

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA PRODUÇÃO DE EUCALIPTO PARA ENERGIA NO ESTADO DE GOIÁS

Nilza P. Ramos¹, Marília I. S. F. Matsuura¹, Letícia De S. Barrantes²

¹*Embrapa Meio Ambiente, marilia.folegatti@embrapa.br*

²*Consultora*

Resumo: O uso do eucalipto como fonte energética no processo de secagem de grãos se expandiu na região Centro-Oeste brasileira, incluindo o estado de Goiás. Entretanto, ainda é desconhecido qual o impacto desta expansão na cadeia de grãos, em função da baixa disponibilidade de estudos que avaliem, de forma regionalizada, o desempenho ambiental de biomassas energéticas. Neste contexto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho ambiental da produção típica de eucalipto energético, para o estado de Goiás, usando a Avaliação do Ciclo de Vida. A unidade funcional adotada foi uma tonelada de madeira para energia. O escopo limitou-se a um sistema de produção representativo do eucalipto para energia produzido no estado de Goiás. O inventário foi construído a partir de dados primários de um ciclo completo de 14 anos de produção, com duas colheitas (uma a cada sete anos). Foram estimadas as emissões para os compartimentos ambientais e calculados seus impactos pelo método ReCiPe Midpoint H, com o uso do software SimaPro. O processo de produção da madeira (manejo florestal) foi o que mais contribuiu para a maioria das categorias de impacto, devido, em grande parte, ao uso de fertilizantes. Por outro lado, o fato de se produzir floresta levou ao impacto positivo na categoria “transformação da terra natural”. A produção dos fertilizantes e corretivos, seguida pelo uso de diesel, para divisão de talhões e transporte interno, foram as outras etapas mais expressivas em impactos. Conclui-se que no sistema de produção de eucalipto para energia, típico do estado de Goiás (com uso de motosserra na colheita), a etapa de produção da madeira em campo é a que mais impacta o desempenho ambiental, com efeitos negativos promovidos pelo uso de fertilizantes e corretivos e positivos devido à ocupação de áreas marginais ou substituição de produção de grãos.

Palavras-chave: biomassa energética, *Eucalyptus* sp., impactos ambientais

Introdução

O eucalipto é uma cultura com elevado potencial de produção de biomassa, ao mesmo tempo em que se adapta em áreas onde cultivos agrícolas são inviáveis, como encostas e solos marginais (VALVERDE, 2003). Assim, seu cultivo no Brasil vem se expandindo para áreas antes não exploradas, como Goiás (JOAQUIM et al., 2008); para atender ao consumo expressivo em processos de secagem de grãos (sendo o Brasil o quarto maior produtor mundial) e na produção de cerâmica, que há até pouco tempo usava lenha oriunda de florestas nativas e resíduos agroindustriais.

Atualmente, a produção de eucalipto atende a várias normas ambientais, envolvendo cuidados no uso do solo e da água, além de preservação de matas nativas e corredores para a fauna (BAENA, 2005), o que por si demonstra a preocupação ambiental do setor. Entretanto, estas ações não são suficientes para assegurar o seu bom desempenho ambiental. Neste sentido, informações baseadas em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) podem contribuir significativamente para estes esclarecimentos, pois quantificam de forma objetiva os impactos ambientais desde a extração de recursos naturais até a geração do produto ou o seu uso e destinação final, identificando pontos críticos e contribuindo para a melhoria de processos (SONNEMAN & VIGON, 2011).

A confiabilidade e a representatividade dos resultados depende fundamentalmente da qualidade dos Inventários de Ciclo de Vida (ICV) gerados, que são conjuntos de dados que contabilizam todas as entradas e saídas de material e energia representativas de um sistema de produto, considerando as particularidades da região de produção (SEO E KULAY, 2006). Assim, mesmo existindo inventários de eucalipto para produção de celulose e papel no Brasil, estes não representam a produção de eucalipto para energia, tanto pelas diferenças na tecnologia de produção da madeira, como pelas particularidades de clima e solo regionais.

Considerando o crescimento da cultura do eucalipto para energia no estado de Goiás e a disponibilidade de informações advindas de produtores representativos, levantadas em painéis realizados durante o projeto Campo Futuro desenvolvido pelo Sistema CNA-SENAR em 2016, selecionou-se um manejo florestal típico da região, que serviu de base para a presente pesquisa. Assim, foi possível avaliar o desempenho ambiental da produção típica de eucalipto energético no estado de Goiás, usando a técnica da Avaliação do Ciclo de Vida.

Material e Métodos

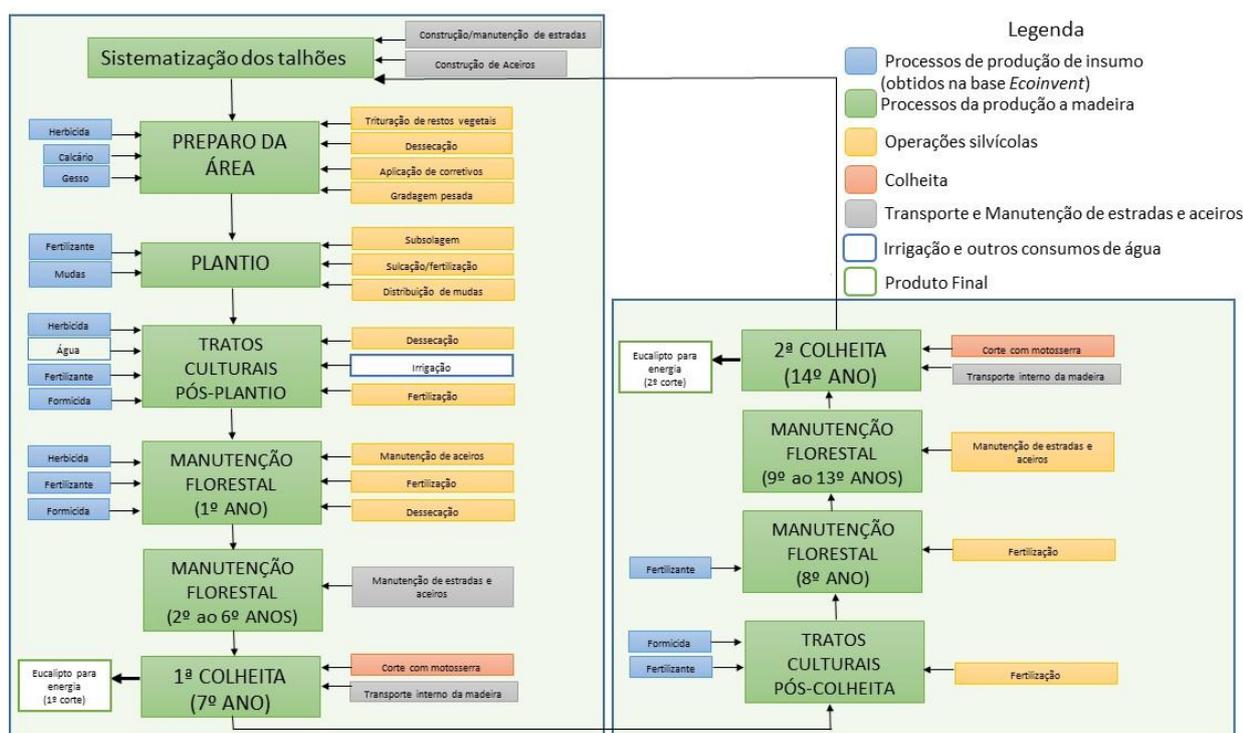
O estudo baseou-se nos requisitos técnicos das normas ABNT NBR ISO 14040:2009 e ABNT NBR ISO 14044:2009 (ABNT, 2009 a, b), que orientam estudos de Avaliação do Ciclo de Vida.

A unidade de referência adotada foi uma tonelada de madeira para energia produzida e seca naturalmente (na beira do talhão), com cerca de 30% de umidade final. O escopo limitou-se a um sistema de produção de eucalipto para energia representativo no Estado de Goiás, considerando um ciclo completo de 14 anos de produção, com duas rotações de sete anos, com produtividade média de $40,14 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e densidade de 1666 plantas por hectare, sendo a espécie predominante *Eucalyptus urophylla*.

Fronteiras do sistema

Os processos incluídos nos sistemas de produto foram: (1) produção de insumos (fertilizantes, corretivos e mudas); (2) operações silvícolas, (3) produção da madeira, (4) colheita, (5) transporte e manutenção de estradas e aceiros e (6) irrigação e outros consumos de água (Figura 1). No transporte considerou-se o deslocamento dos insumos dentro da propriedade.

Figura 1: Fronteiras do sistema considerado para o inventário da produção de eucalipto para energia.



Fonte de dados

Para o inventário da produção da madeira do sistema típico do estado de Goiás foram levantados dados primários de entrada, obtidos a partir de informações de painéis com produtores, cobrindo quatro municípios, conduzidos para atender ao "Projeto Campo Futuro", idealizado pela CNA (SISTEMA CNA-SENAR, 2016). Após análise detalhada, verificou-se que o sistema produtivo descrito no painel do município de Cristalina era o mais representativo para a produção de eucalipto energético para o Estado. Assim, foram utilizados os dados primários deste painel, em conjunto com informações técnicas de especialistas em eucalipto que atuam na região.

Os inventários de produção dos insumos são da base de dados ecoinvent v 3.1 e tiveram predominantemente a cobertura geográfica global. Também foi adotado o inventário de produção de mudas de eucalipto no Brasil recentemente elaborado pelos autores deste artigo para incorporação na base de dados ecoinvent (SILVA, 2013; BARRANTES, 2016).

Já os dados de emissões foram estimados com base em modelos da literatura científica (CANALS, 2003; GREET, 2010; NEMECEK E SCHNETZER, 2011; WFLDB, 2015), adequados para as condições brasileiras. As perdas de fósforo por escoamento superficial e lixiviação não foram contabilizadas nos inventários devido à baixa solubilidade deste elemento nos solos brasileiros (NOVAIS E SMYTH, 1999).

Para contabilização das operações mecanizadas, *datasets* de operação foram aproveitados da base de dados *ecoinvent* v. 3.1. Para tanto, baseou-se na semelhança entre as descrições das operações bem como no consumo médio de combustível. Os inventários da produção de insumos agrícolas (calcário, gesso e pesticidas) corresponderam aos disponíveis na base de dados *ecoinvent* v. 3.1.

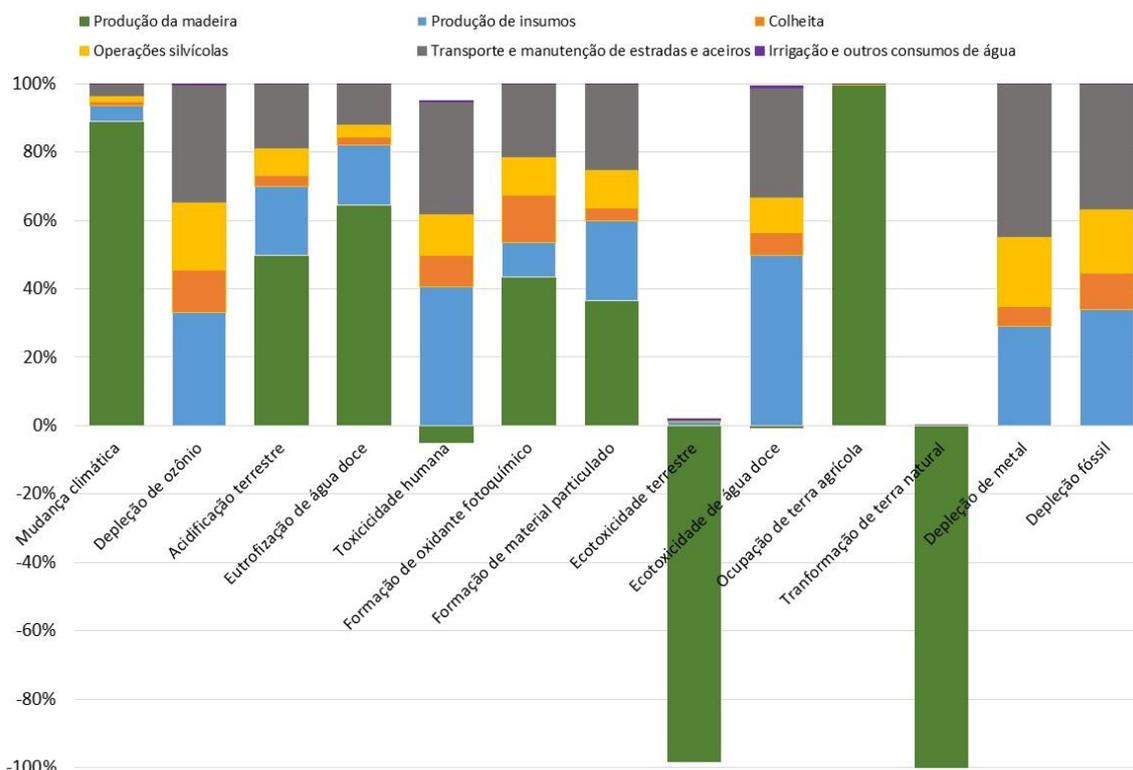
Avaliação de impactos ambientais

Os impactos foram avaliados por meio do método ReCiPe Midpoint (H) V1.12 / World ReCiPe H (GOEDKOOP et al., 2012), para as categorias: mudança climática, depleção da camada de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, toxicidade humana, formação de oxidante fotoquímico, formação de material particulado, ecotoxicidade terrestre e de água doce, ocupação de terra agrícola, transformação de terra natural, depleção de metal e depleção fóssil. Foi usado como software de apoio o SimaPro®, versão 8.1.1.16 e a base de dados *ecoinvent* v 3.1.

Resultados e discussão

O perfil ambiental da produção do eucalipto para energia em Goiás encontra-se na Figura 2. Observou-se que o processo de produção da madeira em campo é o que contribui mais expressivamente em oito, de 13 categorias avaliadas, sendo o impacto negativo em seis destas categorias: “mudança climática”, “acidificação terrestre”, “eutrofização de água doce”, “formação de oxidante fotoquímico”, “formação de material particulado” e “ocupação de terra agrícola”) e positivo em três (“toxicidade humana”, “ecotoxicidade terrestre” e “transformação de terra natural”). As outras maiores contribuições envolveram, nesta ordem, os processos de produção de insumos (fertilizantes, calcário, pesticidas e mudas) e o transporte e manutenção de estradas e aceiros.

Figura 2 – Impactos ambientais da produção de eucalipto energético em Goiás.



Fonte: Elaboração própria

A contribuição de cada processo no desempenho ambiental varia, a depender da cultura florestal estudada e do uso da madeira (BARRANTES, 2016), porém, vários estudos apontam a etapa de colheita como a mais crítica (DIAS & ARROJA, 2012; ENGLAND et al, 2013, SILVA et al., 2013). Isto porque, atualmente, a produção em larga escala da madeira utiliza colheita mecanizada com elevado consumo de combustível fóssil e maquinário pesado, como *forwarder*, *skidder* e *feller buncher* (MACHADO, 2008). Considerando que no presente estudo a colheita foi feita com motosserra, este processo acabou impactando menos o desempenho em relação aos demais estudos, aumentando a importância relativa do processo de produção da madeira, propriamente.

O uso de fertilizantes nitrogenados (devido principalmente à emissão de óxido nitroso) e de corretivos (devido principalmente à emissão de gás carbônico) foi preponderante para a “mudança climática”, fazendo com que a produção da madeira respondesse por 88% deste impacto. Outras categorias que também tiveram seus maiores impactos associados ao uso destes insumos foram a “acidificação terrestre” (pela emissão de amônia e óxidos de nitrogênio) e “eutrofização de água doce” (pela emissão dos gases já citados, mas também pela emissão de nitrato). Com isto, visualiza-se uma grande oportunidade de melhoria do desempenho ambiental desta atividade produtiva, pelo uso de fertilizantes com menor potencial emissor, ou mesmo os de liberação lenta, que são mais bem aproveitados pela cultura e podem, em parte, compensar os prejuízos das emissões com maiores produtividades.

Para as categorias “formação de oxidante fotoquímico” e “formação de material particulado”, a contribuição da produção florestal também é a mais importante, embora não seja muito superior à participação dos processos de “transporte e manutenção de estradas e aceiros” e “produção de insumos”. Aqui se destacam as emissões derivadas da combustão do óleo diesel.

“Ecotoxicidade terrestre”, em grande medida, e “toxicidade humana” foram categorias positivamente impactadas pela produção florestal. Isto se deve à incorporação de metais pesados na biomassa florestal, removidos do solo.

Já a categoria “ocupação de terra agrícola”, como era de se esperar, foi mais impactada pela produção da madeira. Por outro lado, o fato de se produzir árvores levou ao impacto positivo na categoria “transformação da terra natural”.

Os processos de produção de insumos (fertilizantes, pesticidas e mudas), além da “manutenção de estradas e aceiros” foram os que mais impactaram as categorias “depleção da camada de ozônio”, “toxicidade humana”, “ecotoxicidade de água doce”, “depleção de metal” e “depleção fóssil”. Isto porque nestes processos estão envolvidos consumos de compostos químicos, combustível fóssil e materiais de fabricação de maquinários que, por um lado, geram emissões potencialmente poluentes ao meio ambiente ou, por outro, representam o consumo de recursos naturais não renováveis. As ações necessárias para a redução destes impactos envolvem a redução do consumo de diesel, por melhoria no desempenho das operações silvícolas, e a redução do consumo de materiais estruturais do maquinário.

A estimativa das emissões em algumas categorias de impacto pode ser visualizada na Tabela 1. Observou-se a emissão total de 86,18 kg CO₂eq m³ ha⁻¹ de madeira (com 30% de umidade) na categoria mudança climática, que é uma das mais importantes em avaliações ambientais. Este valor não se mostra muito elevado, em relação a outros estudos envolvendo eucalipto para outras finalidades, mas mesmo assim ainda pode ser reduzido, com melhorias de produtividade e alterações de manejo, principalmente no uso de fertilizantes.

Tabela 1. Impactos ambientais da atividade de produção de floresta para energia, por categoria.

Categoria	Emissão
Mudança climática	86,37 kg CO ₂ eq
Acidificação terrestre	0,10 kg SO ₂ eq
Eutrofização de água doce	0,01 kg P eq
Toxicidade humana	2,37 kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade terrestre	-0,19 kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade de água doce	0,09 kg 1,4-DB eq

As emissões nas categorias de “acidificação terrestre” e “eutrofização de água doce” também estavam em níveis inferiores aos observados por Silva et al. (2013), que avaliaram eucalipto para produção de MDP, incluindo a fase

industrial em seu estudo. A categoria “ecotoxicidade terrestre” foi negativa em função do elevado consumo do elemento zinco pela madeira extraída, que foi superior ao valor aplicado via fertilizantes, indicando um potencial empobrecimento do solo ao longo do tempo.

Em linhas gerais, os valores de emissões encontram-se em níveis inferiores aos observados para a produção de madeira para as mais amplas finalidades. Ainda assim, podem ser tomadas medidas de melhoria de manejo que reduzam ainda mais os valores observados, principalmente na escolha e na forma de uso dos fertilizantes e corretivos.

Conclusões

No sistema de produção de eucalipto para energia típico do estado de Goiás, com uso de motosserra na colheita, a etapa de produção da madeira em campo (implantação e manutenção silvícola) é a que mais impacta o desempenho ambiental, com efeitos negativos promovidos pelo uso de fertilizantes e corretivos e positivos devido à ocupação de áreas marginais e produção de floresta.

Agradecimentos

À Comissão Nacional de Silvicultura e Agrossilvicultura, representada pela assessora técnica Camila Soares Braga, da Comissão Nacional de Silvicultura e Agrossilvicultura da CNA, e ao produtor Adalberto Caldas Oliveira, pela análise crítica e contribuições técnicas.

Referências

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040 (2009a): *Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida – princípios e estrutura*. Rio de Janeiro.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044 (2009b): *Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações*. Rio de Janeiro.
- BAENA, E.de S. 1994 *Análise da viabilidade econômica da resinagem em Pinus elliottii Elgelm. var elliottii nas regiões Sul do Estado do Paraná e Sul e Sudoeste do Estado de São Paulo*. 94 p. Curitiba. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná.
- BARRANTES, L.S. **Avaliação do desempenho ambiental da produção de biomassa florestal com finalidades energéticas no Brasil: caso de Itapeva**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 182p. 2016.
- 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. (2003) *Contributions to LCA methodology for agricultural systems*. Tesis (Doutorat en Ciències Ambientals) – Unitat de Química Física del Departament de Química de la Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona. 250 p
- DIAS, A. C.; ARROJA, L. Environmental impacts of eucalypt and maritime pine wood production in Portugal. **Journal of Cleaner Production**, v. 37, p. 368-376, 2012.
- ENGLAND, J.R.; MAY, B.; RAISON, R. J.; PAUL, K.I. Cradle-to-gate inventory of wood production from Australian softwood plantations and native hardwood forests: Carbon sequestration and greenhouse gas emissions. **Forest Ecology and Management**, v. 302, p. 295-307, 2013.
- GOEDKOOP, M.; OELE, M.; SCHRUYVER, A.; VIEIRA, M. **SimaPro Database Manual: Methods Library**. Holanda:
- PRÉ Consultants, 2008. Disponível em: <www.pre.nl>. Acesso em: Fevereiro 2012.
- GREET. *Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation*, version 1.8d. Argonne National Laboratory. Argonne, Illinois, USA, 2010.

- JOAQUIM, M.S.; SOUZA, A.N.; QUENÓ, L.; SANCHES, K.L. Análise econômica visando estimular a eucaliptocultura no município de Mineiros, estado de Goiás. Anais do 5º Simpósio de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Brasília, 2008. p. 538-552.
- MACHADO, Carlos Cardoso **Colheita florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2008.
- 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.
- 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.
- SILVA, D.A.L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012
- SILVA, D.A.L.; LAHR, F.A.R.; GARCIA, R.P.; FREIRE, F.M.C.S.; OMETTO, A.R. Life cycle assessment of medium density particleboard (MDP) produced in Brazil. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 7, p. 1404-1411, 2013.
- SISTEMA CNA-SENAR. Campo futuro: resultados 2016 / Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. – Brasília: CNA, 2016.
- SONNEMAN, G.; VIGON. **Global Guidance Principles for Life Cycle Assessment Databases**. A basis for greener processes and products: “Shonan Guidance Principles”. United Nations Environment Programme, 2011.
- VALVERDE, S.R.; REZENDE, J.L.P.; SILVA, M.L.; JACOVINE, L.A.G.; CARVALHO, R.M.M.A. Efeitos Multiplicadores da Economia Florestal Brasileira. Sociedade de Investigações Florestais SIF. **Revista Árvore** Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p.285-293, 2003.
- NEMECEK, T. et al. Methodological Guidelines for the Life Cycle Inventory of Agricultural Products, Version 3.0. Switzerland: WFLDB, 2015. 84 p.