o impacto de FOF contabilizou 1,44 kg NMVOC/TC, tendo o CO biogênico a maior participação neste impacto (1,37 kg NMVOC/TC). Este poluente deriva principalmente da queima da cana-de-



açúcar na colheita manual. Este inventário considera a prática de colheita manual em 80% da área, enquanto a média do ICV BR regionalizado é muito inferior (19%).

A Depleção de Água foi outra categoria de impacto muito influenciada pela diferença dos inventários. Quando usado o ICV BR BDI, os principais processos a consumir este recurso são a produção de ácido sulfúrico e de ácido fosfórico, componentes do fertilizante diamônio fosfato (DAP), e a produção do fertilizante cloreto de potássio. O DAP não está incluído no ICV BR regionalizado, que considera o superfosfato simples (SSP) como o único fertilizante fosfatado da cultura. A quantidade total de fertilizantes fosfatados no sistema de produção descrito pelo ICV BR BDI (7.31E-01 kg t-1 de cana) é muito maior que a média considerada no ICV BR regionalizado (4.57E-01 kg t-1 de cana). O mesmo vale para o cloreto de potássio, cuja quantidade presente no ICV BR BDI (1.66E+00 kg t-1 de cana) é superior à contabilizada no ICV BR regionalizado (1.10E+00 kg t-1 de cana).

Quanto à Depleção da Camada de Ozônio (DCO), o desempenho observado é pior quando usado o ICV BR BDI devido ao processo de produção de triclorometano, componente de pesticidas. O resultado difere daquele obtido com o ICV BR regionalizado porque este último soma um número menor de tipos de pesticidas e também uma massa total desses componentes (2.04E-02 kg t-1 de cana) muito inferior à do ICV BR BDI (6.84E-02 kg t-1 de cana).

Para outras cinco categorias houve diferenças importantes no resultado da avaliação de impactos em função do uso dos diferentes inventários. Nestas categorias, o desempenho ambiental foi melhor quando adotado o ICV BR BDI, sendo as diferenças da ordem de 88%, para Formação de Material Particulado (FMP) e Eutrofização de Água Doce (EuAD); 59%, para Acidificação Terrestre (AT); 53%, para Mudança do Clima (MC); e 39%, para Transformação de Áreas de Vegetação Nativa (TAN).

A categoria de impacto Formação de Material Particulado somou 4,82 kg E-01 PM10 eq/TC, dos quais 4,34 E-01 kg PM10 eq advieram da fase de produção de cana-de-açúcar, predominando nas emissões os particulados < 10 µm (2,27E-01 kg PM10 eq/TC) e os particulados < 2,5 µm (1,29E-01 kg PM10 eq/TC) – quando calculado o impacto usando o ICV BR regionalizado. A diferença entre os inventários se deu principalmente pelo fato do ICV BR regionalizado contabilizar um consumo maior de óleo diesel nas operações agrícolas, particularmente na colheita e transbordo. Cabe lembrar que este inventário considera uma maior proporção de colheita mecanizada (81%).

Quanto à Eutrofização de Água Doce, as emissões foram mais elevadas quando usado o ICV BR regionalizado (6,18E-02 kg P eq) e derivaram diretamente do processo de produção de cana-de-açúcar (5,86E-02 kg P eq/TC), mas também do processo de produção de superfosfato simples (1,57E-03 kg P eq/TC). É importante ressaltar que o fósforo perdido por lixiviação não foi contabilizado na etapa agrícola, pelo fato deste elemento não ser solúvel nas condições dos solos brasileiros. As emissões desta etapa foram muito influenciadas pelos parâmetros considerados para a perda de solo por erosão, processo responsável pelo transporte de fósforo para águas superficiais. Quanto à produção de SSP, este foi o principal fertilizante fosfatado considerado no ICV BR regionalizado, enquanto o ICV BR BDI considerou vários tipos de fertilizantes fosfatados (quatro no total), sendo o DAP, e não o SSP, o principal deles.

Também na categoria Acidificação Terrestre, a etapa agrícola foi a maior causadora do impacto (6,46E-01 kg SO2 eq/TC), quando analisado o ICV BR regionalizado, devido às emissões da combustão do óleo diesel nas operações agrícolas (em especial, colheita e transbordo). Novamente, a maior mecanização característica deste inventário responde por grande parte das diferenças. O transporte de fertilizantes, principalmente a ureia, também contribuiu para a AT, sendo considerado o transporte transoceânico dos insumos no ICV BR regionalizado, mas não no ICV BR BDI.

Como para a AT, para a categoria Mudança do Clima, quando analisado o ICV BR regionalizado, as mesmas etapas do ciclo de vida da cana-de-açúcar se destacaram como geradoras de emissões: a etapa agrícola



(3,39E+01 kg CO₂ eq/TC), particularmente as operações de colheita e transbordo, e a produção e transporte de ureia. A combustão do diesel, assim como a aplicação de fertilizantes nitrogenados, são as principais fontes de emissão dos gases de efeito estufa N₂O (1,51E+01 kg CO₂ eq/TC) e CO₂ (1,21E+01 kg CO₂ eq/TC).

Para MC, entretanto, foram mais importantes as emissões derivadas das Mudanças de Uso da Terra, que somaram 1,55E+01 kg CO₂ eq/TC, de um total de emissões de 4,49E+01 kg CO₂ eq/TC para a categoria. Neste ICV as MUT foram consideradas para todas as regiões do país. Em algumas regiões ocorre a expansão da cana-de-açúcar; já em outras regiões mais tradicionais ocorre o contrário, a área ocupada pela cultura tem regredido. O ICV BR BDI não considerou as emissões de MUT.

Por fim, a TAN foi outra categoria de impacto que sofreu efeito das diferenças entre inventários. Elas estão relacionadas principalmente à exploração de recursos fósseis, em particular o petróleo, em etapas do ciclo de vida que ocorrem fora do país. Este impacto foi maior para o ICV BR regionalizado, em função do seu consumo maior de diesel.

Conclusão

O presente trabalho gerou os inventários da produção de cana-de-açúcar dos sete maiores estados produtores brasileiros, assim como das cinco principais regiões produtoras de São Paulo (estado que responde por 57% da produção nacional), buscando bem representar seus sistemas de produção típicos. As especificidades do ambiente produtivo (solo e clima) e tecnológico (manejo agrícola) foram consideradas. A partir destes inventários regionais foi gerado o inventário da produção nacional de cana-de-açúcar, que foi comparado ao inventário “sugarcane, at farm/BR U”, da base ecoinvent v. 3.1. Confirmamos haver grande efeito do uso do inventário regionalizado nos resultados da avaliação de impactos do ciclo de vida da cana-de-açúcar. Dez categorias de impacto, dentre 14 categorias analisadas, mostraram diferenças maiores que 20% (variando de 20% a 98%) nos resultados de impacto. As principais causas são diferenças na caracterização dos sistemas de produção entre os inventários, merecendo destaque as seguintes: (1) tipos e quantidades diferentes de fertilizantes aportados ao sistema, afetando as categorias DA e EuAD; (2) tipos e quantidades diferentes de pesticidas, afetando ET, EcAD e DCO; (3) ocorrência da prática de colheita mecanizada, sem queima, afetando FOF, FMP, AT e MC; (4) contabilização das emissões de gases de efeito estufa por MUT, afetando MC. Grande parte destas diferenças decorre da atualidade dos dados regionalizados, que puderam apreender a recente modernização tecnológica que o setor sucroenergético brasileiro, compreendendo a abolição das queimadas, a mecanização da colheita, o aproveitamento de resíduos agroindustriais em substituição a fertilizantes químicos, a opção por pesticidas menos tóxicos, dentre outros. Entretanto, nos inventários regionalizados foram usados modelos de emissão que ainda precisam ser melhorados, podendo ser mencionado aquele que estima a lixiviação de fósforo. Também merecem desenvolvimento metodológico os modelos para cálculo das emissões derivadas de MUT – os atualmente disponíveis são complexos e exigem grande volume de dados.

Referências Bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: *Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura*. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044: *Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações*. Rio de Janeiro, 2009.

BONOMI, A.; CAVALETT, O.; CARDOSO, T. F.; et al. *Sugarcane Life Cycle Inventory*. Brazilian Bioethanol Science And Technology Laboratory (CTBE). Campinas, 2012. 37 p.

BSI. PAS 2050:2011: *Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. British Standards Institution, London, UK. 2011.

CANALS, L. M. *Contributions to LCA methodology for agricultural systems*. Barcelona, 2003. 250 p. Tesis (Doutorat en Ciències Ambientals) – Unitat de Química Física del Departament de Química de la Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, 2003.



V Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida

19 a 22 de Setembro 2016 - Fortaleza, CE

- CGEE - CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. *Sustainability of sugarcane bioenergy*. Brasília - DF, 2012. 336 p. Disponível em: <<http://www.cgee.org.br/publicacoes/sustainability.php>>. Acesso em: 17 abr. 2015.
- CAVALETT, O.; CHAGAS, M. F.; MAGALHÃES, P. S. G.; CARVALHO, J. L. N.; CARDOSO, T. F.; FRANCO, H. C. J.; BRAUNBECK, O. A.; BONOMI, A. The Agricultural Production Model. In: Antonio Bonomi; Otávio Cavalett; Marcelo Pereira da Cunha; Marco Aurélio Pinheiro Lima. (Org.). *Green Energy and Technology*. 1st Ed. Switzerland: Springer International Publishing, 2016, p. 13-51.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: Safra 2015/16*. Terceiro Levantamento. 3. ed. Brasília: CONAB, 2015. 70 p.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar: Safra 2014/15*. Primeiro Levantamento. 1. ed. Brasília: CONAB, 2014. 25 p.
- DEMATTÊ, J. L. I. Recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. *Revista Visão Agrícola*, Esalq – USP, Ano 1, Jan. 2004.
- GREET. *Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation*, version 1.8d. Argonne National Laboratory. Argonne, Illinois, USA, 2010.
- IBGE. *Sistema IBGE de Recuperação Automática*. 2014. Disponível em www.sidra.ibge.gov.br. Acesso em 2015.
- IDEA - INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO AGROINDUSTRIAL. *Indicadores de desempenho da agroindústria canavieira: Safras 2012/2013 e 2013/2014*. Ribeirão Preto: Grupo Idea, 2014.
- IPCC. *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. 2006.
- JUNGBLUTH N., CHUDACOFF M., DAURIAT A., et al. *Life Cycle Inventories of Bioenergy*. Final report ecoinvent data v2.0 No. 17. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2007.
- MACEDO I. C. *Sugarcane's energy: Twelve studies on Brazilian sugarcane agribusiness and its sustainability*. Berlendis & Vertecchia: UNICA, São Paulo, 2005.
- MAY, A. 2015. *Recomendação técnica pesticidas cana*. 08 de junho de 2015.
- MELLO, F. C. et al. Payback time for soil carbon and sugar-cane ethanol. *Nature Climate Change*, [s.l.], v. 4, n. 7, p.605-609, 8 jun. 2014. Nature Publishing Group. DOI: 10.1038/nclimate2239. Disponível em: <<http://www.nature.com/nclimate/journal/v4/n7/full/nclimate2239.html>>. Acesso em: 03 ago. 2015.
- NEMECEK, T.; SCHNETZER, J. *Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems*. Zurich, Data v3.0, 2012. Disponível em: <http://www.ecoinvent.org/fileadmin/talkpages/pages/01-01-crop-production/01_crop_production_-_direct_field_emissions__natural_resources_v1.1.pdf> Acesso em: 28 jan. 2015.
- NOVAES, R.M.L.; PAZIANOTTO, R. A. A.; LUIZ, A. J. B.; et al. *Parâmetros para estimativa de emissões decorrentes de mudança de uso da terra para inventários de ciclo de vida de produtos agropecuários*. In: Congresso Brasileiro sobre Gestão pelo Ciclo de Vida, 5. Fortaleza - CE. Anais. 2016.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.
- SEO, E.S.M e KULAY, L.A. *Avaliação do ciclo de vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão*. Interfacehs, 2006.