

6. Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, Gás Natural e Biocombustíveis. v. 2011. n. 08/012010.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. v. 2011. n. 08/012010.

ALCARDE, A. R. Processamento da cana-de-açúcar. v. 2010. n. 20/04. Seropédica, RJ: EMBRAPA, 2007. p. Agência de Informação, cana de açúcar.

ALVES, F.; FERRAZ, J. M. G.; PINTO, L. F. G.; SZMRECSÁNYI, T. **Certificação Socioambiental para a Agricultura. Desafios para o Setor Sucroalcooleiro.** São Carlos, S.P., 2008.

ANDREOLI, C.; SOUZA, S. P. D. **Cana-de-Açúcar: A Melhor Alternativa para Conversão da Energia Solar e Fóssil em Etanol. Economia e Energia.** p. 27-33, 2006. Disponível em:<http://ecen.com/eee59/eee59p/cana_melhor_conversorl.htm>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040 Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. In: A. C. -C. B. D. G. Ambiental (Ed.). Rio de Janeiro: ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001. p. 10.

_____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14042 Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida. In: Abnt (Ed.). *Avaliação do ciclo de vida – Avaliação do impacto do ciclo de vida. Brasil.* Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Cap. 17.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2009.** Rio de Janeiro, 2009. Relatório Técnico.

BNDES; CGEE. **Bioetanol de cana-de-açúcar: Energia para o desenvolvimento sustentável.** Rio de Janeiro, 2009.

BODDEY, R. M.; SOARES, L. H. D. B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Bio-Ethanol Production in Brazil. In: ____ **Biofuels, solar and wind as renewable energy systems beneficts and risks.** New York Springer, 2008. p. 32.

BORRERO, M. A. V.; PEREIRA, J. T. V.; MIRANDA, E. E. **An environmental management method for sugar cane alcohol production in Brazil.** Biomass and Bioenergy, v. 25, n. 3, p. 287-299, 2003. Disponível

em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V22-4899VK5-1/2/9a05f20adda98553f2d2a1b74eaf0377>>.

CARVALHO, V. C. D. H. A. **A Logística de Distribuição do Etanol Brasileiro**. Rio de Janeiro, 2010. Projeto de graduação (Graduação) - Engenharia Ambiental, PUC.

CASSOL, E. A.; LEVIEN, R.; ANGHINONI, I.; BADELUCCI, M. P. **Perdas de nutrientes por erosão em diferentes métodos de melhoramento de pastagem nativa no Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, p. 705-712, 2002.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA. Usinas reduzem queimadas e consumo de água. v. 2010. n. 20/12. São Paulo: Centro de Tecnologia Canavieira, 2008.

COLTRO, L. **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. CETEA/ITAL, Campinas, v. 1, n. 1, p. 72, 2007.

CRAMER, J. **Testing framework for sustainable biomass**. Amsterdam: Sustainable Entrepreneurship B.V., 2007. Relatório Técnico.

CTC. Centro de Tecnologia Canavieira. Usinas reduzem queimadas e consumo de água. v. 2010. n. 20/12. São Paulo: Centro de Tecnologia Canavieira, 2008.

DEPARTMENT FOR TRANSPORT. DFT v. 2010. n. 24/03/2010.

DFT. Department for Transport. v. 2010. n. 24/03/2010.

DIAS DE OLIVEIRA, M. E.; VAUGHAN, B. E.; RYKIEL, E. J. **Ethanol as Fuel: Energy, Carbon Dioxide Balances, and Ecological Footprint**. BioScience, v. 55, n. 7, p. 593-602, 2005. Disponível em:<<http://caliber.ucpress.net/doi/abs/10.1641/0006-3568%282005%29055%5B0593%3A5EAFECDD%5D2.0.CO%3B2>>.

DONZELLI, J. L. Erosão na cultura da cana-de-açúcar: situação e perspectivas. In: **A Energia da Cana-de-Açúcar – Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade**. São Paulo, 2005. p. 144-148.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2009**. Rio de Janeiro, 2009. Relatório Técnico.

EPE. **Perspectivas para o Etanol no Brasil**. Cadernos de Energia EPE. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2008, 67p. Relatório Técnico.

FAIR TRADE LABELLING ORGANIZATIONS INTERNATIONAL. FLO. v. 2009. n. 14/10/2010.

FLO. Fair Trade Labelling Organizations International. v. 2009. n. 14/10/2010.

Global G.A.P. v. 2009. n. 15/10/2010.

GALDOS, M. V.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. **Soil carbon stocks under burned and unburned sugarcane in Brazil**. *Geoderma*, v. 153, n. 3-4, p. 347-352, 2009. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V67-4X9D5G4-1/2/3c45e03d6dca8b8b34ad612af17248bc>>.

GIAMPIETRO, M.; PIMENTEL, D. **Assessment of the energetics of human labor**. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 32, n. 3-4, p. 257-272, 1990. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6T3Y-4914SC2-2Y/2/818a631c449eed4827dfac76e21ff601>>.

GLOBAL G.A.P. v. 2009. n. 15/10/2010.

HANEGRAAF, M. C.; BIEWINGA, E. E.; VAN DERBIJL, G. **Assessing the ecological and economic sustainability of energy crops**. *Biomass and Bioenergy*, v. 15, n. 4-5, p. 345-355, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V22-3V45PBB-9/2/9eb7ad0082fb054cd81baf7e543bd58c>>.

H. WENZEL, M. H., LEO ALTING. **Environmental Assessment of Products**. Kluwer Academic Publishers, 1997. 564p.

HENDRIKS, C. A.; WORRELL, E.; DE JAGER, K.; K., B.; RIEMER, P. **Emission Reduction of Greenhouse Gases from the Cement Industry**. IEA Greenhouse Gases Program, p. 11, 2004. Disponível em: <<http://www.wbcsd.org/web/projects/cement/tf1/prghgt42.pdf>>.

IBGE. Confronto das Safras de 2009 e 2010. v. 2010. n. 12/10: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010a.

_____. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável, BRASIL 2010**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Coordenação: Celso José Monteiro Filho e Maria Luisa Gomes Castello Branco, 2010b.

INFOAM. International Federation of Organic Agriculture Movements. v. 2010. n. 14/10/2010.

INMETRO. Portaria n.º 282. Rio de Janeiro, 2008.

IPCC. **2006 IPCC GUIDELINES FOR NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES**. Kanagawa: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006a. Relatório Técnico.

_____. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. In: ____ **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. IPCC, 2006b. p. 35.

_____. Climate Change 2007: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report on the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Confronto das Safras de 2009 e 2010. v. 2010. n. 12/10: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010a.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA. v. 2009. n. 12/10/2010.
INTERNATIONAL FEDERATION OF ORGANIC AGRICULTURE
MOVEMENTS. INFOAM. v. 2010. n. 14/10/2010.

KADAM, K. L. **Environmental benefits on a life cycle basis of using bagasse-derived ethanol as a gasoline oxygenate in India.** Energy Policy, v. 30, n. 5, p. 371-384, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V2W-45B5NJW-2/2/f3f16119d3e7f2f82a6ba9d39a932c8e>>.

KIM, S.; DALE, B. E. **Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel.** Biomass and Bioenergy, v. 29, n. 6, p. 426-439, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V22-4GVGTFB-1/2/e520aed126b2066637801b9b5261ce36>>.

KONGSHAUG, G. **ENERGY CONSUMPTION AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN FERTILIZER PRODUCTION.** IFA Technical Conference, Marrakesh, Morocco, p. 18, 1998.

LAEGREID, M.; BOCKMAN, O. C.; O., K. **Agriculture, Fertilizers and the Environment.** The Journal of Agricultural Science, v. 135, n. 03, p. 294, 1999. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1017/S0021859699248149>>. Acesso em: 2000.

LAVE, L.; MACLEAN, H.; HENDRICKSON, C.; LANKEY, R. **Life-Cycle Analysis of Alternative Automobile Fuel/Propulsion Technologies.** Environmental Science & Technology, v. 34, n. 17, p. 3598-3605, 2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/es991322+>>.

LINDEIJER, E. **Biodiversity and life support impacts of land use in LCA.** Journal of Cleaner Production, v. 8, n. 4, p. 313-319, 2000. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VFX-40X8FT6-5/2/1e2d183c1e60cc7ddcb5c9af70a5d6ea>>.

MACEDO, I. **Greenhouse gas emissions and energy balances in bio-ethanol production and utilization in Brazil (1996).** Biomass and Bioenergy, v. 14, n. 1, p. 77-81, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V22-3SYYM6Y-6/2/6197c240393cb57d81286faf1c65c47f>>.

MACEDO, I.; LEAL, M.; DA SILVA, J. **Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil**. NIPE/UNICAMP, v. 1, p. 32, 2004.

MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E. A.; SILVA, J. E. A. R. **Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020**. Biomass and Bioenergy, v. 32, n. 7, p. 582-595, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V22-4RKDHMM-1/2/4f84e989658f0e1cfc431d2d7efdc6e8>>.

MALÇA, J.; FREIRE, F. **Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bio-ethyl tertiary butyl ether (bioETBE): Assessing the implications of allocation**. Energy, v. 31, n. 15, p. 3362-3380, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V2S-4JXPS3B-2/2/533577d49841cfefe20d8d10cec7886b>>.

MAPA. **PERFIL DO SETOR DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO BRASIL. Edição para a safra 2008-2009**.

DIRETORIA DE POLÍTICA AGRÍCOLA E INFORMAÇÕES, Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), 2010, 80p. Relatório Técnico.

MAPA; MMA; EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico da Cana-de Açúcar Expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro**. Rio de Janeiro, 2009. Relatório Técnico.

MENTEN, J.; SAMPAIO, I.; MOREIRA, H.; FLÔRES, D.; MENTEN, M. **O SETOR DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS NO BRASIL**. n. SINDAG, São Paulo, p. 4, 2010.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **PERFIL DO SETOR DO AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO BRASIL. Edição para a safra 2008-2009**.

DIRETORIA DE POLÍTICA AGRÍCOLA E INFORMAÇÕES, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), 2010, 80p. Relatório Técnico.

MAPA; MMA; EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico da Cana-de Açúcar Expandir a produção, preservar a vida, garantir o futuro**. Rio de Janeiro, 2009. Relatório Técnico.

ODUM, H. **Environmental accounting: emergy and environmental decision making**. New York, 1996.

OLIVEIRA, J. G. D. **Perspectivas para a cogeração com bagaço de cana-de-açúcar: potencial do mercado de carbono para o setor sucro-alcooleiro paulista**. São Paulo, 2007. 159 p. (Mestrado) - Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo.

OMETTO, A. R. **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO ÁLCOOL ETÍLICO HIDRATADO COMBUSTÍVEL PELOS MÉTODOS EDIP, EXERGIA E EMERGIA**. São Carlos, 2005. 209 p. (Doutor) - Engenharia (Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo.

PEREIRA, C. D. L. F. **Avaliação da Sustentabilidade Ampliada de Produtos Agroindustriais. Estudo de caso: Suco de Laranja e Etanol** Campinas, 2008. 290 p. (Doutor em Engenharia de Alimentos) - Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture. [Collection of available data]**. 1980. Medium: X; Size: Pages: 487p.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. **Ethanol Production: Energy and Economic Issues Related to U.S. and Brazilian Sugarcane**. Natural Resources Research, v. 16, n. 3, p. 235-242, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11053-007-9049-2>>.

Rainforest Alliance. v. 2009. n. 16/10/2010.

RESENDE, A. S. D.; SANTOS, A.; XAVIER, R. P.; COELHO, C. H.; GONDIM, A.; OLIVEIRA, O. C.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Efeito da queima da palhada da cana-de-açúcar e de aplicações de vinhaça e adubo nitrogenado em características tecnológicas da cultura**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 30, p. 937-941, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832006000600003&nrm=iso>.

ROSSETTO, R. Queima. v. 2010. n. 20/04. Seropédica, RJ: EMBRAPA, 2007. p. Agência de Informação Embrapa, cana de açúcar.

ROSSETTO, R.; SANTIAGO, A. D. Adubação - resíduos alternativos. v. 2010. n. 20/04. Seropédica, RJ: EMBRAPA, 2007. p. Agência de Informação. Cana de açúcar.

SACAROSE. Preparo de solo. v. 2011. n. 12/01. São Paulo 2009.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. Fitossanidade. v. 2010. n. 18/04. Seropédica: EMBRAPA, 2007a. p. Agência de Informação Embrapa, cana de açúcar.

_____. Preparo Convencional. v. 2010. n. 18/04. Seropédica, RJ: EMBRAPA, 2007b. p. Agência de Informação Embrapa, cana de açúcar.

_____. Preparo do solo. v. 2010. n. 18/04. Seropédica, RJ: EMBRAPA, 2007c. p. Agência de Informação Embrapa, cana de Açúcar.

SHAPOURI, H.; DUFFIELD, J. A.; WANG, M. **The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update**. United States Department of Agriculture, p. 19, 2002.

SILVA, C. E. C. **Avaliação dos condicionantes ambientais na perspectiva de expansão da produção de etanol no Brasil**. Rio de Janeiro, 2010. 78 p. Ms.C. - Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SINDAG. Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola. v. 2009. n. 19/112009.

SOARES, L. H. D. B.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. **Mitigação das Emissões de Gases Efeito Estufa pelo Uso de Etanol da Cana-de-açúcar Produzido no Brasil**. Seropédica,RJ: EMBRAPA, 2009, 14p. Relatório Técnico.

THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **2006 IPCC GUIDELINES FOR NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES**. Kanagawa: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2006. Relatório Técnico.

_____. Climate Change 2007: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fourth Assessment Report on the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC, 2007.

TIPPER, R.; WOODS, J.; GARSTANG, J.; VORLEY, B. **A Report Commissioned by the LowCVP**. London: The Edinburgh Centre for Carbon Management, Imperial College 2006, 55p. Relatório Técnico.

ULGIATI, S. **A Comprehensive Energy and Economic Assessment of Biofuels: When "Green" Is Not Enough**. Critical Reviews in Plant Sciences, v. 20, p. 71-106, 2001. Disponível em:<<http://www.ingentaconnect.com/content/tandf/bpts/2001/00000020/00000001/art00004>
<http://dx.doi.org/10.1080/20013591099191>>.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Produção de cana-de-açúcar do Brasil. v. 2010. n. 18/08/2010. São Paulo: UNICA, 2010.

UNICA. Produção de cana-de-açúcar do Brasil. v. 2010. n. 18/08/2010. São Paulo: UNICA, 2010.

WACKERNAGEL, M.; REESE, W. **OUR ECOLOGICAL FOOT PRINT. Reducing Human Impact On Earth**. Gabriola Island.BC, 1996.

WENZEL, H.; HAUSCHILD, M. Z.; JORGENSEN, J.; ALTING, L. **Environmental tools in product development**. In: Electronics and the Environment, 1994. ISEE 1994. Proceedings., 1994 IEEE International Symposium on, 1994. 2-4 May 1994. p. 100-105.

WWF. Worlwide Fund for Nature. *Relatório Planeta Vivo 2010*. v. 2010. n. 27/122010.

WOODS, J.; DIAZ-CHAVEZ, R. **The Environmental Certification of Biofuels**. London: Imperial College, 2007, 21p. Relatório Técnico.

WORLDWIDE FUND FOR NATURE. *Relatório Planeta Vivo 2010*. v. 2010. n. 27/122010.

YOSHIDA, Y.; DOWAKI, K.; MATSUMURA, Y.; MATSUHASHI, R.; LI, D.; ISHITANI, H.; KOMIYAMA, H. **Comprehensive comparison of efficiency and CO2 emissions between biomass energy conversion technologies--position of supercritical water gasification in biomass technologies**. *Biomass and Bioenergy*, v. 25, n. 3, p. 257-272, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V22-482YWFR-1/2/72a6b837cc5ef0ba4c113e78a28554a6>>.

Apêndice 1

Consumo de Óleo Diesel nas operações de campo para a produção de cana-de-açúcar.

Para o cálculo do poder calorífico do óleo diesel se usou as seguintes informações do Balanço Energético Nacional 2009, BEN(2009):

- Densidade: 840 kg/m^3

- Energia contida (kcal): 10.100 kcal/kg

Deve-se transformar a energia contida a MJ ($238,84 \text{ kcal}$ equivalem a 1 MJ).

- Energia contida (MJ):

$$10.100 \text{ kcal/kg} * 1 \text{ MJ}/238,84 \text{ kcal} = 42,287 \text{ MJ/kg}$$

Com o valor da energia contida num kg de óleo diesel podese obter o valor do Poder Calorífico do óleo diesel:

$$42,287 \text{ MJ/kg} * 840 \text{ kg/m}^3 * 1 \text{ m}^3/1000 \text{ L} = 35,520 \text{ MJ/l}$$

O poder calorífico do óleo diesel estimado é de $35,52 \text{ MJ/l}$.

Apêndice 2

Consumo de energia nos trabalhos manuais no cultivo da cana-de-açúcar

Como dado básico para o cálculo da energia consumida nos trabalhos manuais, foi usado com referência a energia consumida pelo trabalho rural (kcal/homem-dia de trabalho): 14975 kcal/dia. Obtido por Giampietro e Pimentel (1990). A continuação se apresenta o cálculo do trabalho manual nas operações agrícolas da cana-de-açúcar:

- Energia consumida pelo trabalho rural (MJ/dia homem de trabalho):

$$238,85 \text{ kcal/MJ} * 14975 \text{ kcal/dia} = 62,7 \text{ MJ/dia}$$

- Energia consumida pelo trabalho rural (MJ/horas homem):

$$62,7 \text{ MJ/dia} * 1 \text{ dia de trabalho} / 8 \text{ horas homem} =$$

$$7,8375 \text{ MJ/hora homem}$$

- Horas homem consumido por hectare num ano: 128 horas/ha.ano.

- Energia total investida nos plantio:

$$7,8375 \text{ MJ/ha.ano} * 128 \text{ homens/ha.ano} * 20\% =$$

$$200,64 \text{ MJ/ha.ano}$$

- Energia total investida no manejo da cultura:

$$7,8375 \text{ MJ/ha.ano} * 128 \text{ homens/ha.ano} * 20\% =$$

$$200,64 \text{ MJ/ha.ano}$$

- Energia total investida na colheita:

$$7,8375 \text{ MJ/ha.ano} * 85,11 \text{ homens/ha.ano} =$$

$$667,05 \text{ MJ/ha.ano}$$

Apêndice 3

Consumo de energia no transporte da cana do campo até a usina

Para o cálculo da energia no transporte da cana até a usina foi considerada a distancia media de 22 km, o transporte geralmente é feito em caminhões com capacidade entre 26 e 30 toneladas de cana, cujos consumos médios são de 1,6 km/litro de óleo diesel carregado e 3 km/litro quando vazios. A continuação se apresenta o cálculo:

- Distância média para recolher a cana: 22 km
- Capacidade de caminhão (modelo Romeo e Julieta):
26-30 t de cana (Media de 28 t de cana)
- 1 hectare produz 76,6 Mg de cana, logo precisa de:

$$76,6 t / 28 t : 2,73 \text{ cargas}$$

- Consumo do caminhão carregado: 1,6 Km/litro

- Consumo do caminhão vazio: 3 km/litro

$$1 \text{ viagem (ida e volta)} = 22 \text{ km} * 2 = 44 \text{ km então}$$

$$4,6 \text{ km/litro} / 2 = 2,3 \text{ km/litro}$$

- Consumo por hectare:

$$44 \text{ km} * 2,74 \text{ cargas} / 2,33 \text{ km/ litro} =$$

$$51,74 \text{ litros} * 5 \text{ colheitas} / 6 \text{ anos} = 43,1 \text{ litros} / \text{hectare.ano}$$

- Consumo de óleo diesel para o transporte da cana:

$$43,1 \text{ litros por hectare por ano.}$$

Apêndice 4 Consumo de Água

O consumo de água foi calculado tendo em conta a produção de cana, e seu rendimento.

- Produção de cana (safra 2008-2009) =

699.232.805 t de cana de açúcar produzida / 8.836.504 ha de cana colhida. Fonte: IBGE (Ibge, 2010a)

= 65, 942 t açúcar/ha.ano

- Produção de etanol (safra 2008-2009):

= 65. 942 kg açúcar/ha.ano ÷ 12,25 kg de açúcar/ l etanol

= 5382, 99 l etanol/ha.ano

- Consumo de água por litro de etanol: 21 l água/l etanol. Fonte: Pimentel e Patzek (2007).

- Consumo de água (l água/ha.ano) =

5382, 99 l etanol/ha.ano x 21 l água/l etanol =

113.042 9 l água/ha.ano

- Rendimento de Cana: 65, 942 t/ ha.ano Fonte: IBGE (2010a)

- Consumo de água por tonelada de cana processada =

113. 042,9 l água/ha.ano ÷ 65,942 t /ha.ano =

1714, 29 l água/t =

1,71 m³ de água/tonelada de cana processada.

Apêndice 5

Análise de Incerteza

A continuação se apresenta o procedimento utilizado para estimar as incertezas associadas ao inventario das emissões dos gases efeito estufa do ciclo de vida do etanol de cana-de-açúcar.

1. Uso de energia

1.1 Equações do uso de energia

Para cada item:

Energia empregada por cada item (MegaJoule/ha.ano):

Quant. Bás. (Unidade Básica/ha.ano) * *Fator Energ.* (MJ/Unidade Básica)

$$E_n = QB \times FE \quad A1$$

- *Quant. Bás.:* Indica a quantidade da cada uma das entradas.
- *Fator Energ. MJ/Unid. Bas.:* Mostra o fator energético (em MegaJoules) utilizado para cada entrada pela unidade básica das entradas.

1.2 Equações para calcular a incerteza para o uso de energia:

$$\Delta E_n = \left\{ \left[\frac{\partial E_n}{\partial QB} \cdot \Delta QB \right]^2 + \left[\frac{\partial E_n}{\partial FE} \cdot \Delta FE \right]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\Delta E_n = \{(FE \times \Delta QB)^2 + (QB \times \Delta FE)^2\}^{1/2} \quad A2$$

Para o erro porcentual:

$$\frac{\Delta E_n}{E_n} = \left\{ \left(\frac{FE \times \Delta QB}{QB \times FE} \right)^2 + \left(\frac{QB \times \Delta FE}{QB \times FE} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

$$\frac{\Delta E_n}{E_n} = \left\{ \left(\frac{\Delta QB}{QB} \right)^2 + \left(\frac{\Delta FE}{FE} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad A3$$

2. Emissão de CH₄

2.1 Equação para calcular a emissão de CH₄:

Emissão de CH₄ (Kg./ha.ano):

Energia empregada por cada item (MegaJoule/ha. ano) * Quantidade de CH₄ emitido pelo combustível de maior representabilidade para cada um dos item (Kg. CH₄/MJ)

$$E_{CH_4} = En \times Fr_{CH_4} \quad A4$$

2.2 Equação para calcular a incerteza da emissão de CH₄:

$$\Delta E_{CH_4} = \left\{ \left[\frac{\partial E_{CH_4}}{\partial En} \cdot \Delta En \right]^2 + \left[\frac{\partial E_{CH_4}}{\partial Fr_{CH_4}} \cdot \Delta Fr_{CH_4} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\Delta E_{CH_4} = \left\{ (Fr_{CH_4} \times \Delta En)^2 + (En \times \Delta Fr_{CH_4})^2 \right\}^{1/2} \quad A5$$

Para o erro porcentual:

$$\frac{\Delta E_{CH_4}}{E_{CH_4}} = \left\{ \left(\frac{Fr_{CH_4} \times \Delta En}{En \times Fr_{CH_4}} \right)^2 + \left(\frac{En \times \Delta Fr_{CH_4}}{En \times Fr_{CH_4}} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

$$\frac{\Delta E_{CH_4}}{E_{CH_4}} = \left\{ \left(\frac{\Delta En}{En} \right)^2 + \left(\frac{\Delta Fr_{CH_4}}{Fr_{CH_4}} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad A6$$

2.3 Equação para calcular o fator de emissão de CH₄:

Fator de emissão (Kg. CH₄/Unid. Bas.):

Emissão de CH₄ (Kg./ha.ano) / Quantidade Básica (Unidade Básica/ha.ano)

$$Fe_{CH_4} = E_{CH_4} \div QB \quad A7$$

2.4 Equação para calcular a incertezas do fator de emissão de CH₄:

$$\Delta Fe_{CH_4} = \left\{ \left[\frac{\partial Fe_{CH_4}}{\partial E_{CH_4}} \cdot \Delta E_{CH_4} \right]^2 + \left[\frac{\partial Fe_{CH_4}}{\partial QB} \cdot \Delta QB \right]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\Delta Fe_{CH_4} = \left\{ \left[\frac{\Delta E_{CH_4}}{QB} \right]^2 + \left[\frac{E_{CH_4}}{QB^2} \cdot \Delta QB \right]^2 \right\}^{1/2} \quad A8$$

Para o erro porcentual:

$$\frac{\Delta F_{e_{CH_4}}}{F_{e_{CH_4}}} = \left\{ \left[\frac{\Delta E_{CH_4}}{QB} \times \frac{QB}{E_{CH_4}} \right]^2 + \left[\frac{E_{CH_4}}{QB^2} \times \Delta QB \times \frac{QB}{E_{CH_4}} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\frac{\Delta F_{e_{CH_4}}}{F_{e_{CH_4}}} = \left\{ \left[\frac{\Delta E_{CH_4}}{E_{CH_4}} \right]^2 + \left[\frac{\Delta QB}{QB} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

A9

3. Emissão de N₂O

3.1 Equação para calcular a emissão de N₂O:

Emissão de N₂O (Kg./ha.ano):

Energia empregada por cada item (MegaJoule/ha. ano) * Quantidade de N₂O emitido pelo combustível de maior representabilidade para cada um dos item (Kg. N₂O /MJ)

$$E_{N_2O} = E_n \times Fr_{N_2O}$$

A10

3.2 Equação para calcular a incerteza da emissão de N₂O:

$$\Delta E_{N_2O} = \left\{ \left[\frac{\partial E_{N_2O}}{\partial E_n} \cdot \Delta E_n \right]^2 + \left[\frac{\partial E_{N_2O}}{\partial Fr_{N_2O}} \cdot \Delta Fr_{N_2O} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\Delta E_{N_2O} = \left\{ (Fr_{N_2O} \times \Delta E_n)^2 + (E_n \times \Delta Fr_{N_2O})^2 \right\}^{1/2}$$

A11

Para o erro porcentual:

$$\frac{\Delta E_{N_2O}}{E_{N_2O}} = \left\{ \left(\frac{Fr_{N_2O} \times \Delta E_n}{E_n \times Fr_{N_2O}} \right)^2 + \left(\frac{E_n \times \Delta Fr_{N_2O}}{E_n \times Fr_{N_2O}} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

$$\frac{\Delta E_{N_2O}}{E_{N_2O}} = \left\{ \left(\frac{\Delta E_n}{E_n} \right)^2 + \left(\frac{\Delta Fr_{N_2O}}{Fr_{N_2O}} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

A12

3.3 Equação para calcular o fator de emissão de N₂O:

Fator de emissão (Kg. N₂O /Unid. Bas.):

Emissão de N₂O (Kg./ha.ano) / Quantidade Básica (Unidade Básica/ha.ano)

$$F_{e_{N_2O}} = E_{N_2O} \div QB$$

A13

3.4 Equação para calcular a incerteza do fator de emissão de N₂O:

$$\Delta F_{e_{N_2O}} = \left\{ \left[\frac{\partial F_{e_{N_2O}}}{\partial E_{N_2O}} \cdot \Delta E_{N_2O} \right]^2 + \left[\frac{\partial F_{e_{N_2O}}}{\partial QB} \cdot \Delta QB \right]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\Delta F_{e_{N_2O}} = \left\{ \left[\frac{\Delta E_{N_2O}}{QB} \right]^2 + \left[\frac{E_{N_2O}}{QB^2} \cdot \Delta QB \right]^2 \right\}^{1/2}$$

A14

Para o erro porcentual:

$$\frac{\Delta F_{e_{N_2O}}}{F_{e_{N_2O}}} = \left\{ \left[\frac{\Delta E_{N_2O}}{QB} \times \frac{QB}{E_{N_2O}} \right]^2 + \left[\frac{E_{N_2O}}{QB^2} \times \Delta QB \times \frac{QB}{E_{N_2O}} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\frac{\Delta F_{e_{N_2O}}}{F_{e_{N_2O}}} = \left\{ \left[\frac{\Delta E_{N_2O}}{E_{N_2O}} \right]^2 + \left[\frac{\Delta QB}{QB} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

A15

4. Emissão de CO₂

4.1 Equação para calcular a emissão de CO₂:

Emissão de CO₂ (Kg./ha.ano):

Energia empregada por cada item (MegaJoule/ha. ano) * Quantidade de CO₂ emitido pelo combustível de maior representabilidade para cada um dos item (Kg. CO₂ /MJ)

$$E_{CO_2} = En \times Fr_{CO_2}$$

A16

4.2 Equação para calcular a incerteza da emissão de CO₂:

$$\Delta E_{CO_2} = \left\{ \left[\frac{\partial E_{CO_2}}{\partial En} \cdot \Delta En \right]^2 + \left[\frac{\partial E_{CO_2}}{\partial Fr_{CO_2}} \cdot \Delta Fr_{CO_2} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\Delta E_{CO_2} = \left\{ (Fr_{CO_2} \times \Delta En)^2 + (En \times \Delta Fr_{CO_2})^2 \right\}^{1/2}$$

A17

Para o erro porcentual:

$$\frac{\Delta E_{CO_2}}{E_{CO_2}} = \left\{ \left(\frac{Fr_{CO_2} \times \Delta En}{En \times Fr_{CO_2}} \right)^2 + \left(\frac{En \times \Delta Fr_{CO_2}}{En \times Fr_{CO_2}} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

$$\frac{\Delta E_{CO_2}}{E_{CO_2}} = \left\{ \left(\frac{\Delta En}{En} \right)^2 + \left(\frac{\Delta Fr_{CO_2}}{Fr_{CO_2}} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

A18

4.3 Equação para calcular o fator de emissão de CO₂:

Fator de emissão (Kg. CO₂ /Unid. Bas.):

Emissão de CO₂ (Kg./ha.ano) / Quantidade Básica (Unidade Básica/ha.ano)

$$F_{e_{CO_2}} = E_{CO_2} \div QB \quad A19$$

4.4 Equação para calcular a incerteza do fator de emissão de CO₂:

$$\Delta F_{e_{CO_2}} = \left\{ \left[\frac{\partial F_{e_{CO_2}}}{\partial E_{CO_2}} \cdot \Delta E_{CO_2} \right]^2 + \left[\frac{\partial F_{e_{CO_2}}}{\partial QB} \cdot \Delta QB \right]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\Delta F_{e_{CO_2}} = \left\{ \left[\frac{\Delta E_{CO_2}}{QB} \right]^2 + \left[\frac{E_{CO_2}}{QB^2} \cdot \Delta QB \right]^2 \right\}^{1/2} \quad A20$$

Para o erro porcentual:

$$\frac{\Delta F_{e_{CO_2}}}{F_{e_{CO_2}}} = \left\{ \left[\frac{\Delta E_{CO_2}}{QB} \times \frac{QB}{E_{CO_2}} \right]^2 + \left[\frac{E_{CO_2}}{QB^2} \times \Delta QB \times \frac{QB}{E_{CO_2}} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\frac{\Delta F_{e_{CO_2}}}{F_{e_{CO_2}}} = \left\{ \left[\frac{\Delta E_{CO_2}}{E_{CO_2}} \right]^2 + \left[\frac{\Delta QB}{QB} \right]^2 \right\}^{1/2} \quad A21$$

5. Emissão em unidades equivalentes de CO₂.

5.1 Para a emissão em unidades equivalentes de CO₂:

Emissão de CH₄ (Kg./ha.ano) * GWP_{CH₄} + Emissão de CH₄ (Kg./ha.ano) * GWP_{N₂O} + Emissão de CO₂ (Kg./ha.ano)

$$E_{CO_2_{eq}} = E_{CH_4} \times GWP_{CH_4} + E_{N_2O} \times GWP_{N_2O} + E_{CO_2} \quad A22$$

5.2 Equação para calcular a incerteza das emissões em unidades equivalentes de CO₂:

$$\Delta E_{CO_2_{eq}} = \left\{ \left[\frac{\partial E_{CO_2_{eq}}}{\partial E_{CH_4}} \times \Delta E_{CH_4} \right]^2 + \left[\frac{\partial E_{CO_2_{eq}}}{\partial GWP_{CH_4}} \times \Delta GWP_{CH_4} \right]^2 + \left[\frac{\partial E_{CO_2_{eq}}}{\partial E_{N_2O}} \times \Delta E_{N_2O} \right]^2 + \left[\frac{\partial E_{CO_2_{eq}}}{\partial GWP_{N_2O}} \times \Delta GWP_{N_2O} \right]^2 + \left[\frac{\partial E_{CO_2_{eq}}}{\partial E_{CO_2}} \times \Delta E_{CO_2} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

$$\Delta E_{CO_2eq} = \left\{ [GWP_{CH_4} \times \Delta E_{CH_4}]^2 + [E_{CH_4} \times \Delta GWP_{CH_4}]^2 + [GWP_{N_2O} \times \Delta E_{N_2O}]^2 + [E_{N_2O} \times \Delta GWP_{N_2O}]^2 + [\Delta E_{CO_2}]^2 \right\}^{1/2}$$

A23

6. Para as incertezas combinadas como % Del total de emissões por cada etapa do ciclo de vida do etanol de cana-de-açúcar, sendo i itens de entrada.

$$\Delta E_T = \left\{ \sum_i [\Delta E_{CO_2eq}]^2 \right\}^{1/2}$$

A24

Apêndice 6. Planilha de Cálculo.

ENTRADAS			ENERGIA			EMISSÕES									
ITEM	Quant. Bas.	Unid. Bas./ha.ano	Fator Energ. MJ/Unid. Bas.	MJ/ha.ano	Font. Equiv.	kg CH ₄ /MJ (*10-3)	Emissão de CH ₄ (Kg./ha.ano)	Fator de Emissão kg CH ₄ /Unid. Bas. (*10-3)	kg N ₂ O/MJ (*10-3)	Emissão de N ₂ O (Kg./ha.ano)	Fator de Emissão kg N ₂ O/Unid. Bas. (*10-3)	kg CO ₂ /MJ (*10-3)	Emissão de CO ₂ (kg/ha.ano)	Fator de Emissão kg CO ₂ /Unid. Bas.	kg CO ₂ Eq/ha. ano
PLANTIO DA CANA															
Máquinas	39,6	kg.	8,5	337,5	C	1,0E-06	3,4E-04	8,5E-06	1,5E-06	5,1E-04	1,3E-05	9,5E-02	31,9	0,8	32,1
Óleo Diesel	15,3	L	35,5	543,8	O	3,0E-06	1,6E-03	1,1E-04	6,0E-08	3,3E-05	2,1E-06	7,4E-02	40,3	2,6	40,3
Mão-de-Obra	25,6	H	7,8	200,7	P	3,0E-06	6,0E-04	2,4E-05	6,0E-08	1,2E-05	4,7E-07	7,3E-02	14,7	0,6	14,7
Herbicidas	3,2	kg.	451,7	1.445,3	P	3,0E-06	4,3E-03	1,4E-03	6,0E-08	8,7E-05	2,7E-05	7,3E-02	105,9	33,1	106,1
Calcário	367	kg.	1,3	480,8										0,8	275,3
Nitrogênio	56,7	kg.	54,0	3.061,8										0,6	34,6
Fósforo	16	kg.	3,2	51,0										0,2	2,7
Potássio	83	kg.	5,9	489,9										0,3	28,2
Sementes	200,0	kg.	0,0	182,5	P	3,0E-06	5,5E-04	2,7E-07	6,0E-08	1,1E-05	5,5E-09	7,3E-02	13,4	0,0	13,4
Transp. de Insumos	5	L	35,5	177,6	O	3,0E-06	5,3E-04	1,1E-04	6,0E-08	1,1E-05	2,1E-06	7,4E-02	13,2	2,6	13,2
Subtotal				6.969,9			0,0080			6,6E-04			219,4		560,6
MANEJO DA CULTURA															
Máquinas	9,6	kg.	8,5	81,5	C	1,0E-06	8,0E-05	8,5E-06	1,5E-06	1,2E-04	1,3E-05	9,5E-02	7,7	0,8	7,7
Óleo Diesel	1,2	L	35,5	41,8	O	3,0E-06	1,3E-04	1,1E-04	6,0E-08	2,5E-06	2,1E-06	7,4E-02	3,1	2,6	3,1
Mão-de-Obra	25,6	H	7,8	200,7	P	3,0E-06	6,0E-04	2,4E-05	6,0E-08	1,2E-05	4,7E-07	7,3E-02	14,7	0,6	14,7
Inseticidas	0,2	kg.	363,8	87,3	P	3,0E-06	2,6E-04	1,1E-03	6,0E-08	5,2E-06	2,2E-05	7,3E-02	6,4	26,7	6,4
Aplicação de vinhaça	180	m3		671,1			3,4E+00			3,1E-01					171,4
Emissões do solo	0	0		0,0			0,0E+00			5,7E-01					167,8
Subtotal				1.082,4			3,4			0,9		0,0E+00	31,9		371,2
COLHEITA															
Máquinas	87,4	kg.	8,5	744,9	C	1,0E-06	7,4E-04	8,5E-06	1,5E-06	1,1E-03	1,3E-05	9,5E-02	70,5	0,8	70,8
Óleo Diesel	12,7	L	35,5	449,7	O	3,0E-06	1,3E-03	1,1E-04	6,0E-08	2,7E-05	2,1E-06	7,4E-02	33,3	2,6	33,4
Mão-de-Obra	53,5	H	7,8	419,3	P	3,0E-06	1,3E-03	2,4E-05	6,0E-08	2,5E-05	4,7E-07	7,3E-02	257,2	4,8	257,2
Emissões da queima	0	0		0,0			22,1			5,7E-01		0,0E+00	0,0	0,0	676,4
Mineralização dos resíduos	0	0		0,0			0,0E+00			1,9E-01		0,0E+00	0,0	0,0	55,8
Transporte da Cana	48,6	L	35,5	1725,6	O	3,0E-06	5,2E-03	1,1E-04	6,0E-08	1,0E-04		7,4E-02	127,9	2,6	128,0
Subtotal				3.339,4			22,1			0,8		0,0E+00	488,8		1.221,6
USINA															
Aço leve estrutural	28	kg.	30	839,7									29,7	1,1	29,7
Aço leve em equipamentos	25,1	kg.	30	753,0									26,6	1,1	26,6
Aço inoxidável	4,0	kg.	71,7	286,1									6,4	1,6	6,4
Cimento	11,5	kg.	6,2	71,1									5,8	0,5	5,8
Retificação ate 99,5%	0			225,3											
Reagentes químicos usados na usina	0			487,6											
Subtotal				2.662,8											68,5
TOTAL PRODUÇÃO				14.054,6											2.221,8
DISTRIBUIÇÃO															
Óleo diesel	9,8	L	35,52	349,3	O	3,0E-06	1,0E-03	1,1E-01		2,1E-08	2,1E-06	0,1	25,9	2,6	25,9
Subtotal				349,3			1,0E-03			2,1E-08			25,9		25,9
TOTAL				14.403,9											2.247,7
Rendimento Cana de açúcar	65,9	t													
Produção total de etanol	5.383	L	21,45	115.465,2											
Balanco Energético final				8,2											
Balanco Energético final incluindo a distribuição				8,0											

GWPCH₄	Incerteza	GWPN₂O	Incerteza
23		296	

Legenda:

AMARELO	Unidade utilizada
VERDE	Dados de entrada
AZUL	Resultados
LARANJA	Fatores energeticos e fatores de emissão

Carvão	C
Óleo Crú	O
Petroleo	P

Anexo 1: Cálculo da energia fóssil consumida na fabricação e manutenção do maquinário agrícola.

Fonte: Pimentel (1980) citado por Boddey et al. (2008). Dados apresentados na base de um hectare por ano.

Maquinaria	Densidade das maquinas	% de aço	Aço total	Pneus totais	Energia/ha						
					Aço	Pneus	Total dos materiais	Fabricação	Manutenção	Total	Per ano
	kg/ha		kg/ha		MJ/ha						
Tratores e colheitadeiras	41,80	0,82	50,68	11,12	1.520,28	953,33	2.473,61	740,38	734,66	3370,13	674,03
Implementos de arrastre	12,40	1,00	32,40	0,00	1.234,44	0,00	1.234,44	279,29	381,44	1.622,70	202,84
Veículos para carregar a cana	82,40	0,94	86,86	5,54	3.309,21	475,12	3.784,33	1.268,97	764,44	4.908,14	981,63
	136,60										1.408,91

Energia de aço em tratores	30 MJ/kg
Aço em implementos e caminhões	1,27 38,1 MJ/kg
Pneus	85,7 MJ/kg
Energia na fabricação de tratores	14,61 MJ/kg
Energia na fabricação de implementos	8,62 MJ/kg
Energia na fabricação de caminhões	14,61 MJ/kg
Custo energético de manutenção dos tratores	0,297 kg
Custo energético de manutenção dos implementos	0,309 kg
Custo energético de manutenção dos caminhões	0,202 kg
total ajustado a vida real (TARL)	0,82 x (energia total usada+energia para à fabricação)
Total de energia	TARL+energia de manutenção
Vida dos tratores	5 Anos
Vida dos implementos	8 Anos
Vida dos caminhões	5 Anos
Fator Energético para o maquinário:	$1408,91 \text{ MJ/ha.ano} \div 136,6 \text{ kg/ha} = 10,3 \text{ MJ/kg.ano} * 5 \text{ anos}/6 = 8,5 \text{ MJ/kg}$

Anexo 2 Equipamentos e implementos utilizados nas etapas de plantio, manejo da cultura e colheita.
Fonte: Macedo et al. (2004)

N	Operações agrícolas	Equipamentos	Pot cv	Implementos	Consumo (l diesel/h)	Capacidade de trabalho (ha/h)	Consumo específico (l/ha)
Operações para preparo de solo e plantio							
1	Aplicação de calcário	MF 290	78	Carreta distribuidora de calcário	6	1,61	3,73
2	Eliminação mecânica de soqueira	Valmet 1580	143	Eliminador mecânico de soqueira	12,2	1,1	6,92
3	Eliminação química de soqueira	MF 275	69	Bomba de herbicida	4	2,5	1,6
4	Gradagem pesada I	CAT D-6	165	Grade pesada 18 D x 34"	27,6	1,3	13,94
5	Solsolagem	CAT D-6	165	Subsolador de 5 hastes	26	1	22,41
6	Gradagem pesada II	CAT D-6	165	Grade pesada 18 D x 34"	27,6	1,35	13,53
7	Gradagem pesada III	CAT D-6	165	Grade pesada 18 D x 34"	27,6	1,35	13,53
8	Gradagem de acabamento	Valmet 1780	165	Grade leve 48 D x 20"	15	1,6	9,38
9	Sulcação e adubação	MF 680	170	Sulcador adubador duplo	15	1,1	9,13
10	Distribuição de mudas	MF 275	69	Carreta para plantio	4	0,6	4,18
11	Fechamento do sulco e aplicação de inseticida	MF 275	69	Cobridor de cana de 2 linhas	4,8	1,8	1,90
12	Cultivo químico (aplic. De herbicida)	MF 275	69	Bomba de herbicida	4	2,5	1,21
13	Cultivo mecânico (cultivo quebra do meio)	MF 292	104	Cultivador para quebra do meio	8	1,3	3,82
	Total						144,92
Operações para tratos culturais							
1	Aleiramento de palha	MF 275	69	Aleirador de palha	4	1,5	2,92
2	Cultivo triplice operação	Valmet 1580	143	Cultivador triplice operação	9,2	1,3	4,49
3	Cultivo químico (aplic. De herbicida)	MF 275	69	Bomba de herbicida	4	2,5	1,21
	Total						8,62
Operações para a colheita da cana							
1		Case A-7700	330	Colhedora de cana combinada	40,4	45 t/h	74
2		MF 290 RA	78	Carregadora de cana	7,1	46 t/h	12,7
3		Valtra BH 180	180	Reboque de julieta/transbordo	9	35 t/h	21,2

Anexo 3

Metodologia de cálculo do uso de energia fóssil na usina.

Fonte: Pimentel e Patzek (2007).

Vida útil		Massa ^a	Incluindo manutenção ^c	Incluindo uso de energia in-situ ^d	kg/ano	kg/ha.ano	Energia total
	Anos ^b	Mg					MJ/ha.ano
Cimento na construção	50	1.600	4.800	4.992	99.840	11,47	75,83
Aço leve (estrutural)	25	2.873	5.746	6.090,76	243.630,4	27,99	839,80
Aço leve em equipamento	10	1.437	2.011,8	2.184,24	218.424	25,10	752,91
Aço inoxidável	25	410	820	869,2	34.768	3,99	286,43
							1.954,96
Cana colhida que entra à usina	666.667	Mg/ano					
Área colhida por uma usina	8.703,2	ha					
Energia em cimento ^e	6,61	MJ/kg					
Energia em aço ^f	30	MJ/kg					
Energia em aço leve ^g	71,7	MJ/kg					

^aDedini S.A. Piracicaba citado por Boddey et al. (2008)

^bMacedo et al. (2004)

^cCosto de energia de manutenção de 4%. Fonte: (Boddey et al., 2008)

^d12,5% da massa de cada componente. Fonte: Hammon et al. (1978) citado por Boddey et al. (2008)

^eIEA (1999) citado por Boddey et al. (2008)

^fWorrel et al. (1997) citado por Boddey et al. (2008)

^gEnergia incluída no aço inoxidável = 2,39 x energia em aço leve (Pimentel e Patzek, 2007)

Anexo 4

Valores de incertezas para fatores energéticos, segundo as considerações de expertos IPCC.

ITEM	Incertezas devido a fatores de energia	
	Categoria de Fonte	Fator energético (%)
Máquinas	Processos indústrias	7
Óleo Diesel	Combustíveis Fosseis	5
Mão-de-obra	Trabalho	12
Herbicidas	Inseticidas e Herbicidas	5
Calcário	Aplicação de fertilizantes	8
Nitrogênio	Aplicação de fertilizantes	8
Fósforo	Aplicação de fertilizantes	8
Potássio	Aplicação de fertilizantes	8
Sementes	Processos industriais	10
Transp. de Insumos	Combustíveis Fosseis	5
Transporte da Cana	Combustíveis Fosseis	5
Inseticidas	Inseticidas e Herbicidas	5
Aço leve estrutural	Processos industriais	7
Aço leve em equipamentos	Processos industriais	7
Aço inoxidável	Processos industriais	7
Cimento	Processos industriais	7

Fonte: IPCC (2006b)