

Avaliação do Desempenho Ambiental do uso da Palha da Cana de Açúcar para Cogeração de Energia Elétrica

M.G. CLARA

Instituto Superior Técnico

RESUMO

Este trabalho verificou e discutiu o efeito da forma de tratamento de situações de multifuncionalidade sobre o perfil de impacto da exportação de energia elétrica a partir de cogeração de biomassa de cana-de-açúcar, quando o produto é avaliado pela técnica de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Foram elaborados três Macro Cenários de modo a se obter baixa, média e alta cogeração de eletricidade. Para cada um deles, 64 cenários de análise foram constituídos, tendo em conta critérios físicos e econômicos para distribuição de cargas ambientais. Caracterizou-se o desempenho de 1.0 kwh de eletricidade exportada no que se refere a Mudanças Climáticas (CC) e Demanda Primária de Energia (PED). Os resultados obtidos indicaram que a forma de repartição de cargas ambientais nas etapas de cogeração de eletricidade e da produção de etanol influenciam de maneira decisiva os resultados globais de CC e PED. A ação mostra ser inclusive mais relevante em termos de desempenho ambiental do que a maneira como se dá a partilha de cargas ambientais no processo agrícola, etapa em que se notam os principais focos de efeitos adversos gerados no referido sistema de produto.

Palavras chave: Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), Multifuncionalidade; bioeletricidade; impactos ambientais; metodologia.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Uma das principais atividades produtivas do Brasil diz respeito à produção de açúcar e álcool, atualmente sofrendo um processo de modernização influenciado por mudanças na situação econômica do próprio país. O setor sucroalcooleiro apresenta no momento um grande desafio: atingir uma posição no mercado internacional, atendendo à demanda nacional.

De forma a atingir o objetivo anteriormente mencionado, as empresas do setor devem estar cada vez mais atentas ao desenvolvimento do mesmo, a fim de atender à sua competitividade e exigência. Dessa forma, é necessário um aumento na produtividade e diminuição de custos, de forma simultânea.

Em primeiro lugar, um aumento de produtividade deve ser atingido através de um aumento na produção de cana-de-açúcar e etanol, gerado pelo aumento do rendimento das cadeias produtivas em questão.

Em relação à diminuição de custos esta pode estar associada à diminuição de perdas e desperdícios do processos, tentando reaproveitando os mesmos. Como, por exemplo, a palha obtida na fase agrícola; e a cinza, a vinhaça e a torta de filtro que resultam da fase de produção de etanol. Uma forma de reaproveitamento da palha restante do processo agrícola é a sua reutilização para produção de energia elétrica para a fase de cogeração.

Espera-se um desenvolvimento da forma de reaproveitamento da palha para o futuro, tendo como base dois fatores importantes. O primeiro é referente à utilidade energética da palha, podendo ser convertida em eletricidade e ser utilizada para fornecer energia. O segundo se deve ao futuro Protocolo Agroambiental estabelecido entre o governo de São Paulo e a União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA) a ser implementado no ano de 2021. Isto é, é esperado que haja a extinção da prática de queima na região de São Paulo no presente ano de 2017, região que apresenta a maior produção de cana-de-açúcar. A queima deve então ser substituída por tecnologia adequada. Ainda que os processos de reaproveitamento de resíduos apresente um grande custo associado, os produtos derivados a esse processo apresentariam uma maior qualidade, resultando uma receita mais elevada.

Mais do que o custo monetário associado a esse tratamento, o reaproveitamento da palha diminui em grande parte o impacto ambiental negativo do processo em questão, levando a uma maior aceitação do etanol produzido no Brasil, pelo mercado internacional

Na literatura técnica existe um grande número de estudos relativos ao reaproveitamento de palha contudo, essas abordagens têm somente como foco a termodinâmica dos processos de produção (LEAL, 2013). Abordagens com foco ambiental são, na sua maioria, voltadas para as emissões atmosféricas (RIPOLI e RIPOLI, 2009). Dessa forma, verifica-se uma lacuna com relação a estudos voltados para a avaliação do desempenho ambiental da cogeração de energia elétrica da palha da cana-de-açúcar, para diferentes condições de operação do sistema, taxas de adição de palha e sua umidade.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo o preenchimento da lacuna acima mencionada, através da utilização da técnica de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) que propõe diagnósticos de desempenho ambiental de sistemas antrópicos. Consequentemente, espera-se que o mesmo estudo contribua para os sectores de planejamento energético como para o sucroalcooleiro, de forma a proporcionar uma oportunidade de melhoria dos mesmo, de forma sustentada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Levantamentos realizados pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO no ano de 2013 colocam o Brasil no primeiro posto no ranking mundial dos países produtores de cana-de-açúcar. O desempenho em questão, de cerca de 768 milhões de toneladas (Mt), é tão expressivo que supera em 64% a produção agregada da Índia (341 Mt) e China (129 Mt) – que ocupam, respectivamente, os segundo e terceiro lugares na mesma classificação.

Em termos de repartição geográfica interna, estado de São Paulo apresenta-se, já há quase duas décadas, como o maior produtor de cana do país com 52% do total da área plantada (4,7 milhões de hectares). A este se seguem os estados de Goiás com 9,5%, Minas Gerais (8,8%), Mato Grosso do Sul (7,4%), Paraná (7,1%), Alagoas (4,3%) e Pernambuco (2,9%) (Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB, 2014).

Quanto aos destinos da produção observa-se uma equidade em termos do uso da cana colhida para suprimento de demandas dos segmentos de álcool e açúcar. No entanto, a cada safra tal proporcionalidade mostra-se cada vez mais condicionada a fatores de ordem mercadológica como custos de produção, oferta e demanda (Teixeira, 2013). O gráfico que aparece indicado na Figura 1, construído a partir de dados disponibilizados pela CONAB, apresenta essa mesma relação para as safras entre 2005/06 e 2012/13 de produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. Naquele caso, os valores de produção foram expressos em milhões de toneladas (Mt). Até a instalação da tecnologia flex-fuel, a cana-de-açúcar produzida na região Centro-Sul do Brasil atendia essencialmente o setor açucareiro. Essa tendência aparece na Figura 1 para os períodos 2005/06 e 2006/07, em que os consumos de cana para produção de açúcar corresponderam a 181 e 204 Mt, respectivamente. A partir da safra 2007/08 nota-se uma inversão de perfil em favor do setor alcooleiro, que já na safra 2008/09 passou a absorver 296 Mt, correspondendo a 59% do total produzido no período.

Com a quebra da produção da Índia em 2009/10 e a baixa rentabilidade do etanol no mercado interno em razão da política de preços de combustíveis que estava vigente no país à época, a atividade voltou-se gradativamente para a produção de açúcar que consome 240 Mt da oferta de cana no período (FIESP, 2013). No entanto, as projeções quanto ao destino da cana-de-açúcar para a próxima década, baseadas nas safras 2013/14 e 2014/15 indicam que o setor alcooleiro retomará a supremacia. A Figura 2 apresenta projeção relativa do destino da cana processada no Brasil para este horizonte temporal, estabelecido a partir da safra 2013/14.

O cultivo da cana ocorre em dois ciclos. O primeiro ciclo é chamado de cana-planta, e se estende até o primeiro corte. O período da cana-planta pode ser de 12 ou 18 meses, conforme a variedade. Após o primeiro corte se inicia o ciclo da cana-soca, que passa a ser de 12 meses independentemente do tipo de cultivar plantado. Por permitir vários cortes, em geral até cinco, sem a necessidade de replantio a cultura da cana caracteriza-se pela semiperenidade. No entanto, a cada safra há necessidade de aplicação de insumos agrícolas de forma que a cultura continue com patamares de produtividade vantajosos (CONAB, 2014).

De maneira geral o processo de produção da cana se divide em três etapas: plantio, tratamentos culturais e colheita. Existem três formas de preparo do solo, na fase de plantio: Sistema Convencional, Sistema de Cultivo Mínimo e Sistema de Plantio Direto. Todos eles com o objetivo de deixar o solo nas melhores condições possíveis para o crescimento e o desenvolvimento da cana.

No Sistema Convencional de preparo do solo são executadas operações de aração, gradagem (para a eliminação dos torrões, e o preenchimento de lacunas do solo), subsolagem (rompimento de camadas muito compactas do solo), e calagem (adição de calcário). Todas elas realizadas durante o primeiro ciclo da cana.

No Sistema de Cultivo Mínimo as etapas convencionais de preparo do solo são substituídas por uma operação de subsolagem, tendo-se assim redução na erosão, no uso de máquinas e implementos agrícolas.

No Sistema de Plantio Direto, restos vegetais são deixados sobre a superfície do solo, este é revolvido apenas no sulco onde são depositadas as mudas e fertilizantes e as plantas infestadas são controladas por herbicidas. No Brasil o Sistema de Plantio Direto é cada vez mais frequente por proporcionar uma produção agrícola mais sustentável, com menores impactos ambientais e sem degradação do solo (Paraízo, 2013).

A nutrição do solo será completada mais adiante no processo, por meio de aplicação de formulações fertilizantes compostas de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) além de vinhaça, torta de filtro e cinzas (via fertirrigação) que, como já mencionado, são resíduos da etapa industrial de produção de etanol. Os tratamentos culturais visam proteger a plantação contra o ataque de ervas daninhas e pragas e evitar doenças. Esses males são combatidos com pulverização de herbicidas e agroquímicos (Sugawara, 2012).

Após um período de cultivo de 180 a 210 dias dá-se então início à colheita. Esta é a fase do processo que mais mudanças tecnológicas tem sofrido nos últimos anos em função de continuadas exigências sócio-ambientais e da necessidade de redução de custos de produção (CONAB, 2013). O tipo de colheita pode influenciar a produção, a longevidade da cultura, os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, o meio ambiente e a saúde pública (Ronquim, 2010).

Antes da implantação da colheita por sistema manual efetua-se a queima de biomassa com o objetivo de eliminar matéria seca existente na lavoura (esta pode ser reduzida em até cerca de 30%) e de abrir vias de circulação internas à área de plantio para que os cortadores de cana possam retirar as plantas. Além de impactos ambientais, essa ação reduz o teor de matéria-orgânica do solo (Cortez, 2010).

A colheita mecanizada da cana-de-açúcar é cada vez mais frequente entre os sistemas de produção exercitados no Sul-Sudeste do Brasil, e em particular no estado de São Paulo. A Lei Estadual no 11.241/2002 dispõe sobre a eliminação gradativa da queima de biomassa na região. O dispositivo regulamenta ainda a implantação definitiva da colheita mecanizada em áreas mecanizáveis até o ano 2021, e em áreas não mecanizáveis até 2031 (BRASIL, 2002). Muito embora bastante clara com relação a seus propósitos, a Lei no 11.241 não foi capaz de alcançar os objetivos a que se propunha.

Em 2007 o governo do Estado de São Paulo e a União da Agroindústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) firmaram o chamado Protocolo Agroambiental. O acordo, criado com objetivo de implantar e desenvolver ações de sustentabilidade na cadeia produtiva de açúcar, bioetanol e bioenergia tem como uma de suas principais metas antecipar a eliminação da queima na região. Assim, os prazos para a extinção da queima de biomassa foram antecipados: o ano de 2014 tornou-se limite para suspensão de tais práticas em terrenos cuja declividade (ϕ) variasse entre $0 \leq \phi (\%) \leq 12$; enquanto 2017 foi definido como termo para suspensão de queimadas que ocorressem em áreas nas quais $\phi > 12\%$ (SMA/SP, 2015).

No sistema de colheita mecanizada, as folhas, as bainhas, o ponteiro, além de quantidades variáveis de pedaços de colmo são cortados, triturados e lançados sobre a superfície do solo, formando uma cobertura de resíduo vegetal denominada palha ou palhada. No entanto, há um aspecto prático importante a ser destacado: não é regra geral que a colheita mecanizada de cana extraia sempre cana crua, ou seja, sem que haja queima da palha. Ao contrário do que pode parecer, chega a ser usual proceder-se a combustão de palha nos canaviais previamente à entrada das colhedeiras com o intuito de melhorar o rendimento do processo (CONAB, 2013).

Os processos de produção de etanol e açúcar com cogeração energética a partir do bagaço de cana-de-açúcar aparecem descritos de forma sumarizada na Figura 4. A ação se inicia com a remoção a seco de parte (~ 70%) dos resíduos – terra, pedras e lixo – que aderem à cana que é trazida do campo (Dias et al., 2009). Concluída essa operação a cana é levada para a etapa de extração do caldo, a ser realizada por prensagem em tandens de moagem. O processo, que ocorre por via úmida e denomina-se imbibição consome cerca de 280 kg água /t cana alimentada. A eficiência da extração está condicionada ao número de estágios de moagem mas, em linhas gerais, varia entre 94 e 97% com relação à quantidade de açúcar disponível na cana. Deste processo originam-se dois produtos: o bagaço e o caldo misto. O primeiro, tal como já foi mencionado, será utilizado como combustível no sistema de cogeração, enquanto que o segundo segue para o próximo estágio de processo (Dias et al., 2009).

Algumas impurezas, dissolvidas e em suspensão, são separadas do caldo pela adição de reagentes químicos, como óxido de cálcio (CaO) e ácido fosfórico (H₃PO₄) (Dias et al., 2009). É prática regular fazer uso de aquecimento para elevar as taxas de eficiência de purificação do caldo. Depois disso, o caldo passa por um separador *flash* antes de alimentar a unidade de clarificação, o qual será responsável pela separação entre precipitado e fração de clarificado. Esta última passa por uma etapa de filtração, da qual a fração líquida retorna ao processo para ser misturada à corrente principal de caldo. A fração sólida recolhida da filtração consiste da torta de filtro (Palacios-Bereche et al., 2014).

Neste momento do processo, o caldo clarificado contém cerca de 15%_{w/w} de sólidos diluídos. Esse total deverá ser elevado com o objetivo de proporcionar taxas adequadas de conversão de sacarose em etanol durante a fermentação, e de manter dentro de limites aceitáveis os consumos energéticos despendidos com a purificação do produto. A concentração do caldo ocorre em evaporadores de efeito múltiplo (MEE) cujas condições de pressão e temperatura estão ajustadas para que o teor final de sacarose seja de 65%_{w/w} (Dias et al., 2009).

Os açúcares se convertem em etanol por meio de fermentação alcoólica, por ação de leveduras sob condições controladas de pH e temperatura. O produto desta etapa é um substrato açucarado, conhecido como vinho. A fermentação alcoólica gera ainda CO₂ que deve ser escoado das dornas de fermentação para coibir problemas de elevação de pressão do meio, alteração de acidez, além de evitar que o tempo de residência da massa reacional dentro do vaso se reduza (Cortez, 2010).

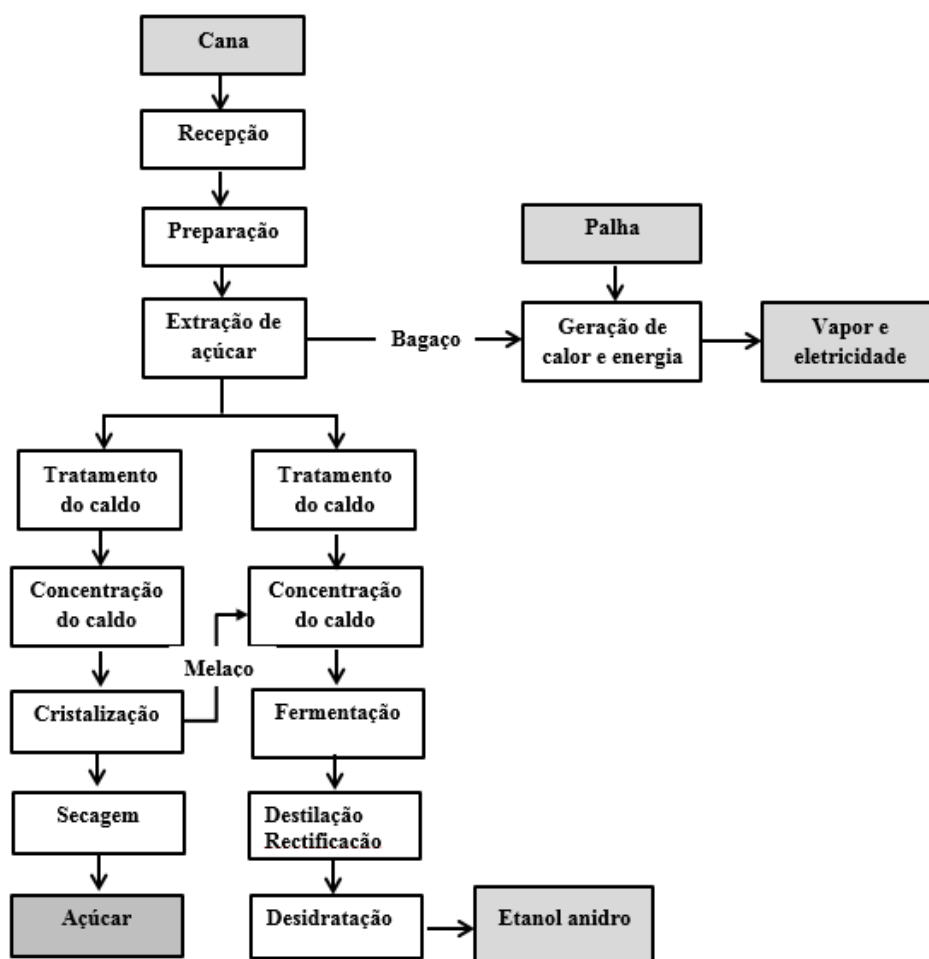


Figura 1 - Fluxograma da produção de açúcar e etanol, com cogeração

. Após a fermentação, o vinho – então contendo cerca de 8%_{w/w} de etanol – é levado para o sistema de destilação para remoção de água. Este processo de separação gera etanol hidratado – 92,8% e 95%_{w/w} C₂H₆O – além de uma grande quantidade de vinhaça (10-12 L/L produto). Para a produção de etanol anidro, uma etapa adicional de desidratação deve ser adicionada ao final do processo com vistas a obter-se um produto com até 99,7%_{w/w} em etanol (Palacios-Bereche et al., 2014).

No processo de produção de açúcar, a concentração do caldo em sistema de MME gera o xarope, cujo excesso de água é removido em tanques de vácuo. Dentro desses vasos forma-se uma mistura de cristais de açúcar e xarope, que será transferida para cristalizadores. Nestes equipamentos a sacarose irá cristalizar, para então ser separada por processo de centrifugação. Água e vapor são usados para lavar os cristais (Dias et al., 2015).

Na moagem da cana são produzidos cerca de 140 kg bagaço / t cana (base seca) (Dias et al., 2011). Dado seu conteúdo energético – 7600 kJ/kg (50% umidade) – essa forma de biomassa serve de combustível para caldeiras, das quais emana vapor de média pressão (~ 20 bar). O vapor sofrerá sucessivas expansões até atingir condições termodinâmicas necessárias para ser usado em processos de aquecimento que ocorrem nas plantas de processamento de açúcar e de etanol.

Antes disso, porém, e com o intuito de melhor aproveitar a energia a ele associado, o vapor circula por turbina isentrópica cuja eficiência energética é da ordem $\eta \sim 70\%$. Esta unidade integra o Ciclo Rankine de cogeração, que se compõe ainda de válvula de expansão, condensador e bomba para produzir eletricidade para o processo (Nogueira et al., 2014).

Durante os últimos anos, desenvolvimentos tecnológicos têm sido realizados em caldeiras e turbinas com o objetivo de tornar os ciclos de cogeração não apenas mais eficientes, mas também, de permitir que esses operem com pressões de partida mais elevadas de até 200 bar (Guerra, 2014). O arranjo permite a geração de eletricidade excedente em relação àquela demandada por usinas e destilarias. Esse adicional de energia elétrica é exportado para a rede concessionária gerando receita para os produtores particularmente durante os períodos de entressafra em que a instalação permaneceria, naturalmente, em condição ociosa. Dado o aumento dos custos de energia elétrica e de petróleo no Brasil e no mundo, o uso de bagaço em sistemas de cogeração tem-se tornado uma alternativa bastante atraente em termos de produção dessa utilidade (Dias et al., 2011).

A quantidade de eletricidade produzida pelo processamento de cana pode ser significativamente aumentada, quando outras fontes de biomassa com conteúdo energético elevado – casos de palha e ponteira – são coletadas no campo para também servirem de combustíveis nos ciclos de cogeração.

Grandes quantidades de palha ficarão disponíveis à medida que a queima que ocorre antes da colheita manual for proibida. A tendência natural é que este material passe a ser uma opção de negócio atraente para as destilarias, sempre respeitando limites de incorporação do material.

Dados os teores médios de sílica e cloretos existentes na palha, seu limite de utilização para esse uso é da ordem de 50% w/w do total gerado (Seabra e Macedo, 2011). Apesar disso, Seabra et al registram experiências bem-sucedidas de consumo de palha para cogeração de eletricidade em unidades da região Centro-Sul, há mais de meia década (Seabra et al., 2010).

A cogeração com bagaço e palha proporciona não apenas maior oferta de eletricidade à rede concessionária nacional, como também amplia as possibilidades da oferta de energia elétrica durante o período de seca, quando a capacidade de geração das hidrelétricas costuma ser seriamente afetada (Hofsetz e Silva, 2012).

Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 14044: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Anuário Estatístico de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2013. ISSN 1983-5884. 232 pp.

BAUMANN H.; TILLMAN A. M. The hitch hiker's guide to LCA. Suécia: Studentlitteratur AB, 2004.

BRASIL, SÃO PAULO. Lei n. 11.241, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. São Paulo, 2002.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Avaliação da Safra Agrícola de Cana-de-açúcar. SAFRA 2005/06. Terceiro Levantamento. Dezembro de 2005, 13pp.

- _____. CONAB. Avaliação da Safra Agrícola de Cana-de-açúcar. SAFRA 2006/07. Terceiro Levantamento. Novembro de 2006, 9pp.
- _____. CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar. Safra 2007/08. Terceiro Levantamento. Novembro de 2007, 12pp.
- _____. CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar. Safra 2008/09. Terceiro Levantamento. Dezembro de 2008, 17pp.
- _____. CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar. Safra 2009/10. Terceiro Levantamento. Dezembro de 2009, 14pp.
- _____. CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-açúcar. Safra 2010/11. Terceiro Levantamento. Dezembro de 2010, 14pp.
- _____. CONAB. Perfil do Setor do Açúcar e do Álcool no Brasil. Safra 2011/2012, p. 1-88, 2013.
- Cortez, L. A. B (Ed). Bioetanol de Cana-de-Açúcar P&D para Produtividade e Sustentabilidade. Ed Blucher. 2010. 992p. ISBN: 9-788521205319
- DIAS, M. et al. Production Of Bioethanol And Other Bio-Based Materials From Sugarcane Bagasse: Integration To Conventional Bioethanol Production Process. *Chemical Engineering Research And Design*, v. 87, p. 1206–1216, 2009.
- DIAS, M. et al. Second Generation Ethanol In Brazil: Can It Compete With Electricity Production? *Bioresource Technology*, v. 102, p. 8964–8971, 2011.
- DRYER, A., FERGUSON, J. The National Waste Plan for Scotland – LCA and BPEO in Practice. *In: InLCA/LCM–Life Cycle Assessment/Life Cycle Management: a bridge to a sustainable future*. 2003. Seattle. (2003) – InLCA/LCM – Seattle
- FAVA, J.A., ed. A technical framework for life-cycle assessments. Washington, D.C., Society of Environmental Toxicology and Chemistry: SETAC Foundation for Environmental Education, Vermont, 1991. 134 p.
- FERREIRA, J. V. R. Análise do Ciclo de Vida de Produtos. Viseu: Instituto Politécnico de Viseu, 2004.
- FIESP – Federação Das Indústrias Do Estado De São Paulo. Outlook Fiesp 2023. Projeções Para O Agronegócio Brasileiro, 2013.
- GUERRA J. P. et al. Comparative analysis of electricity cogeneration scenarios in sugarcane production by LCA. *Int J Life Cycle Assess*, v.19, p. 814–25, 2014.
- HEIJUNGS R, SUH S. The Computational structure of Life Cycle Assessment. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2002.
- IRUSTA, R., NUNEZ, Y.: Improving Eco-Design of Street Lighting Systems Using LCA. *In.: LCM – 1st. International Conference on Life Cycle Assessment*. Copenhagen. 2001.
- JENSEN, A. A. (coord.): Life-Cycle Assessment (LCA): A guide to approaches, experiences and information sources, Report to the European Environmental Agency, Copenhagen, 1997.
- KULAY, L. et al. Environmental Comparison Of Conventional And Organic Technological Routes For Sugar Obtaining Concerning To Environmental Sustainability. *In: Life Cycle Assessment VIII, 2008*, Seattle. American Center On Life Cycle Assessment. v. 1. Seattle. 2008.
- KULAY, L., SEO, E. S.M. Orientações conceituais para elaboração de inventários de ciclo de vida. *Revista e Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente*, v. 5, n. 1, Artigo 1, jan./abr. 2010.
- MACEDO, I. C., SEABRA, J. E. A, SILVA, J. E. A. R. Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. *Biomass Bioenergy*, 2008
- MONTEIRO, M. F. Avaliação do Ciclo de Vida do fertilizante superfosfato simples. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador. 2008. 177 p.
- NOGUEIRA, A. R. et al. (2014) Use of Environmental and Thermodynamic Indicators to Assess the Performance of an Integrated Process for Ethanol Production. *ENRR*, v. 4, p. 59-74.
- PALACIOS-BERECHÉ, R. et al. New alternatives for the fermentation process in the ethanol production from sugarcane: Extractive and low temperature fermentation. *Energy*, v. 70, p. 595–604, 2014.
- PARÁIZO, D. Sistemas de preparo do solo para plantio de cana. Cana-de-açúcar, Janeiro 13, 2013. Disponível em: <<http://www.novacana.com/cana/sistemas-preparo-solo-plantio-da-cana/>>. Acesso em: 10 de novembro 2016
- PASSUELO, A. C. B. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida em embalagens descartáveis para frutas: estudo de caso. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PEREIRA, S. W. Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos: Aplicação de avaliação do ciclo de vida. Dissertação (Mestrado) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004. 122 p.

RIBEIRO, P. H. Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. 343 p.

RONQUIM, C. C. Queimada na colheita de cana-de-açúcar: impactos ambientais, sociais e econômicos. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010 45 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 77). ISSN 0103-78110.

SEABRA, J. E. A. et al. A techno-economic evaluation of the effects of centralized cellulosic ethanol and co-products refinery options with sugarcane mill clustering. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, p. 1065–1078, 2010.

SEABRA JEA ET AL. Life cycle assessment of Brazilian sugarcane products: GHG emissions and energy use. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 5, p. 519 – 532, 2011.

SEABRA, J.E.A.; MACEDO, I.C. Comparative analysis for Power generation and ethanol production from sugarcane residual biomass in Brazil. *Energy Policy*, v.39, p.421-428, 2011.

SUGAWARA, E. T. Comparação dos desempenhos ambientais do B5 etílico de soja e do óleo diesel por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. 242 p.

TAKAHASHI, et al.: Evaluation of Environmental Impact of Wired Telecommunication Networks in Japan. *In: InLCA/LCM – Life Cycle Assessment/Life Cycle Management: a bridge to a sustainable future*. 2003. Seattle.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases: A basis for greener processes and products. Paris: United Nations Publication, 2011.

VIGON, B.W. (coordinator). Life-cycle assessment: inventory guidelines and principles. Cincinnati, RREL / USEPA, 1993. 108 p. (EPA 1600 / R-92 / 245).

ANTON, L. Análise de desempenho ambiental da cogeração de energia elétrica a partir de adições sucessivas de biomassa em destilaria autônoma. Documento de Qualificação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

GUERRA, J.P. Avaliação de desempenho termodinâmico e ambiental de cenários de cogeração elétrica em usinas autônomas. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

FORSTER, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Bernsten, T., Betts, R., Fahey, D.W., Haywood, J., Lean, J., Lowe, D.C., Myhre, G., Nganga, J., Prinn, R., Raga, G., Schulz, M., Van Dorland, R., 2007. Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Chapter 2, in: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller, H.L. (Eds.), *Climate change 2007: the physical science basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

FRISCHKNECHT, R., Jungbluth, N., Althaus, H.J., Doka, G., Dones, R., Hischer, R., Hellweg, S., Humbert, S., Margni, M., Nemecek, T., Spielmann, M., 2007. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods: Data v2.0. ecoinvent report No. 3, Swiss centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf. Available at: www.ecoinvent.ch

GOEDKOOP, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., 2013. Description of the ReCiPe methodology for life assessment impact assessment. ReCiPe Main Report Revised July 13th, 2012. Available at: <http://www.lcia-recipe.net> (accessed on June, 2017).

HAUSCHILD, M.Z., Goedkoop, M., Guinée, J., Heijungs, R., Huijbregts, M., Joliet, O., Margni, M., De Schryver, A., Humbert, S., Laurent, A., Sala, S., Pant, R., 2013. Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.* 18, 683–697.

doi: 10.1007/s11367-012-0489-5

SÃO PAULO. *Protocolo de Cooperação: Governo do Estado de São Paulo e a União da Agroindústria Canavieira de São Paulo para consolidação do desenvolvimento sustentável da indústria da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo*. São Paulo, 04 de junho de 2007. Disponível em:

<http://www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/06/04_protocolo.pdf>. Acesso em: 1 ag. 2017.

Silva, D.A.L., Pavan, A.L.R., Oliveira, J.A., Ometto, A.R., 2015. Life cycle assessment of offset paper production in Brazil: hotspots and cleaner production alternatives. *J. Clean. Prod.* 93, 222-233.

doi: 10.1016/j.jclepro.2015.01.030