



Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia de Alimentos  
Departamento de Engenharia de Alimentos



## Análise do Ciclo de Vida da Soja

---

**Otávio Cavalett**

*Doutorando em Engenharia de Alimentos*

**Prof. Dr. Enrique Ortega Rodriguez**

*Orientador*

**CAMPINAS – SÃO PAULO**

**2008**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA FEA – UNICAMP

C314a Cavalett, Otávio  
Análise do ciclo de vida da soja / Otávio Cavalett. -- Campinas, SP:  
[s.n], 2008.

Orientador: Enrique Ortega Rodriguez  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas.Faculdade  
de Engenharia de Alimentos

1. Biodiesel. 2. Avaliação emergética. 3. Energia incorporada -  
Análise. 4. Análise de intensidade de materiais. 5. Agricultura  
sustentável. I. Ortega Rodriguez, Enrique. II. Universidade  
Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.  
Título.

(cars/fea)

Titulo em inglês: Life cycle assessment of soybean

Palavras-chave em inglês (Keywords): Biodiesel, Emeryg analysis, Embodied energy - Analysis,  
Material flow accounting, Sustainable agriculture

Titulação: Doutor em Engenharia de Alimentos

Banca examinadora: Enrique Ortega Rodríguez

José Maria Gusman Ferraz

Luiz Alberto Ambrósio

Carlos Eduardo Vaz Rossell

Biagio Fernando Giannetti

Bastiaan Philip Reydom

Programa de Pós Graduação: Programa em Engenharia de Alimentos



Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Engenharia de Alimentos  
Departamento de Engenharia de Alimentos



## Análise do Ciclo de Vida da Soja

---

**Otávio Cavalett**

*Doutorando em Engenharia de Alimentos*

**Prof. Dr. Enrique Ortega Rodriguez**

*Orientador*

Tese apresentada à comissão examinadora como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia de Alimentos pela Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas.

**CAMPINAS – SÃO PAULO**

**2008**



# Banca Examinadora

---

---

**Prof. Dr. Enrique Ortega**

Orientador – DEA/FEA/UNICAMP

---

**Dr. José Maria Gusman Ferraz**

Membro – EMBRAPA/CNPMA

---

**Dr. Luiz Alberto Ambrósio**

Membro – Instituto de Zootecnia

---

**Dr. Carlos Eduardo Vaz Rossell**

Membro – NIPE

---

**Dr. Biagio Fernando Giannetti**

Membro – UNIP

---

**Dr. Bastiaan P. Reydom**

Membro – IE/UNICAMP



*Aos meus pais Divo e Valmor e  
à minha irmã Cláudia.*



# AGRADECIMENTOS

---

À toda minha família pelo apoio, estímulo e carinho incondicionais.

Ao professor Enrique Ortega pela oportunidade de desenvolver o tema abordado nesta tese.

Aos grandes amigos do Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada da FEA: Alexandre, Feni, Marcão, Lucas, Consuelo, Marlei, Fabio, Raul, Juliana, Daniel, Teldes e John por fazer do LEIA um ótimo ambiente de trabalho, descontração e, acima de tudo, amizade.

Aos queridos amigos Ricardo, Mito, Astrid, Evandro, Cláudio, Dani, Marcela, Leila, Lucielen, Camila, Lia, Machadinho, Bia, Tati, Veri, Moribe, Caiçara, Gustavo, Gabi e Léo pela ajuda, incentivo e carinho. Não saberia como dizer o quanto vocês são importantes para mim.

À todos os demais colegas do DEA pelos estudos, discussões, festas, churrascos, etc... durante estes últimos anos de convívio.

Al eccellentissimo professore Sergio Ulgiati per la Sua amicizia ed esempio di vita e lavoro.

Ai grandissimi amici d'Italia: Pier Paolo, Prof. Dumontet, Sílvia, Amália, Anna, Francesco, Andrea, Paolo, Serafina e Rosanna.

Aos membros da banca examinadora pelas correções e sugestões no sentido de melhorar a qualidade do trabalho.

Aos demais professores funcionários da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Unicamp por dar o aporte necessário para a realização deste trabalho.

Ao CNPq e a Capes pelo apoio financeiro.



*"For six billion people deeply indoctrinated in the ethics of growth,  
a turndown and descent of civilization is unthinkable.  
That this descent could be prosperous is so inconceivable that it is unmentionable...  
Showing a good way down is a call for everyone to think ahead and plan."*

**Howard T. Odum**  
Ecologista Norte-Americano  
(1924-2002)

*"...Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para  
quebrar essa arrogância que nos faz ver o mundo como o imaginamos,  
e não simplesmente como é ou pode ser;  
que nos faz professores e doutores do que não vimos,  
quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver..."*

**Amyr Klink**  
Navegador Brasileiro  
(1955 -)



## RESUMO

---

O objetivo deste trabalho de pesquisa é avaliar o ciclo de vida da soja para quantificar as contribuições ambientais e econômicas necessárias em cada etapa de produção, transporte e processamento de soja e seus principais produtos. Para tanto, foram utilizadas a análise de energia incorporada, a análise de intensidade de materiais e a análise emergética, além de indicadores econômicos e sociais. Os resultados mostram que produção agrícola da soja é a etapa que utiliza maior quantidade de recursos no ciclo de vida dos produtos considerados: farelo de soja exportado para a Europa, biodiesel e óleo de soja refinado. Por isso, esta é a etapa agrícola é aquela que requer mais atenção dos tomadores de decisões em políticas públicas para um ciclo de vida da soja mais sustentável. Os resultados mostram que a produção de biodiesel de soja convencional não é uma alternativa sustentável (renovabilidade = 31%) para fornecimento de energia para a sociedade e também que os fluxos de farelo de soja exportados para a Europa são responsáveis por grandes impactos ambientais (índice de carga ambiental = 2,83). Entretanto, os resultados obtidos mostram que a soja pode ser produzida em sistemas alternativos mais sustentáveis de forma a reduzir estes impactos negativos.

**Palavras-chave:** biodiesel; avaliação emergética; análise de energia incorporada; análise de intensidade de materiais; agricultura sustentável.



## ABSTRACT

---

The objective of this study is to assess the soybean life cycle to quantify the environmental and economic contributions at each stage of soybean and soybean products production, transport and processing phases. In order of that, it were used the Embodied Energy Analysis, the Material Intensity Analysis and the Energy Synthesis as well other economic and social indicators. The results showed that agricultural production stage is the phase that uses larger amount of resources in the life cycle of soybean products considered: soy meal exported to Europe, biodiesel and refined soy oil. Therefore, the agricultural phase requires more attention of decision-makers for public policies toward a more sustainable soybean chain. Quantitative indicators showed that biodiesel production from conventional soybean is not a sustainable (renewability = 31%) alternative for energy supply to the society. Also, the soy meal flows exported to Europe are responsible for high environmental damages (environmental loading ratio = 2.83). However, the results showed that soybean can be produced in more sustainable alternative systems in order to reduce these negative impacts.

**Key-words:** biodiesel; energy assessment; embodied energy analysis; material intensity analysis; sustainable agriculture.



# SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	IX
RESUMO	XIII
ABSTRACT	XV
SUMÁRIO	XVII
ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES	XXI
ÍNDICE DE TABELAS	XXIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Hipótese do trabalho	3
1.2 Organização geral da tese	3
2. OBJETIVOS	5
2.1 Objetivo geral	5
2.2 Objetivos específicos	5
3. REVISÃO DE LITERATURA	7
3.1 Desenvolvimento sustentável	7
3.2 Produção de soja no Brasil	9
3.3 Mercado mundial de soja e farelo de soja	12
3.4 Impactos econômicos, sociais e ambientais do ciclo de vida da soja	15
3.5 Abordagens para avaliação do ciclo de vida da soja	17
3.6 Análise de intensidade de materiais	19
3.7 Análise de energia incorporada	20
3.8 Análise emergética	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 Coleta de dados	25
4.2 Indicadores econômicos: análise de custo e retorno econômico	26
4.3 Indicadores sociais	27
4.4 Análise de intensidade de fluxo de materiais	28
4.5 Análise da energia incorporada	29

<b>4.6 Avaliação emergética</b>	<b>30</b>
4.6.1 Transformidade solar	32
4.6.2 Renovabilidade emergética ou sustentabilidade	32
4.6.3 Taxa de eficiência emergética	33
4.6.4 Taxa de carga ambiental	33
4.6.5 Taxa de investimento emergético	34
4.6.6 Taxa de intercâmbio emergético	34
4.6.7 Índice de sustentabilidade emergética	35
4.6.8 Concentração de potência emergética	36
4.6.9 Incorporação das externalidades negativas e perda de serviços ambientais na avaliação emergética	36
4.6.10 Estimativa da capacidade de carga usando a Produtividade Líquida Primária (NPP)	38
<b>4.7 Etapas do ciclo de vida da soja</b>	<b>39</b>
4.7.1 Sistema produção agrícola de soja	39
4.7.2 Processo de extração do óleo de soja	41
4.7.3 Processo de refino do óleo de soja	42
4.7.4 Processo de produção de biodiesel de soja	43
4.7.5 Etapas de transporte no ciclo de vida da soja	45
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>47</b>
<b>5.1 Critérios adotados para alocação dos <i>inputs</i> e emissões</b>	<b>48</b>
<b>5.2 Análise do ciclo de vida da produção de biodiesel de soja</b>	<b>53</b>
5.2.1 Fluxos de massa e energia do ciclo de vida do biodiesel de soja	54
5.2.2 Co-produtos da produção de biodiesel de soja	59
5.2.3 Uso de agrotóxicos na etapa de produção agrícola de soja para biodiesel	60
5.2.4 Aspectos econômicos e sociais da produção de biodiesel de soja	61
5.2.5 Emissões aéreas e efluentes da produção de biodiesel de soja	62
5.2.6 Avaliação emergética da produção de biodiesel de soja	68
5.2.7 Estimativa da capacidade de carga do biodiesel de soja usando a Produtividade Líquida Primária (NPP)	76
<b>5.3 Análise do ciclo de vida da soja exportada para a União Européia</b>	<b>79</b>
5.3.1 Fluxos de massa e energia da exportação de soja e farelo de soja	80
5.3.2 Perda de solo e nutrientes e uso de agrotóxicos relacionados a exportação de soja e farelo de soja	81
5.3.3 Aspectos econômicos e sociais da exportação de soja e farelo de soja	82
5.3.4 Emissões aéreas e efluentes da exportação de soja e farelo de soja	83
5.3.5 Avaliação emergética da exportação de soja e farelo de soja	85
<b>5.4 Consumo de proteína animal na Europa e os impactos no Brasil</b>	<b>93</b>
<b>5.5 Alternativas mais sustentáveis de produção de soja</b>	<b>95</b>
5.5.1 Avaliação emergética dos sistemas propostos	98
5.5.2 Aspectos econômicos e sociais dos sistemas propostos	103
<b>6. CONCLUSÃO</b>	<b>109</b>

<b>7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>113</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>115</b>
<b>9. ANEXOS</b>	<b>129</b>
9.1 Tabelas de fluxo de massa, energia e emergia para todas as etapas do ciclo de vida da soja consideradas neste trabalho.	129
9.2 Notas de cálculo para as Tabelas 34, 35 e 36 (em inglês).	156
9.3 Tabelas de avaliação emergética dos subsistemas de produção de soja convencional e do sistema proposto pela Cooperbio (em inglês)	199
9.4 Notas de cálculo das tabelas de avaliação emergética dos subsistemas produção de soja convencional e do sistema proposto pela Cooperbio (em inglês)	206



# ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Área plantada de grãos no Brasil entre as safras 1994/1995 e 2004/2005 (em mil hectares).....	9
Figura 2: Principais símbolos usados nos diagramas sistêmicos .....	30
Figura 3: Diagrama sistêmico resumido mostrando as principais etapas do ciclo de vida da soja. ....	39
Figura 4: Diagrama sistêmico de uma propriedade agrícola de produção de soja. ....	40
Figura 5: Diagrama sistêmico do processo de extração de óleo de soja. ....	42
Figura 6: Diagrama sistêmico do processo de refino de óleo de soja. ....	43
Figura 7: Diagrama sistêmico do processo de produção de biodiesel de soja. ....	44
Figura 8: Diagrama sistêmico da comparação da produção de biodiesel de soja com o uso de combustíveis fósseis no processo (a) e sem o uso de combustíveis fósseis no processo (b). ....	57
Figura 9: Diagrama sistêmico da comparação entre os ciclos de carbono na produção e consumo de biodiesel de soja (a) e de combustíveis fósseis (b). ....	63
Figura 10: Diagrama sistêmico da comparação da quantidade de CO <sub>2</sub> emitido pelo processo de produção de biodiesel usando-se combustíveis fósseis no processo (a), produção de biodiesel de soja sem o uso de combustíveis fósseis no processo (b) e no processo de extração, processamento e uso de combustíveis fósseis (c). ....	66
Figura 11: Comparação dos resultados obtidos com cada método de análise dos para o sistema de produção de biodiesel de soja considerando cada tipo de input. ....	69
Figura 12: Fluxo equivalente de materiais, energia incorporada, emergia utilizada e CO <sub>2</sub> liberado em cada fase do ciclo de vida de produção do biodiesel de soja. ....	76
Figura 13: Diagrama sistêmico do processo de produção de biodiesel de soja. ....	77
Figura 14: Esquema do modelo convencional de monocultura agrícola de produção de soja para biodiesel (a) e do modelo de produção de soja para biodiesel considerando uma área de suporte para absorver os impactos ambientais devido ao uso de recursos não renováveis no processo de produção de biodiesel de soja (b). ....	78
Figura 15: Comparação dos resultados obtidos com cada método de análise para o sistema de produção de óleo e farelo de soja considerando cada tipo de input. ....	85
Figura 16: Fluxo equivalente de materiais, energia incorporada, emergia utilizada e CO <sub>2</sub> equivalente liberado em cada fase do ciclo de vida de produção do farelo de soja exportado. ....	90
Figura 17: Fluxo equivalente de materiais, energia incorporada, emergia utilizada e CO <sub>2</sub> equivalente liberado em cada fase do ciclo de vida de produção do óleo de soja. ....	91
Figura 18: Diagrama sistêmico do modelo de produção proposto pela Cooperbio. ....	97



# ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Principais estados produtores de soja no Brasil na safra 2004/2005 (em milhões de toneladas).....	10
Tabela 2: Principais países produtores de soja na safra 2003/2004 (em milhões de toneladas). ....	13
Tabela 3: Principais países exportadores de soja em grão e farelo de soja na safra 2003/2004 (em milhões de toneladas). ....	13
Tabela 4: Principais países importadores de soja em grão e farelo de soja na safra 2003/2004 (em milhões de toneladas métricas). ....	14
Tabela 5: Modelo de tabela para avaliação da intensidade de materiais.....	28
Tabela 6: Modelo de tabela para avaliação de energia incorporada.....	29
Tabela 7: Modelo de tabela para avaliação emergética.....	31
Tabela 8: Fatores de alocação segundo a massa, energia e preço de mercado dos co-produtos da soja durante o processo de esmagamento. ....	48
Tabela 9: Indicadores de intensidade de material e energia para a produção de óleo de soja refinado considerando os diferentes cenários de alocação dos <i>inputs</i> . ....	51
Tabela 10: Indicadores de intensidade de material e energia para a produção de biodiesel de soja considerando os diferentes cenários de alocação dos <i>inputs</i> . ....	51
Tabela 11: Indicadores de intensidade de material e energia para a produção farelo de soja considerando os diferentes cenários de alocação dos <i>inputs</i> . ....	52
Tabela 12: Quantidade de gases de efeito estufa equivalente e efluentes industriais liberados por unidade de produto considerando os diferentes cenários de alocação dos <i>inputs</i> . ....	52
Tabela 13: Indicadores de intensidade de material e energia para a produção de soja, biodiesel (alocação pela energia) e outros biocombustíveis selecionados.....	54
Tabela 14: Valores de relação de energia calculados neste trabalho e para diferentes produtos selecionados da literatura. ....	55
Tabela 15: Indicadores econômicos e sociais calculados para a produção de biodiesel de soja. ....	62
Tabela 16: Quantidade de gases de efeito estufa equivalente e efluentes liberados para a soja e o biodiesel de soja. ....	65
Tabela 17: Resultados dos indicadores de energia da produção de soja.....	70
Tabela 18: Resultados dos indicadores de energia da produção de biodiesel de soja.....	70
Tabela 19: Valores de transformidade calculadas para a soja e o biodiesel de soja e de algumas fontes de energia selecionadas. ....	71
Tabela 20: Valores índice de rendimento de energia (EYR) calculadas para a soja e o biodiesel de soja e de algumas fontes de energia selecionadas. ....	72

Tabela 21: Valores índice de investimento de energia (EIR) calculadas para a soja e o biodiesel de soja e de algumas atividades selecionadas.....	73
Tabela 22: Valores índice carga ambiental (ELR) calculadas para a soja e o biodiesel de soja e de algumas atividades selecionadas. ....	74
Tabela 23: Indicadores de intensidade de material e energia para a produção de soja, produção de óleo de soja refinado e produção e transporte de farelo de soja (alocação pela massa). ....	80
Tabela 24: Indicadores econômicos e sociais calculados para a produção de soja, farelo e óleo de soja. ....	82
Tabela 25: Quantidade de gases de efeito estufa e efluentes liberados para a soja, farelo de soja e óleo de soja refinado.....	84
Tabela 26: Resultados dos indicadores de energia da produção de soja. ....	86
Tabela 27: Resultados dos indicadores de energia do farelo de soja. ....	86
Tabela 28: Resultados dos indicadores de energia do óleo de soja. ....	86
Tabela 29: Indicadores de intensidade de material e energia relativos somente ao farelo de soja utilizado para produzir um kg de carne (alocação pela massa).....	94
Tabela 30: Fluxos e indicadores de energia do sistema convencional de produção de soja e de seus subsistemas. ....	99
Tabela 31: Fluxos e indicadores de energia do sistema proposto pela Cooperbio e de seus subsistemas....	100
Tabela 32: Indicadores econômicos e sociais do sistema convencional de produção de soja e de seus subsistemas. ....	104
Tabela 33: Indicadores econômicos e sociais do sistema proposto pela Cooperbio e seus subsistemas. ....	105
Tabela 34: Fluxos de massa (escala local e global) para as etapas consideradas do ciclo de vida da soja (valores médios por hectare por ano). ....	130
Tabela 35: Fluxos de energia para todas as etapas consideradas do ciclo de vida da soja (valores médios por hectare por ano). ....	145
Tabela 36: Fluxos de energia para todas as etapas consideradas do ciclo de vida da soja (valores médios por hectare por ano). ....	151
Tabela 37: Avaliação emergética do sistema de produção de soja convencional. ....	200
Tabela 38: Avaliação emergética do sistema de produção de milho no sistema convencional. ....	201
Tabela 39: Avaliação emergética do sistema de produção de leite no sistema proposto pela Cooperbio. ....	202
Tabela 40: Avaliação emergética do sistema de produção de milho no sistema proposto pela Cooperbio. ....	203
Tabela 41: Avaliação emergética do sistema de produção de soja orgânica no sistema proposto pela Cooperbio.....	204
Tabela 42: Avaliação emergética do sistema de produção de cana-de-açúcar no sistema proposto pela Cooperbio.....	205

# 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos trinta anos o Brasil tornou-se o segundo maior produtor mundial de soja e o segundo maior exportador de soja e farelo de soja com uma participação de mais de 33% do mercado mundial. A área plantada de soja para a safra 2005/2006 equivale à soma daquela prevista para os outros quatro principais grãos produzidos no país: arroz, feijão, milho e trigo. Segundo dados da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), o total da área plantada com estes quatro grãos reduziu-se entre 1991 e 2005, enquanto a área destinada à soja mais do que triplicou no país (FAO, 2006). Estes expressivos números da produção de soja no Brasil são motivo de orgulho para alguns, entre estes o governo brasileiro, mas também de preocupação para muitos outros.

A soja é produzida em um sistema de agricultura moderna industrial, baseado no uso de energia fóssil, insumos industriais, fertilizantes químicos, agrotóxicos, mecanização, pouca mão-de-obra, variedades geneticamente modificadas de alto potencial produtivo além de muitos outros recursos não renováveis. Ainda, a expansão sem controle da monocultura de soja promoveu o desmatamento da maior parte do ecossistema do Cerrado e agora ameaça a floresta amazônica. Os problemas sociais e ambientais resultantes deste modelo agrícola têm sido amplamente relatados tais como o declínio da fertilidade do solo, intoxicação de pessoas e animais por produtos tóxicos, expulsão de pequenos agricultores de suas terras, contaminação do solo e da água, erosão ou assoreamento dos rios, diminuição da biodiversidade e contribuição para a modificação no clima regional (Greenpeace, 2006; Schlesinger et al., 2006; Ortega et al. 2002; Pengue, 2004; Prety et al, 2000; 2001; WWF, 2006; 2003; Bickel e Dros, 2003; Gelder e Dros, 2005; Schlesinger e Noronha, 2006; Schlesinger et al., 2006).

O crescimento na produção de soja no Brasil vem sendo estimulado pelo aumento da demanda do grão como uma fonte boa e barata de proteína e calorias para produção de ração animal na Comunidade Européia, que é o destino de cerca de 70% da soja exportada pelo Brasil (Cordeiro, 2000; Van Gelder and Dros, 2004; WWF, 2003). É sabido que o transporte intercontinental de *commodities* é uma etapa intensiva no uso de recursos não renováveis e a medida que estes recursos tornarem-se mais escassos podem inviabilizar este fluxo de mercado. Um outro problema é que a exportação de soja também gera um impacto ambiental negativo na Europa, à medida que algumas regiões do solo estão saturadas com nutrientes provenientes dos dejetos animais produzidos em sistemas intensivos, causando a poluição do solo (acidificação do solo, acúmulo de nutrientes e chuva ácida), da água (eutrofização, contaminação dos rios e do lençol freático) e do ar (aquecimento global e odores indesejáveis) (Jongbloed et al., 1999). Desta forma, pode ser estabelecida uma relação direta entre o consumo de carne na Europa e os prejuízos ambientais e sociais produzidos devido a produção, processamento e exportação de soja no Brasil que podem ser determinados a partir da avaliação do ciclo de vida da soja.

A produção de biocombustíveis (ou agrocombustíveis) tem se tornado um tópico muito importante na discussão mundial em recursos energéticos. O biodiesel de soja, juntamente com o etanol de cana-de-açúcar, vem ocupando um papel central na discussão dos projetos de produção de biocombustíveis que vêm sendo implantados no Brasil. Usualmente, o biodiesel é apresentado como uma opção adequada para suprimento energético podendo substituir uma parte da demanda de combustíveis fósseis, se adequadamente sustentada. Os principais motivos apresentados para defender a produção de biodiesel são: (a) é uma energia limpa (ou verde) produzida a partir de recursos renováveis e desta forma poderia suprir uma quantidade virtualmente infinita de energia por um período infinito de tempo; (b) é freqüentemente estabelecido que o biodiesel pode reduzir as emissões de gases de efeito estufa pela substituição de combustíveis fósseis. De fato, o carbono emitido pela queima do biodiesel na fase de combustão é aquele que foi absorvido pela planta durante o seu crescimento fotossintético, resultando num balanço nulo de carbono; (c) a produção de biodiesel pode ser usada como uma estratégia para desenvolvimento rural.

Entretanto, com uma visão mais criteriosa de todas as etapas de produção de biodiesel estes benefícios já não aparecem mais tão claros. A produção de biodiesel necessita de

uma grande quantidade de materiais e energia fóssil na forma de fertilizantes, agrotóxicos, maquinário para a fase agrícola e industrial e também para as etapas de transporte. Por isso, os benefícios econômicos, sociais e ambientais da produção de biodiesel vão depender da escala e do modo de produção utilizados.

Existem estudos que abordam um ou outro aspecto da cadeia de produção da soja no Brasil. Porém, este trabalho pretende gerar indicadores quantitativos capazes de mensurar os impactos ambientais, os aspectos sociais e a viabilidade econômica do ciclo de vida da soja e seus principais produtos a partir da utilização da análise emergética, da análise de energia incorporada e da análise de intensidade de materiais. A partir desta abordagem sistêmica pode-se avaliar de maneira mais ampla os fluxos de massa, energia e emergência no comércio internacional de soja entre Brasil e a Europa e a produção de óleo refinado e biodiesel de soja. Com esta visão mais ampla, a partir de parâmetros quantitativos, torna-se possível identificar determinadas etapas críticas que geram os maiores impactos nos ecossistemas, assim como possíveis maneiras de reduzi-los. Estas informações permitem descrever e comparar os impactos ambientais do modelo convencional de produção de soja com modelos alternativos mais sustentáveis de produção de agroenergia com a finalidade de sustentar políticas públicas que favoreçam o desenvolvimento do ciclo de vida da soja mais sustentável.

## 1.1 Hipótese do trabalho

O ciclo de vida da soja é dependente de recursos energéticos não renováveis e das políticas públicas vigentes. Desta forma, a partir da utilização da análise emergética, análise de energia incorporada e análise de intensidade de materiais é possível quantificar e discutir o desempenho ambiental, econômico e social de cada uma das etapas do ciclo de vida da soja e seus principais produtos, assim como apontar modelos alternativos de produção de agroenergia mais sustentáveis.

## 1.2 Organização geral da tese

Visando uma melhor leitura, a presente tese foi organizada seguinte forma:

**Introdução e objetivos:** Esta seção fornece uma visão geral da importância da soja no contexto nacional e mundial; descreve os principais impactos negativos da produção de

soja e biodiesel de soja e da exportação de farelo de soja; justifica e apresenta os objetivos do trabalho.

**Revisão de literatura:** Esta seção fornece o embasamento teórico para o desenvolvimento do tema proposto. Descreve os objetivos do desenvolvimento sustentável. Fornece um panorama da produção e comercialização da soja e seus impactos ambientais. Apresenta a abordagem de avaliação e a revisão de trabalhos da literatura científica que já utilizaram os métodos propostos neste trabalho.

**Material e métodos:** Esta seção fornece o procedimento metodológico das ferramentas de avaliação que foram utilizadas: Análise Emergética, Análise de Energia Incorporada e Análise de intensidade de materiais, além dos indicadores econômicos e sociais; Fornece a descrição dos estágios do ciclo de vida da soja que foram avaliados no trabalho

**Resultados e discussão:** Mostra de maneira geral as diferenças nos resultados obtidos quando são considerados diferentes critérios de alocação nos fluxos de massa e energia; Apresenta e discute os resultados referentes aos impactos ambientais, sociais e econômicos da produção de biodiesel de soja; Calcula e discute os impactos da produção e exportação de farelo de soja do Brasil para a União Européia; Estabelece uma relação entre o consumo de carne na União Européia e os impactos ambientais produzidos no Brasil; Finalmente são confrontados os indicadores de energia do sistema convencional de produção de soja com um sistema alternativo mais sustentável para a produção de agroenergia e alimentos.

**Conclusão:** Esta seção faz um resumo das principais conclusões a partir dos resultados obtidos na tese em concordância com os objetivos propostos.

**Propostas para trabalhos futuros:** São fornecidas sugestões para trabalhos visando à complementação deste estudo.

**Referencias bibliográficas:** Esta seção fornece todas as referências utilizadas na tese.

**Anexos:** Esta seção contém as tabelas de cálculo da análise emergética, da análise de intensidade de materiais e da análise de energia incorporada de todas as etapas do ciclo de vida da soja avaliadas e as notas de cálculo detalhadas.

## 2. OBJETIVOS

---

### 2.1 Objetivo geral

O presente trabalho de pesquisa tem como objetivo geral identificar, calcular e discutir os indicadores quantitativos de cada etapa do ciclo de vida da soja e seus produtos com a utilização da análise emergética, da análise de energia incorporada e da análise de intensidade de materiais para mensurar e discutir o seu desempenho ambiental, social e econômico.

### 2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o caráter complementar da utilização conjunta da análise emergética, análise de energia incorporada e análise de intensidade de materiais;
- Quantificar os fluxos de massa, energia e emergência para determinar o impacto ambiental da produção de biodiesel de soja no Brasil;
- Quantificar os fluxos de massa, energia e emergência para determinar o impacto ambiental do comércio internacional de farelo de soja entre o Brasil e a União Europeia e da produção de óleo de soja refinado;

- Identificar e quantificar o padrão de uso de recursos e os impactos globais dos sistemas de consumo de ração animal a base de soja na Europa, apoiando-se em bases econômicas, de materiais, energéticas e emergéticas;
- Complementar a análise emergética e econômica de base sistêmica dos sistemas produtivos de soja no Brasil para considerar os sistemas alternativos mais sustentáveis de produção de soja e agroenergia;
- Quantificar os recursos utilizados e o desempenho ambiental das diversas etapas do transporte da soja e seus subprodutos;
- Apontar as possíveis etapas críticas do ciclo de vida da soja que geram maiores impactos nos ecossistemas e na sociedade, assim como as possíveis alternativas para de reduzir estes impactos negativos;
- Identificar e contabilizar as externalidades negativas e a perda de serviços ambientais que devem ser incorporados na análise emergética do ciclo de vida da soja;
- Gerar informações científicas para destacar alternativas de modelos mais sustentáveis de produção e consumo, sustentar políticas públicas, planos e programas para garantir a sustentabilidade do ciclo de vida da soja em âmbito regional, nacional e internacional.

## 3. REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1 Desenvolvimento sustentável

A Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento, no relatório *Our Common Future* (WCED, 1987), definiu o desenvolvimento sustentável como aquele capaz de atender às necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras em atender suas próprias necessidades. Assim, a sustentabilidade de qualquer atividade deve ser avaliada considerando-se três eixos básicos: a) o econômico, que tradicionalmente é o único levado em consideração e se refere à rentabilidade econômica ao longo do tempo; b) o ecológico, que avalia a manutenção do ecossistema afetado pela atividade ao longo do tempo; c) o social, que considera a compatibilidade do gestão e da organização do sistema com valores éticos e culturais do grupo e da sociedade envolvidos (Ferraz, 2003). Desta forma, a sustentabilidade somente será possível se os marcos de referência para a atividade humana, isto é, os paradigmas culturais da sociedade atual forem alterados (Ortega, 2003).

A natureza funciona em ciclos de produção e consumo dos recursos energéticos. O desenvolvimento, como é visto atualmente, é apenas a etapa de consumo desses ciclos. Por isso, a sobrevivência de um povo deve estar ligada a sustentabilidade de seus sistemas de produção agrícolas e industriais, de onde se deve obter retorno durante longo período de tempo e sem resultar em prejuízos ambientais aos ecossistemas. Sendo assim, o desenvolvimento sustentável foi um compromisso assumido por diversos governos nas Conferências Mundiais das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e

Desenvolvimento, realizadas no Rio de Janeiro em 1992 (Eco 92) e reafirmado em Johannesburgo em 2002 (Rio+10).

A partir das discussões da Eco 92 foi elaborada a Agenda 21, um acordo assinado por 179 países, incluindo o Brasil, que pretende traduzir em ações os conceitos de desenvolvimento sustentável. Neste sentido, em julho de 2002 foi lançada a Agenda 21 Brasileira, apresentando como principal objetivo o desenvolvimento sustentável, e propondo o equilíbrio entre o crescimento econômico, a equidade social e a preservação ambiental no planejamento do desenvolvimento do país (Brasil, 2002). Seus objetivos principais são proporcionar a transformação em sistemas de produção agrícola mais sustentáveis. Por isso, todas as nações signatárias da Agenda 21 precisam buscar alternativas para desenvolver seus sistemas de produção agrícolas e industriais baseando-se em recursos renováveis para garantir a sua sustentabilidade. Para programar as ações propostas pela Agenda 21 de forma eficaz, é necessário utilizar ferramentas capazes de avaliar a sustentabilidade dos sistemas de produção e consumo de forma mais objetiva e quantitativa.

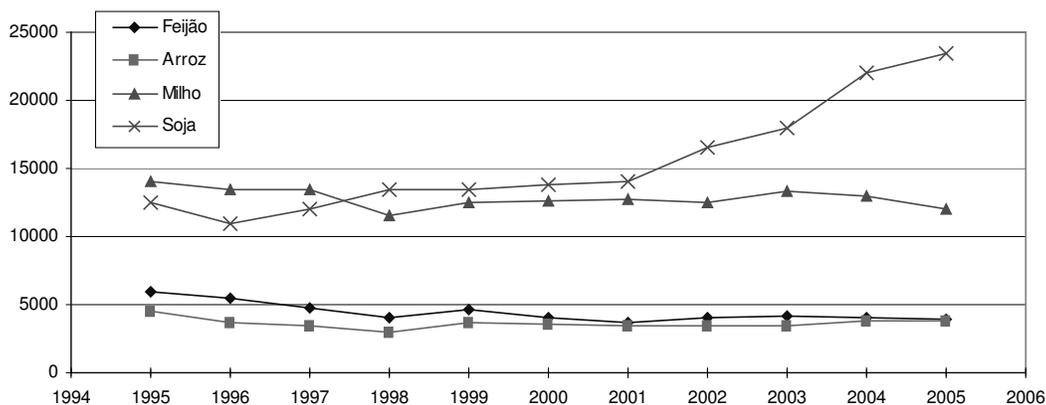
O protocolo de Kyoto é um dos tratados que nasceram das discussões da Eco 92, e o único que até agora entrou em vigor com propostas concretas e quantitativas para melhoria do ambiente global. Ele é um acordo internacional de intenções, assinado por 136 países, entre eles o Brasil, para reduzir as emissões de gases que provocam o efeito estufa na atmosfera. Tendo em vista a recente entrada em vigor deste protocolo, estudos, como o proposto neste trabalho, tornam-se muito importantes à medida que levam em consideração os aspectos ambientais, econômicos e sociais dos sistemas de produção e consumo de produtos agrícolas no comércio internacional.

Avaliando-se toda a cadeia de produção, industrialização e consumo da soja, pode-se mensurar e ajudar a propor alternativas de projetos de preservação e de diminuição de emissões dos gases que provocam o efeito estufa, o qual é responsável por grande parte das mudanças climáticas no planeta. Um exemplo desta relação de mercado é que na Holanda, mais de 90% das emissões de amônia, gás que contribui com 15 a 20% do efeito estufa, são causadas pela criação de animais, que por sua vez, é sustentada com soja importada, em grande parte, do Brasil (Jongbloed et al., 1999).

### 3.2 Produção de soja no Brasil

A soja (*Glicine max L.*) é uma leguminosa de ciclo anual (90 a 160 dias) originária do extremo Oriente. Na China, a espécie é cultivada há milhares de anos. Originariamente, a soja é uma planta subtropical, mas, com o melhoramento genético, pode ser cultivada hoje até a latitude de 52° N. Na década de 20 do século passado, agricultores americanos iniciaram o cultivo da soja em larga escala, que era usada principalmente como um insumo para ração animal (Hin, 2002). No Brasil, o grão foi introduzido no estado do Rio Grande do Sul por volta de 1960 e até meados de 1970, cerca de 80% da produção nacional de soja concentrava-se na região Sul. Atualmente, seu cultivo avançou por todo Cerrado e chegou até a região Norte do país (Schnepf et al., 2001).

Os negócios gerados em torno da agricultura tornaram-se o principal suporte da economia brasileira. O agronegócio é responsável por uma parcela bastante significativa das exportações brasileiras e dos empregos gerados (Conab, 2005). Neste cenário, destaca-se a produção de soja, que nos últimos anos tornou-se um dos principais produtos de exportação do país. A área plantada de soja para a safra 2005/2006 equivale à soma daquela prevista para os outros quatro principais grãos produzidos no país: arroz, feijão, milho e trigo. O total da área plantada com estes quatro grãos, todos eles mais visíveis na mesa do brasileiro médio, reduziu-se entre 1995 e 2005, enquanto a área destinada à soja mais do que triplicou (Figura 1). Para a safra 2005/2006, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a área plantada foi de 22,2 milhões de hectares (Conab, 2006; Schlesinger et al., 2006).



Fonte: Conab, 2005.

Figura 1: Área plantada de grãos no Brasil entre as safras 1994/1995 e 2004/2005 (em mil hectares).

A Tabela 1 mostra os principais estados produtores de soja no Brasil. O estado do Mato Grosso é o maior produtor de soja, seguido do Paraná, Goiás, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul. Os estados com o ecossistema de Cerrado (considerando-se apenas os principais: Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins, Minas Gerais, Bahia e Maranhão) respondem por 62,3% da soja produzida no Brasil, enquanto os estados da região Sul produzem 32,6%, considerando-se os valores da safra 2004/2005.

Tabela 1: Principais estados produtores de soja no Brasil na safra 2004/2005 (em milhões de toneladas).

<b>Estado</b>	<b>Produção</b>	<b>% Total</b>
Mato Grosso	17,4	32,8
Paraná	10,6	20,0
Goiás	7,2	13,6
Mato Grosso do Sul	4,0	7,5
Rio Grande do Sul	3,1	5,8
Minas Gerais	3,1	5,8
Bahia	2,4	4,5
Outros	5,3	10,0
<b>Total</b>	<b>53,1</b>	<b>100,0</b>

Fonte: CONAB, 2006.

A produção brasileira de soja vem crescendo principalmente em novas áreas abertas no Cerrado e Floresta Amazônica. O aumento da área agrícola no Cerrado causou a destruição quase que total deste bioma, cerca de 57% já desapareceram e a metade da parte restante já está bastante alterada, com grandes perdas na biodiversidade e nos ecossistemas locais (Schlesinger e Noronha, 2006). Atualmente, a fronteira agrícola já chegou na parte sul da Amazônia. A utilização de novas áreas para a produção de soja no modelo de monocultura voltado para a exportação tem uma grande correlação com o processo de desmatamento da Amazônia. A Floresta é grande responsável pela regulação do regime de chuvas no Brasil e em algumas outras regiões da América Latina. Desta forma, o seu desmatamento acelerado ameaça reduzir o ciclo de chuva nas regiões sul e sudeste, transformar grandes áreas de florestas em savanas e provocar alterações na taxa de umidade registrada no país (Nobre, 2004). Conseqüentemente, o aumento da área usada para o cultivo de soja na fronteira agrícola brasileira poderá provocar mudanças climáticas desastrosas e irreparáveis.

Especificamente em relação à produção de soja, as estimativas oficiais, de organizações de produtores e órgãos de pesquisa apontam para uma disponibilidade adicional de cerca de 100 milhões de hectares para a expansão do seu cultivo no Brasil (Schlesinger e Noronha, 2006). De toda forma, mantidas as tendências hoje observadas, qualquer tentativa de conter a expansão da soja no Brasil deverá considerar, necessariamente, os atuais padrões de produção (à base de farelo de soja importado) e consumo de carne na Europa, que são os fatores determinantes do ritmo dessa expansão no Brasil e serão abordados mais adiante neste trabalho. Além disso, a utilização do óleo de soja como matéria-prima para fabricação de biocombustível vem se tornando um outro fator determinante para o seu ritmo de expansão no país e também será avaliado mais adiante no trabalho.

Segundo Lombardi Neto e Drugowich (1994), a capacidade de produção das terras agricultáveis no Brasil vem diminuindo ao longo dos anos devido ao manejo não adequado às nossas condições climáticas simultaneamente com a ocorrência natural de chuvas intensas. Para se ter uma idéia, a erosão representa perdas entre 8 e 20 toneladas de solo por hectare por ano (WWF, 2003; Cordeiro, 2000). Lombardi Neto e Drugowich (1994) apontam que a cultura de soja pode perder até 10 kg de solo para cada quilograma de soja produzido no sistema de produção convencional.

Quanto aos agrotóxicos, segundo Spadotto e Gomes (2004), o Brasil tem a segunda maior taxa mundial de crescimento na utilização destes produtos. O consumo de agrotóxicos no Brasil passou de 0,8 kg de ingrediente ativo por hectare em 1970, para 7 kg de ingrediente ativo por hectare em 1998. Atualmente, o Brasil utiliza 5% do total mundial de agrotóxicos superando em 7 vezes a média mundial.

A intensificação agrícola da produção de soja nos últimos anos, apresentada como a única alternativa produtiva e o marco de um modelo de pensamento único e hegemônico, tem gerado modificações importantes tanto no meio agrícola como fora dele que trazem consigo vários problemas de ordem ambiental, econômica e social. Dentre estas modificações, pode-se citar o desaparecimento completo de ecossistemas, a perda da biodiversidade produtiva, a inacessibilidade de setores mais vulneráveis aos produtos da cesta básica de alimentos, a dependência externa e perda da capacidade gerencial do produtor rural, o alto grau de endividamento e as perdas de informação e de formação adequada no conhecimento agropecuário e aceleração dos processos de degradação do solo (Pengue, 2004).

O governo brasileiro, bem como os produtores individuais de soja, estão tomando importantes decisões relacionadas ao uso dos recursos naturais dos ecossistemas e também sobre o plantio da soja geneticamente modificada baseando-se somente em uma análise do lucro que pode ser obtido a curto prazo. Porém, é de conhecimento geral que os sistemas de produção agrícola orgânicos e agroecológicos são mais sustentáveis e podem gerar mais lucro por unidade de área que os sistemas convencionais (Ortega et al. 2002). Entretanto, estes modelos mais sustentáveis não são levados em consideração pelas políticas públicas agrícolas do governo brasileiro.

Em virtude disso, Ortega et al. (2005) utilizaram a metodologia emergética para identificar as forças externas que influenciam a tomada de decisões no sistema agrícola de produção de soja no Brasil. Este trabalho identificou que existem forças significativas que atuam no sistema agrícola para manter o sistema convencional de produção de soja em detrimento aos modelos orgânico e agroecológico. Entre estas forças, o trabalho identificou as grandes companhias internacionais de insumos agrícolas, a bancada ruralista do congresso nacional, o Fundo Monetário Internacional (FMI), os bancos internacionais e o mercado externo favorável. Estas forças precisam ser quantificadas e contabilizadas na análise emergética do sistema agrícola de produção de soja no Brasil para avaliar mais apropriadamente os diferentes modelos de produção. Além disso, os danos ambientais e sociais (externalidades negativas e perda de serviços ambientais) causados pelos grandes sistemas de monocultura também devem ser levados em consideração na formulação das políticas públicas.

Assim sendo, a sustentabilidade e competitividade da cadeia da soja pode ser questionada se forem consideradas a renovabilidade, as externalidades negativas e as fontes de influência que atuam no sistema. Por isso, métodos quantitativos de avaliação de projetos agrícolas e industriais são necessários para ajudar a determinar as políticas públicas de longo prazo mais benéficas para garantir a sustentabilidade dos sistemas envolvidos. Com este conhecimento é possível sugerir novos modelos alternativos de produção, industrialização e consumo da soja mais sustentáveis.

### **3.3 Mercado mundial de soja e farelo de soja**

O crescimento na produção de soja no mundo e especialmente no Brasil é estimulado pelo aumento da demanda do grão, principalmente como uma fonte boa e barata de

proteínas e energia para sustentar a criação de animais no mundo todo. A Tabela 2 mostra os principais países produtores de soja. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja com 52,6 milhões de toneladas e 27,8% da produção mundial na safra 2003/2004.

Tabela 2: Principais países produtores de soja na safra 2003/2004 (em milhões de toneladas).

País	Produção	% Total
Estados Unidos	65,8	34,8
Brasil	52,6	27,8
Argentina	34,0	18,0
China	16,0	8,5
Índia	6,8	3,6
Paraguai	4,0	2,1
Canadá	2,3	1,2
Bolívia	1,9	1,0
Outros	5,7	3,0
Total	189,1	100,0

Fonte: Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2005)

A Tabela 3 mostra os principais países exportadores de soja em grão e de farelo de soja. Na safra 2003/2004, o Brasil exportou 19,5 milhões de toneladas métricas de soja, isso correspondeu a 34,6% das exportações mundiais do grão. Quanto ao farelo de soja, o Brasil exportou, na mesma safra, 14,9 milhões de toneladas métricas ou 33,1% das exportações mundiais deste produto.

Tabela 3: Principais países exportadores de soja em grão e farelo de soja na safra 2003/2004 (em milhões de toneladas).

Soja - Grão			Soja - Farelo		
País	Quantidade	% Total	País	Quantidade	% Total
Estados Unidos	24,2	42,9	Argentina	19,7	43,8
Brasil	19,5	34,6	Brasil	14,9	33,1
Argentina	8,0	14,2	Estados Unidos	3,9	8,7
Paraguai	2,4	4,3	Índia	3,3	7,3
Canadá	0,7	1,2	Paraguai	0,9	2,0
Uruguai	0,5	0,9	Bolívia	0,9	2,0
Outros	1,1	2,0	Outros	1,3	2,9
Total	56,4	100,0	Total	45,0	100,0

Fonte: Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2005)

A Tabela 4 mostra os principais países importadores de soja em grão e de farelo de soja na safra 2003/2004. A China e a União Européia são os principais importadores mundiais de soja em grão. Quanto ao farelo de soja, a União Européia é a principal consumidora deste produto com mais de 50% do mercado mundial. Estes dados apresentados confirmam que o Brasil está posicionado no mercado mundial como um grande exportador de soja em grão e farelo de soja enquanto a União Européia, por sua vez, é uma grande importadora de soja principalmente na forma de farelo de soja.

Tabela 4: Principais países importadores de soja em grão e farelo de soja na safra 2003/2004 (em milhões de toneladas métricas).

Soja - Grão			Soja - Farelo		
País	Quantidade	% Total	País	Quantidade	% Total
China	16,9	30,5	União Européia <sup>a</sup>	23,6	51,3
União Européia <sup>a</sup>	15,5	27,9	Tailândia	1,5	3,3
Japão	4,9	8,8	Egito	1,4	3,0
México	4,0	7,2	Coréia do Sul	1,4	3,0
Taiwan	2,3	4,1	Filipinas	1,2	2,6
Coréia do Sul	1,4	2,5	Japão	1,2	2,6
Outros	10,4	18,7	Outros	15,7	34,1
Total	55,5	100,0	Total	46,0	100,0

<sup>a</sup>Considerando 25 países membros; Fonte: Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA, 2005)

Os três principais produtos do chamado complexo soja (grão, farelo e óleo) representaram, em 2005, 8% das exportações do país, ou cerca de 9,5 bilhões de dólares (Schlesinger et al., 2006). Estes produtos correspondem a mais de um terço de toda a soja comercializada no mercado internacional (Tabela 3).

Esta expansão vem ocorrendo em uma área quase contínua da América do Sul, abrangendo os países do Mercosul (Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai) e a Bolívia. Em todos eles cresce igualmente a presença de grandes empresas multinacionais nos segmentos de comercialização e industrialização, que se estende também às áreas de produção de sementes e financiamento da produção do grão. No caso brasileiro, quatro grandes multinacionais movimentam a maior parte da produção: Bunge, Cargill, ADM e Dreyfus (Greenpeace, 2006; Schlesinger e Noronha, 2006).

### **3.4 Impactos econômicos, sociais e ambientais do ciclo de vida da soja**

A cadeia atual de produção, industrialização e consumo da soja vem gerando problemas ambientais, econômicos e sociais tanto no Brasil como na União Européia. No Brasil, os problemas resultantes da monocultura da soja têm se tornado cada vez mais críticos, entre os quais pode-se citar principalmente a destruição dos ecossistemas para dar lugar às novas lavouras de soja, ao declínio da fertilidade do solo, à contaminação de pessoas e animais por produtos tóxicos, à expulsão de pequenos agricultores de suas terras, contaminação do solo e da água, erosão com posterior assoreamento dos rios, à diminuição da biodiversidade, além das mudanças climáticas relacionadas ao desmatamento e às queimadas. Estes impactos econômicos, sociais e ambientais da produção de soja em larga escala, principalmente nas regiões Centro-Oeste e Norte do Brasil, vêm sendo amplamente relatados por vários pesquisadores e por importantes organizações não governamentais de proteção ambiental. (Ortega et al. 2002; Pengue, 2004; Prety et al, 2000; 2001; WWF, 2006; 2003; Bickel e Dros, 2003; Gelder e Dros, 2005; Greenpeace, 2006; Schlesinger et al., 2006; Schlesinger e Noronha, 2006).

O biodiesel de soja vem ocupando um papel central na discussão dos projetos de produção de biocombustíveis que vêm sendo implantados no Brasil. Em virtude da futura escassez de combustíveis fósseis e das preocupações com a diminuição nas emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o governo brasileiro vislumbra uma grande oportunidade para expandir a produção e exportação de biocombustíveis. A substituição de combustíveis fósseis por renováveis deve reduzir os impactos ambientais resultantes da queima do petróleo. Entretanto, os benefícios sociais e ambientais, no caso do Brasil, vão depender da escala e do modo de produção da biomassa a ser utilizada para fins energéticos. A grande preocupação que extrapola os anseios mercadológicos de produção, venda e consumo dos biocombustíveis é o corrente avanço desta monocultura sobre os biomas Amazônico e de Cerrado, bem como seus impactos na reprodução da agricultura familiar e nos plantios de gêneros alimentícios.

Já na Europa, o principal problema referente ao comércio internacional de soja é que certas regiões do solo estão saturadas com nutrientes provenientes dos dejetos animais, causando a poluição do solo (acidificação, acúmulo de nutrientes e chuva ácida), da água (eutrofização, contaminação dos rios e do lençol freático) e do ar (aquecimento global e odores indesejáveis) (Jongbloed et al. 1999). Devido à distância até o país de origem, os

nutrientes exportados com a soja não podem ser reciclados no local onde foram produzidos. O transporte da soja por longas distâncias só é viável graças à disponibilidade e aos subsídios dos recursos energéticos do petróleo. Entretanto, as tendências globais indicam que os recursos energéticos do petróleo ficarão cada vez menos disponíveis, e o modelo de desenvolvimento atual se tornará cada vez mais insustentável (Campbell, 1998). Conseqüentemente, se forem quantificadas e consideradas todos os impactos e as externalidades negativas e perda de serviços ambientais geradas pela cadeia da soja em uma análise mais ampla, apoiada nos balanços de massa, energia e emergência como o proposto por este trabalho, os resultados deverão mostrar que o sistema atual não é sustentável e pode ser questionado.

Desta forma, apesar da configuração atual da cadeia da soja ser rentável economicamente (em grande parte devido ao não pagamento das externalidades negativas geradas pelo seu sistema de produção), ela certamente poderá comprometer a sustentabilidade e a segurança alimentar não só do Brasil como dos países da União Européia. A percepção da realidade pelo sistema econômico de mercado ainda é bastante limitada. Ela ignora muitos fluxos de recursos, suas origens e os custos de sua produção, além de ignorar também o valor da reciclagem e não reconhecer os prejuízos devido aos resíduos gerados. É necessário planejar novas formas para reorganizar a cadeia produtiva da soja na tentativa de minimizar os problemas gerados. Estas novas formas devem estar baseadas no desenho e nos conceitos de ecossistemas naturais mais sustentáveis. Em um ecossistema natural, os nutrientes são reciclados pelos consumidores, uma vez que o produtor sem a reciclagem perde produtividade. Desta forma, os centros urbanos e industriais (consumidores) devem estar mais próximos dos sistemas de produção agrícola (produtores) para que a reciclagem de materiais e energia entre os sistemas torne-se possível. Este seria a base para um modelo alternativo de cadeia da soja mais sustentável. É possível calcular os indicadores ambientais dos diferentes modelos alternativos de produção, industrialização e consumo da soja para discutir a relação custo/benefício de cada uma das opções de forma multidimensional (social, ambiental, política) (Ortega, 2002; Odum e Odum, 2001).

### 3.5 Abordagens para avaliação do ciclo de vida da soja

A Análise do Ciclo de Vida (LCA) é uma ferramenta muito importante para avaliação ambiental das cadeias de produção. Esta metodologia é amplamente utilizada e reconhecida por um número cada vez maior de cientistas e engenheiros em um número incontável de aplicações em todo mundo. Uma sistematização abrangente de seus requerimentos e etapas esta contido nas normas ISO 14040/1997 até 14043/2000 (ISO 14040, 1997; ISO 14041, 1998; ISO 14042, 2000; ISO 14043, 2000). Existem alguns *software* que são utilizados para realizar a LCA, pode-se citar, por exemplo, o Simapro<sup>®</sup> e o Gabi<sup>®</sup>. Eles apresentam algumas vantagens, dentre elas, pode-se destacar: sua facilidade e praticidade de utilização; rapidez na obtenção dos resultados devido à diminuição do tempo gasto na avaliação; padronização nos bancos de dados utilizados; padronização da forma de apresentação dos resultados e simplificações assumidas além da facilidade na comparação dos resultados obtidos com a literatura.

Porém, uma das limitações é que os *software* para LCA utilizam banco de dados de sistemas dos EUA e Europa, que algumas vezes são bastante diferentes da realidade do Brasil. Por exemplo, seria muito difícil avaliar as peculiaridades dos sistemas de produção de soja orgânicos utilizando um *software* para LCA. Além disso, devido à necessidade de padronização do uso de recursos, em alguns casos, o *software* faz simplificações excessivas tornando impossível descrever os sistemas apropriadamente e algumas características interessantes de serem explicitadas são perdidas. Outro fator que deve ser levado em consideração é que o custo de aquisição do *software* aumenta o custo da avaliação.

Por isso, neste trabalho, a LCA da soja não foi realizada seguindo-se os passos pré-estabelecidos como descritos nas normas ISO e também optou-se por não utilizar um *software* na realização avaliação proposta. Em vez disso, foi realizada uma avaliação de todas as etapas do ciclo de vida da soja a partir de dados de trabalhos de campo e de literatura julgados mais apropriados para cada estudo de caso em questão e sem se deter em atender estritamente aos critérios e passos necessários e descritos nas normas ISO para LCA. A LCA como descrita nas normas ISO foca a sua avaliação principalmente nas emissões dos sistemas de produção segundo diferentes critérios de impacto

(aquecimento global, acidificação, eutrofização e toxicidade) e resumidamente no uso de recursos.

O trabalho de Ulgiati et al. (2006) aponta que um único critério de avaliação é insuficiente para quantificar o impacto ambiental e uma LCA baseada em uma única abordagem fornece indicadores parciais e, algumas vezes, errôneos sobre o sistema estudado. O trabalho ainda relata que uma LCA deveria ser focado igualmente tanto nas emissões quanto no uso de recursos e sugere uma abordagem com múltiplas escalas e critérios de avaliação da sustentabilidade (Summa). A abordagem Summa propõe a utilização de quatro diferentes métodos focados no uso de recursos (análise de energia incorporada, análise de intensidade de materiais, análise exergética e análise emergética) e a mais uma ampla contabilidade das emissões.

Em virtude disso, para avaliar o ciclo de vida da soja não é possível estudar apenas um aspecto de sua produção agrícola. É preciso contabilizar os diferentes aspectos das etapas de produção e processamento da soja a partir de uma avaliação quantitativa mais ampla, e também é necessário quantificar a contribuição do ambiente aos processos produtivos a fim de atender aos anseios e planos do desenvolvimento sustentável. A implementação do desenvolvimento sustentável demanda o uso de novas metodologias de formulação e avaliação de projetos agrícolas e industriais. Dentre estas, destacam-se a metodologia emergética, a análise de fluxos de materiais e a análise de energia incorporada que também estão compreendidas no método Summa sugerido por Ulgiati, (2006). Esse método já foi utilizado com sucesso para avaliar alguns processos agrícolas e industriais. O trabalho de Ulgiati et al. (2003a) mostra os potenciais da utilização do método para avaliação ambiental. Ulgiati et al. (2003b) utilizaram este método para sistemas de conversão de energia. Bargigli et al. (2004b) o aplicaram para comparar indicadores termodinâmicos e ambientais da produção de gás natural, gás sintético e hidrogênio e Raugei et al. (2005) usaram este método para a avaliação de células a combustível. Todos estes trabalhos mostraram o potencial e a importância dos resultados fornecidos pelo método SUMMA. Ulgiati e Sciubba (2002) compararam a utilização das metodologias emergética e exergética para avaliar o sistema de produção de etanol de milho. Bargigli e Ulgiati (2003) utilizaram a união da análise emergética com a análise de ciclo de vida (LCA) para avaliar a produção de aço e demonstraram os benefícios da união destes métodos.

Ulgianti (2001) apresenta uma completa avaliação econômica e energética da produção de biocombustíveis utilizando a análise de energia incorporada, análise de intensidade de materiais e análise emergética. Este trabalho é bastante didático e demonstra todos os impactos da produção de etanol de milho. Giampietro e Ulgianti (2005) utilizaram análise de energia incorporada, análise de intensidade de materiais e análise emergética para avaliar a produção de biocombustíveis em larga escala. Este trabalho mostrou quantitativamente os impactos da produção de etanol de milho, biodiesel de girassol e madeira e calculou os impactos totais da substituição dos combustíveis fósseis por biocombustíveis na Itália.

Carraretto et al. (2004) utilizaram dados experimentais juntamente com as análises energética e emergética para avaliar a produção e utilização de biodiesel de soja na Itália e mostraram que a transformidade dos biocombustíveis são maiores que a dos combustíveis fósseis. Este trabalho também mostrou que as etapas de conversão do óleo de soja em biodiesel e de esmagamento da soja são as etapas que mais consomem energia no ciclo de vida do biodiesel de soja. Pimentel e Patzek (2005) utilizaram a análise energética para avaliar a eficiência da produção de etanol de milho, forragem e madeira; produção de biodiesel de soja e girassol. Este trabalho concluiu que as culturas de soja e girassol são pobres produtores de energia de biomassa.

### **3.6 Análise de intensidade de materiais**

O Método de Contabilidade de Intensidade de Fluxos de Materiais (MIF) (Schmidt-Bleek, 1993; Hinterberger e Stiller, 1998; et al., 2004a) busca avaliar a perturbação ambiental associada à retirada de fluxos materiais de seus caminhos ecossistêmicos naturais. Contabilizar a quantidade de material biótico e abiótico envolvido em toda a cadeia de produção do processo avaliado tem sido proposta como uma medida da perturbação causada pelo próprio processo (Hinterberger e Stiller, 1998). Este método também é freqüentemente referido como “mochila ecológica”.

Uma medida quantitativa é fornecida pelos Fatores de Intensidade de Materiais (MIFs) calculados segundo algumas categorias de impactos (abiótico, biótico, ar, água). Desta forma, existem dois aspectos do balanço de materiais. Quando focado no lado dos produtos é necessário que os fluxos de materiais economicamente e ambientalmente importantes não sejam negligenciados. Quando focado no lado das entradas é necessário

contabilizar a transferência de massa total que sustenta o processo e através disso medir indiretamente como o processo afeta o meio ambiente pela remoção de recursos. Como exemplo, a fração de massa de níquel é somente 30-35% no minério de níquel, o que corresponde a somente 5,5% de rocha sulfúrica. A eficiência média do processo é de aproximadamente 55% para o processo todo. Estes valores são equivalentes à escavação de cerca de 101 kg de rocha sulfúrica por quilograma de níquel entregue ao consumidor. A maior parte desta rocha retorna para a mina e o lugar é recoberto. Mas a sua estabilidade é perdida e muitos componentes se tornam solúveis com a chuva e podem afetar o meio ambiente de maneiras inesperadas.

Amann et al. (2002) usaram a análise de intensidade de materiais para calcular os fluxos na Amazônia e Machado (2001) realizou a análise de fluxos materiais do Brasil. Ulgiati (2001) e Gianpietro e Ulgiati (2005) utilizaram a análise de intensidade de materiais dentro do método Summa para calcular os impactos da produção de biocombustíveis na Itália. Raugei et al. (2005) e Ulgiati et al. (2006) também usaram a análise de intensidade de materiais para diversos estudos de caso seguindo a proposta do método Summa.

### **3.7 Análise de energia incorporada**

O método de contabilidade de energia (IFIAS, 1974; Slesser, 1974; Herendeen, 1998) trata do requerimento bruto de energia do sistema analisado e fornece percepções úteis da eficiência energética do sistema em escala global, levando-se em consideração todo o suprimento de energia comercial empregada. A contabilidade de energia (1<sup>o</sup> lei da termodinâmica) é freqüentemente usada como uma medida do custo energético e da eficiência do sistema. A energia pode ser fornecida associada a uma massa, como no caso das entradas de energia fóssil, ou mesmo sem massa associada, como no caso de energia elétrica. O mesmo item pode ser identificado tanto como fonte de materiais como fonte de energia. Por exemplo, o diesel pode ser avaliado em quilogramas de hidrocarbonetos ou em joules de calor de combustão que pode produzir. Ambas as medidas são úteis, dependendo do objetivo da avaliação.

A entrada total de calor precisa sempre ser igual à saída de calor para sistemas isotérmicos, de acordo com a primeira lei da termodinâmica. No balanço de energia é necessária uma descrição e quantificação cuidadosa dos fluxos de entrada e saída do sistema. Entretanto, a energia global investida durante o processo de produção não está

disponível para o usuário final do produto. O conteúdo de energia real (medido como entalpia de combustão, HHV, LHV, etc.) do produto é diferente da entrada total de energia por causa das perdas de energia durante o processo de produção.

Os analistas de energia referem-se a energia total requerida na forma de petróleo equivalente como “energia incorporada” (Herendeen, 1998), embora ela simplesmente refira-se a soma de energia utilizada na manufatura de um produto. Até hoje a análise de energia tem sido usada baseando-se na preocupação com a diminuição dos estoques de combustíveis fósseis. Todas as formas de materiais e energia que não utilizam combustíveis fósseis ou recursos fósseis equivalentes para sua obtenção não são contabilizadas na análise de energia. Por exemplo, os recursos fornecidos sem custo pelo ambiente como o solo e a água não são contabilizados pela análise de energia incorporada. O trabalho humano e serviços econômicos também não são contabilizados na maior parte das avaliações de energia, porque este método trabalha com a idéia de que apenas os combustíveis fósseis estão sujeitos à escassez, enquanto os recursos naturais renováveis são infinitamente disponíveis e desta forma não incluídos no balanço de energia (Biondi et al., 1989). Como é usual em estudos dos balanços de energia, a energia solar não é incorporada nos cálculos e por isso o processo pode parecer estar criando energia ao invés de simplesmente a estar convertendo de uma forma para outra.

Franzese et al. (2006) fazem uma comparação entre a análise emergética e o balanço de energia incorporada a partir de um estudo de caso selecionado para demonstrar os potenciais e limitações do uso destas metodologias. Biondi et al (1989) e Triolo et al, (1984) utilizaram a análise de energia incorporada para vários sistemas agrícolas italianos e fornecem um banco de dados bastante amplo de quantidade de petróleo equivalente dos diversos *inputs* usados na agricultura. Já Boustead e Hancock (1979) fornecem um banco de dados da quantidade de petróleo equivalente dos diversos insumos industriais. Bastianoni e Marchettini (1996); Sheenan et al. (1998); West e Marland (2002); Venturi e Venturi (2003); Pimentel e Patzek (2005); Giampietro e Ulgiati (2005); Kim e Dale (2005) Oliveira et al. (2005) usaram a análise de energia incorporada para calcular o balanço de energia de diversos biocombustíveis.

### **3.8 Análise emergética**

Este método usa a energia solar incorporada ou emergia como base de medição. A emergia é definida como toda a energia usada, direta ou indiretamente, na produção de um determinado recurso (Odum, 1996). A metodologia emergética tem como objetivo analisar os fluxos de energia e materiais nos sistemas dominados pelo homem, para mostrar a dependência dos sistemas humanos das fontes de energia naturais e fósseis e descobrir viabilidades de interação entre os sistemas da economia e os ecossistemas. Ela contabiliza valores das energias naturais incorporadas aos produtos, processos e serviços geralmente não contabilizados na economia clássica e na análise de energia incorporada. Considera-se na análise todos os insumos usados para produzir um certo produto ou serviço, incluindo as contribuições da natureza (chuva, água de poços, nascentes, solo, sedimentos e biodiversidade) e os fornecimentos da economia (materiais, maquinaria, combustível, mão-de-obra, serviços e pagamentos em moeda) e, em alguns casos, as externalidades negativas (erosão do solo, perda da biodiversidade, tratamentos médicos das pessoas e êxodo rural).

A emergia pode resolver o problema de agregar as calorias de diferentes tipos de energia, pois ela reconhece e mede a hierarquia universal de energia (Brown e Ulgiati, 2004). Para reconhecer a qualidade e funcionalidade diferente de cada tipo de energia, que depende do trabalho prévio de geração desse recurso, utiliza-se um fator de conversão de energia em emergia chamado de transformidade solar. Esta abordagem desenvolve uma imagem dinâmica dos fluxos anuais dos recursos naturais e dos serviços ambientais providenciados pela natureza na geração de produtos e serviços e o impacto das atividades humanas nos ecossistemas. Por identificar e quantificar a contribuição dos recursos naturais, a metodologia emergética permite a compreensão dos limites em cada ecossistema, possibilitando o estabelecimento de metas para garantir a capacidade de suporte e a sustentabilidade de um sistema. Compreender os relacionamentos entre energia, ciclos de materiais e informação pode possibilitar um melhor entendimento do complexo relacionamento entre a biosfera e a sociedade (Odum, 1996, Odum e Odum, 2001).

Nos últimos anos, a metodologia emergética tem sido bastante usada para avaliar sistemas de produção agrícola, sistemas ecológicos naturais, sistemas econômicos e sistemas industriais por diversos pesquisadores de várias partes do mundo. A metodologia já foi empregada para avaliar o sistema de produção agrícola de soja. Ortega

et al. (2002) utilizaram a metodologia emergética para avaliar quatro modelos de produção de soja no Brasil: a ecológica, a orgânica, a agro-química e a com uso de herbicidas (com uso de sementes geneticamente modificadas). Este trabalho mostrou, quantitativamente, os benefícios ambientais, econômicos e sociais das opções ecológica e orgânica de produção de soja. Panzzieri et al. (2000) utilizaram a metodologia emergética para mostrar os benefícios da inoculação de *Bradyrhizobium japonicum* na produção de soja na Itália. Este trabalho calcula os benefícios da produção de soja por não precisar de adição de nitrogênio como fertilizante por ser uma leguminosa capaz de fixar biologicamente este nutriente da atmosfera. Brandt-Williams (2002) avaliou a produção de soja na Flórida em uma série de avaliações emergéticas de vários produtos agrícolas dos Estados Unidos. Entretanto, em nenhum destes três trabalhos, as etapas de industrialização e consumo da soja foram avaliadas. Bakshi (2000; 2002) propôs um sistema de avaliação unindo a análise emergética e a análise do ciclo de vida (LCA). Este trabalho introduziu um método de análise emergética para sistemas industriais onde os resíduos produzidos pela indústria também seriam considerados na análise. Pizzigallo et al. (2008) usou a análise emergética e a análise de Ciclo de Vida para avaliar duas fazendas de produção de vinho na Itália.

Em outros trabalhos a metodologia tem sido adaptada e usada para avaliar diversos sistemas industriais. Yang et al. (2003) propuseram formas de incorporar o tratamento dos resíduos e a reciclagem na avaliação emergética de sistemas industriais. Bastianoni e Marchettini (1996) usaram a contabilidade emergética, energética e de carbono para avaliar a produção de etanol de cana-de-açúcar da Flórida. Neste trabalho foram consideradas as etapas de produção agrícola e industrial. Ulgiati e Brown (2002) quantificaram o trabalho da natureza para diluir e absorver os gases emitidos pelo processo de produção de eletricidade utilizando a metodologia emergética. Odum (2000a) utilizou a análise emergética para avaliar o sistema de produção de energia por conversão de energia térmica do oceano. Brown e Buranakarn (2002) propuseram novos indicadores emergéticos para avaliar sistemas com ciclos de materiais de reciclagem. Brown e Ulgiati (2002) utilizaram a análise emergética para comparar diferentes processos de obtenção de energia elétrica.



## 4. MATERIAL E MÉTODOS

---

### 4.1 Coleta de dados

Para a realização da análise proposta existe a necessidade de uma série de dados quantitativos relacionados ao consumo de insumos e recursos naturais associadas às várias etapas do ciclo de vida da soja. É necessário conhecer o consumo anual dos principais materiais, energia, equipamentos, mão-de-obra, serviços, entre outros. Os diversos dados utilizados foram obtidos a partir de entrevistas com profissionais da área, fabricantes de equipamentos e insumos e da literatura científica. Também foram realizadas visitas a algumas unidades de produção agrícola e de processamento industrial de soja onde foram coletados valores médios de entrada e saída para caracterização destes sistemas, além de informações específicas sobre o produto em estudo. As notas de cálculo do Anexo 9.2 contêm todos os cálculos dos insumos com as respectivas fontes dos dados que foram consideradas para a avaliação de cada etapa do ciclo de vida da soja assim como outros valores de referência encontrados na literatura. Estes valores calculados correspondem aos *inputs* utilizados na elaboração tabelas de análise emergética, de análise de energia incorporada e de análise de intensidade de fluxo de materiais do Anexo 9.1.

A caracterização de cada uma das etapas da cadeia é realizada através da identificação dos componentes principais do sistema, das entradas e saídas de materiais, energia, energia e dinheiro. Com estes dados foram preparados diagramas sistêmicos que identificam os elementos principais do sistema e os fluxos seguidos pela massa, energia, recursos monetários e informação por meio de símbolos específicos.

## 4.2 Indicadores econômicos: análise de custo e retorno econômico

A avaliação de Custo e Retorno Econômico (Cost and Return estimation ou CAR) tem sido usada com sucesso para calcular os custos totais e o retorno obtido por uma atividade econômica. Este método pode ser usado na tomada de decisões sobre a análise da performance econômica da agricultura (AAEA, 2000; Cuadra e Björklund, 2007). Na CAR, os preços de mercado são usados para atribuir valores aos diferentes *inputs* e produtos do processo avaliado. Nesta avaliação são contabilizados todos os insumos utilizados na produção, tais como eletricidade, combustíveis, água, sementes, calcário, fertilizantes, agrotóxicos, herbicidas e depreciação dos equipamentos e instalações. Também devem ser considerados os custos monetários de transporte, de mão-de-obra, de administração e os impostos.

A análise CAR é de fácil entendimento para os produtores rurais, uma vez que os resultados são expressos em unidades monetárias. É possível incorporar na CAR outros aspectos como a perda de solo, perda de biodiversidade, agrotóxicos, etc. (externalidades negativas) expressos em unidades monetárias. Entretanto, a análise econômica (CAR) só pode avaliar os aspectos de curto prazo da sustentabilidade econômica.

Para analisar a sustentabilidade econômica do sistema estudado foram usados os indicadores de produtividade por hectare, receita bruta e líquida, margem de lucro e também a receita e margem de lucro considerando o pagamento das externalidades negativas e perda de serviços ambientais geradas pelo sistema de produção. A Receita bruta representa a quantidade de dinheiro recebida pelos agricultores com a venda dos produtos. A receita líquida representa a quantidade de dinheiro recebida depois que todos os custos de produção são pagos. A margem de lucro é o benefício econômico recebido pelo produtor e é expresso como porcentagem do custo total. É interessante realizar também a análise econômica adicionando aos custos de produção as externalidades negativas e a perda de serviços ambientais relativas a atividade econômica para avaliar seu desempenho quando o sistema paga pelos prejuízos gerados. Em base disto, o desempenho econômico de cada etapa do ciclo de vida da soja é calculado com os seguintes indicadores:

**(a) Produtividade unitária ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) e ( $\text{J ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ )**

**(b) Custo total de produção ( $\text{US\$ ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ )**

**(c) Receita bruta (US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)**

**(c) Receita líquida (RL):**

RL (US\$ ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) = Receita bruta - Custo de produção

**(d) Receita líquida considerando as externalidades negativas (R<sub>EX</sub>):**

RL<sub>EX</sub> = Receita bruta - (Custos de produção + Externalidades negativas)

**(e) Margem de lucro (L%):**

L% = 100 x Receita líquida/ Custo de produção

**(f) Margem de lucro considerando as externalidades negativas (L<sub>EX</sub>%):**

L<sub>EX</sub>% = 100 x RL<sub>EX</sub> / (Custos de produção + Externalidades negativas)

### 4.3 Indicadores sociais

A avaliação da sustentabilidade deve considerar os seus três pilares: o econômico, o ecológico e o social para ser completa. Por isso, os indicadores sociais também são muito importantes para a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida da soja. Porém, é importante ressaltar que os indicadores sociais apresentados neste trabalho não podem refletir de forma abrangente a complexidade deste importante pilar da sustentabilidade uma vez que quantificar a sustentabilidade no seu aspecto social não é uma tarefa trivial. Os indicadores sociais aqui calculados podem mensurar a intensidade no uso de mão-de-obra, mas não avaliam a sua qualidade. Pode-se citar alguns indicadores que não foram calculados por carência de dados e que poderiam ajudar a medir melhor este aspecto, como por exemplo: grau de educação dos trabalhadores envolvidos; distribuição de renda; emprego de crianças; acesso à saúde; custo de um posto de trabalho e grau de organização interna; grau de cooperativismo.

Neste trabalho, o desempenho social das diversas unidades de produção, processamento e transporte da soja foi avaliado calculando-se os seguintes indicadores:

**(a) Empregos gerados (trabalhador ha<sup>-1</sup>)**

**(b) Uso de mão-de-obra (h/J de produto)**

A partir destes indicadores pode-se visualizar o grau de utilização de trabalho humano e também se a expansão da atividade é favorável à criação de novos empregos.

#### 4.4 Análise de intensidade de fluxo de materiais

O método de contabilidade de intensidade de fluxos de materiais (Schmidt-Bleek, 1993; Hinterberger and Stiller, 1998; Bargigli et al., 2004a) busca avaliar a perturbação ambiental associada com a retirada de fluxos materiais de seus caminhos ecossistêmicos naturais. O primeiro passo é quantificar todas as entradas e saídas dos fluxos de massa sendo necessário avaliar todas as saídas do sistema (produtos, co-produtos e emissões) porque são importantes para avaliação dos diferentes tipos de impactos ambientais possíveis. Além disso, quando se expande a escala de avaliação, percebe-se que cada fluxo de material fornecido ao processo foi extraído e processado em outro lugar. Materiais adicionais são transportados de um lugar para o outro, processados e então fornecidos para o sistema produtivo.

A Tabela 5 mostra um exemplo de tabela usado para avaliação de intensidade de fluxos de materiais. A coluna 1 fornece a referência numérica para a nota explicativa onde são apresentados os detalhes do cálculo. Neste método, os fatores de intensidade de materiais (MIF) apropriados (colunas 5, 7, 9 e 11) são multiplicados pela quantidade de cada input (coluna 4), respectivamente, contabilizando o total de material abiótico, biótico, água e ar que é direta ou indiretamente necessário para fornecer o input ao sistema. As intensidades de materiais resultantes (colunas 6, 8, 10 e 12) dos *inputs* individuais são separadamente somadas para cada categoria de impacto ambiental (abiótico, biótico, ar, água) e são atribuídas aos produtos do sistema como uma medida quantitativa de sua carga ambiental cumulativa daquela categoria de impacto.

Tabela 5: Modelo de tabela para avaliação da intensidade de materiais.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nota	Nome do input	Unidade	Quantidade	MIF abiótico	Material abiótico	MIF água	Material água	MIF ar	Material ar	MIF biótico	Material biótico
	Entradas										
	Saídas										

## 4.5 Análise da energia incorporada

A análise da energia incorporada é definida como a “energia comercial” requerida, direta e indiretamente para possibilitar um sistema produzir um bem ou produto específico (Slessor, 1974). O método fornece percepções úteis na eficiência energética do sistema em escala global, levando-se em consideração todo o suprimento de energia comercial empregada.

A Tabela 6 mostra um exemplo de tabela usado para avaliação da energia incorporada. A coluna 1 fornece a referência numérica para a nota explicativa onde são apresentados os detalhes do cálculo. Neste método, todos os *inputs* de materiais e energia (coluna 4) são multiplicados por fatores de massa de petróleo utilizado por unidade de massa de produto apropriados (coluna 5), e os requerimentos cumulativos de energia incorporada dos produtos do sistema são calculados como a soma do petróleo equivalente dos *inputs* (coluna 6). O petróleo equivalente pode ser convertido em unidades de energia multiplicando-se pelo valor calorífico padrão de 1 kg de petróleo (41860000 J/kg) (coluna 7). Este indicador final é também chamado requerimento bruto de energia (Gross Energy Requirement ou GER) e expressa o requerimento total de energia comercial de uma unidade de massa de produto em termos de joules equivalentes de petróleo. Além disso, esta análise permite calcular as emissões globais de CO<sub>2</sub> equivalentes a todo processo de produção (coluna 8). Isto é feito multiplicando-se o petróleo equivalente (coluna 5) pela quantidade padrão de emissões de CO<sub>2</sub> de um kg de petróleo (3,18 kg CO<sub>2</sub>/kg petróleo).

Tabela 6: Modelo de tabela para avaliação de energia incorporada.

1	2	3	4	5	6	7	8
Nota	Nome do input	Unidade	Quantidade	kg Petróleo equivalente por unidade	Demanda global de petróleo	Demanda global de energia	Emissões globais de CO <sub>2</sub>
	Entradas						
	Saídas						

## 4.6 Avaliação emergética

A contabilidade de energia usa as bases termodinâmicas de todas as formas de energia, materiais, serviços humanos, dinheiro e informação para convertê-las em uma mesma forma de energia, a energia (expressa em joules de energia solar equivalente, seJ) (Odum, 1996, Brown e Ulgiati, 2004). Ela considera todos os insumos de um processo, incluindo as contribuições da natureza (chuva, água de poços, nascentes, solo, sedimentos, biodiversidade) e os fornecimentos da economia (materiais, maquinário, combustível, serviços, pagamentos em moeda, etc.) em termos de energia solar incorporada (energia). Alguns destes valores (os que representam os recursos da natureza) não são contabilizados em uma análise econômica e energética tradicionais.

O método para avaliação emergética está descrito em detalhes por Odum (1996) e em vários artigos científicos (Brown e Ulgiati, 2004; Ortega et al. 2002; 2005). As definições que seguem são um resumo do procedimento adotado para este trabalho específico. O procedimento de aplicação da metodologia emergética pode ser dividido em três principais etapas. A primeira é desenhar o diagrama de fluxos de energia para reconhecer os principais elementos do sistema. Na segunda etapa organizam-se os dados em uma tabela de avaliação de energia e, na terceira etapa, calculam-se e interpretam-se os indicadores emergéticos quantitativos, indicando os esforços que devem ser feitos para aprimorar o sistema.

O diagrama de fluxos de energia é essencial na metodologia emergética e sua simbologia deve ser estudada e internalizada para compreender e apreciar seu significado e funcionamento. Para montar o diagrama é preciso identificar os componentes principais do sistema, as entradas e as saídas. Depois, desenha-se o diagrama mostrando os principais componentes e suas interações. O diagrama é usado como base para construir a tabela com os dados necessários para a análise emergética. A Figura 2 mostra o significado dos principais símbolos usados nos diagramas sistêmicos.

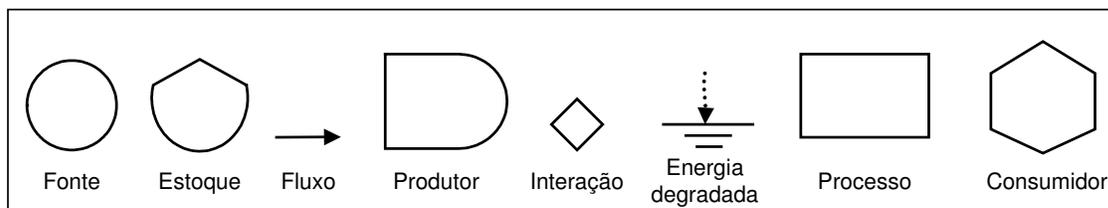


Figura 2: Principais símbolos usados nos diagramas sistêmicos

A segunda etapa da avaliação emergética consiste em elaborar a tabela de fluxos de energia onde cada linha de fluxo que cruza o limite do sistema deve ser quantificada em unidades usuais (geralmente massa, energia ou dinheiro) que então se converte em uma linha de cálculo na tabela (Tabela 7). Esta tabela possibilita o cálculo dos indicadores emergéticos.

Tabela 7: Modelo de tabela para avaliação emergética.

1	2	3	4	5	6
Nota	Nome do input	Quantidade	Unidade	SeJ unidade <sup>-1</sup>	Fluxo de energia
	Recursos renováveis da natureza (R)				
	Recursos não renováveis da natureza (N)				
	Materiais da economia (M)				
	Serviços da economia (F)				
	Total (Y)				
Saídas					
Produtos		Quantidade		Energia	

A coluna 1 fornece a referência numérica para a nota explicativa onde são apresentados os detalhes do cálculo. Na coluna 2 são listadas todas as entradas do sistema. Na coluna 3 são apresentados os valores numéricos para cada uma das entradas em suas unidades usuais especificadas na coluna 4: massa (kg), energia (J), dinheiro (US\$). Estes valores correspondem aos fluxos anuais médios do sistema considerado. Nos sistemas agrícolas costuma-se usar como referência também a unidade de área considerada (hectare). Na coluna 5 são apresentados os valores de transformidade por unidade de input. Os fluxos de energia são apresentados na coluna 6 e são calculados pela multiplicação dos fluxos de entrada (coluna 3) pelo fator de seJ unidade<sup>-1</sup> correspondente (coluna 5). Os valores obtidos na coluna 6 correspondem aos fluxos de energia e são expressos em seJ ha<sup>1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Como pode ser observado na Tabela 5, também há divisões na horizontal para facilitar a identificação dos tipos de recursos usados. Os primeiros fluxos colocados são as contribuições da natureza (I), ou seja, os recursos naturais renováveis (R) e os naturais não-renováveis (N). Depois são colocados os recursos da economia (F), que são divididos em materiais (M) e serviços (S). No final, tem-se a energia total utilizada pelo sistema (Y).

A transformidade ou energia específica (seJ unidade<sup>-1</sup>) apresentada na quarta coluna indica a qualidade de energia solar incorporada a cada recurso ao longo de seu processo de formação, obtenção e produção. Seus valores são específicos e obtidos a partir da avaliação energética de cada recurso. Muitos valores de transformidade já foram calculados por vários pesquisadores e estão compilados em tabelas e artigos científicos (Odum, 1996; Odum, 2000b; Odum, et al., 2001; Brandt-Williams, 2002).

A terceira etapa da avaliação energética consiste em obter os indicadores energéticos a partir da tabela de avaliação dos fluxos de energia com o intuito de avaliar a sustentabilidade e outros aspectos dos diferentes estágios do ciclo de vida da soja. Os indicadores de energia calculados neste trabalho são os seguintes:

#### **4.6.1 Transformidade solar**

A transformidade solar ( $Tr$ ) do recurso gerado por um sistema é obtida dividindo-se a energia que o sistema incorporou ao produto final ( $Y$ ) pela energia dos produtos do sistema ( $Ep$ ).

$$Tr = Y/Ep$$

Sua unidade é expressa em energia por unidade de energia, usualmente seJ J<sup>-1</sup>. A transformidade solar pode ser definida como a quantidade de energia solar incorporada para produzir uma unidade de energia do produto. Este índice avalia a eficiência do sistema e a qualidade do fluxo de energia e permite fazer comparações com outras formas de energia de outros sistemas. Este indicador também é uma medida da posição do produto em termos de hierarquia global de energia.

#### **4.6.2 Renovabilidade energética ou sustentabilidade**

A renovabilidade (%R) é definida como a razão entre a energia dos recursos renováveis (R) e a energia total utilizada (Y).

$$\%R = R/Y$$

É uma forma de medir a sustentabilidade ou autonomia de um sistema. Considera-se que a longo prazo sistemas com maiores índices de renovabilidade têm maiores chances de

sobrevivência. Tradicionalmente é calculada considerando-se somente os recursos renováveis da natureza.

#### **4.6.3 Taxa de eficiência emergética**

A taxa de eficiência emergética (EYR) é uma medida da incorporação de energia da natureza e é expresso como a relação do total de energia investida (Y) por unidade de contribuição da economia humana (F).

$$EYR = Y/F$$

Este indicador sugere a quantidade de energia da natureza que o processo retorna ao setor econômico. Se o valor de EYR for próximo a 1, o sistema consome tanta energia quanto a que disponibiliza à economia. Portanto, quanto maior for o índice maior será a capacidade do processo em incorporar as contribuições da natureza e menor será a sua dependência de recursos econômicos.

#### **4.6.4 Taxa de carga ambiental**

A taxa de carga ambiental (ELR) é a razão entre os recursos não renováveis (N+F) e os renováveis (R).

$$ELR = (N+F)/R$$

Trata-se de um índice importante, pois avalia a pressão causada no ecossistema pelo sistema produtivo em estudo. Índices mais altos de ELR indicam maior impacto do sistema econômico no meio ambiente natural. Além disso, este indicador também pode sugerir uma medida da capacidade de carga de um determinado sistema dentro de um ecossistema maior. A partir de resultados de vários estudos de casos prévios Brown e Ulgiati (2004) estabelecem que ELR menores do que 2 indicam baixos impactos ambientais. ELR entre 3 e 10 indicam impactos ambientais moderados. Enquanto valores de ELR maiores do que 10 indicam altos impactos ambientais devido aos grandes fluxos de energia não renováveis concentrados em uma pequena área de ecossistema local.

#### 4.6.5 Taxa de investimento energético

A taxa de investimento de energia (EIR) é calculada para avaliar se o uso de recursos da economia (investimento monetário) em um projeto tem uma boa contrapartida de recursos naturais (até hoje “gratuitos”). O EIR é obtido através da divisão dos recursos comprados da economia (M+S) pelos recursos “gratuitos” provenientes da natureza (R+N).

$$EIR = F/I$$

Este indicador mede a proporção de energia retro-alimentada do setor econômico em relação às entradas de energia do ambiente. Esta razão indica quão econômico é o processo ao usar os investimentos da economia em comparação com outros sistemas alternativos. Para ser econômico, o processo deve ter um valor de EIR similar ao valor médio de EIR das atividades da região. Se ele exige mais da economia que as outras alternativas, terá menores chances de prosperar. Quando se demanda pouco da economia, a razão EIR será menor e, portanto, seus custos podem ser menores, o que oferece melhores condições de competir. Quanto maior for o índice, maior é a quantidade de recursos captados da economia e, provavelmente, mais etapas são necessárias para viabilizar a comercialização do produto final.

#### 4.6.6 Taxa de intercâmbio energético

De acordo com Odum e Odum (2001), considerando que as pessoas não pensam em unidades de energia, é recomendado o uso de seu equivalente econômico denominado em dólar. Ele é obtido através da razão energia/dinheiro, onde a energia contabiliza todas as fontes energéticas usadas pelo sistema natureza-economia humana do país em determinado ano, e o dinheiro é o produto nacional bruto (PNB) expresso em dólares na taxa média anual. Em Odum (1996), encontra-se o valor do em dólar para diversos países. Coelho et al. (2003) obtiveram uma equação que estima da tendência do valor da relação energia/dólar para o Brasil. O valor utilizado que foi calculado pela equação abaixo para o ano de 2007 no Brasil foi de 3,7E+12 seJ US\$<sup>-1</sup>.

$$\frac{\text{energia}}{\text{dólar}} = \frac{\left( 248 + 878,16 * e^{\frac{-(ano-1981)}{9,49}} \right)}{100} \quad [E+12 \text{ seJ US\$}^{-1}]$$

A taxa de intercâmbio emergético (EER) é a razão de energia fornecida em relação a energia recebida na troca com os sistemas externos, constituídos pelos compradores da produção.

$$EER = Y / [\textit{produção unitária} * \textit{preço} * (\textit{energia/US\$})]$$

Esse indicador avalia se o produtor recebe na venda dos produtos toda a energia usada para a produção dos produtos. As matérias-primas, tais como minerais e produtos provenientes da agricultura, pesca e silvicultura tendem a ter um valor alto de EER (entre 5 e 10), quando são comprados a preço de mercado, pois geralmente, o valor monetário somente paga os serviços humanos e não o trabalho realizado pela natureza. Este indicador é significativo na análise dos intercâmbios internacionais de produtos.

#### **4.6.7 Índice de sustentabilidade emergética**

O índice de sustentabilidade ambiental (EIS) é calculado pela razão entre o EYR pelo ELR.

$$EIS = EYR/ELR$$

Este indicador mede a contribuição potencial de um recurso ou processo para a economia por unidade de carga ambiental. Em princípio, o menor valor possível é zero (quando EYR é igual a zero e ELR é menor que infinito ou EYR é diferente de zero e ELR tende a infinito) e o limite superior teórico (tende ao infinito) é possível somente para ecossistemas maduros e intocados. Quanto maior seu valor, mais sustentável é o sistema. De acordo com os resultados de vários estudos de caso, EIS menores do que 1 indicam sistemas ou processos consumidores de recursos e valores maiores do que 1 indicam produtos que têm contribuição líquida para a sociedade sem uma pesada carga ambiental que afeta o equilíbrio do ecossistema. Como ele é relativo à economia, um EIS menor do que 1 é indicativo de um sistema bastante desenvolvido orientado para o consumo. EIS entre 1 e 10 forma calculados para as chamadas de economias em desenvolvimento, enquanto EIS maiores do que 10 indicam economias que não atingiram um estágio industrial (Brown e Ulgiati, 2004).

#### **4.6.8 Concentração de potência emergética**

A Concentração de potência emergética (ou densidade emergética) (ED) é calculada pela energia total usada dividida pela área considerada.

$$ED = Y/\text{área}$$

Este indicador mede a quantidade total de energia utilizada pelo sistema por unidade de área utilizada para tal finalidade. A unidade de área sugere ser um fator limitante para todo tipo de desenvolvimento ou processo. Valores altos de ED caracterizam centros de cidades, centros de informação como prédios do governo, universidades, centros de pesquisa e zonas industriais enquanto que baixos valores de ED são calculados para áreas rurais e de ecossistemas naturais (Brown e Ulgiati, 2004).

#### **4.6.9 Incorporação das externalidades negativas e perda de serviços ambientais na avaliação emergética**

As externalidades são efeitos positivos ou negativos (em termos de custos ou de benefícios) gerados pelas atividades de produção ou consumo exercidas por um agente econômico e que atingem os demais agentes, sem que estes tenham oportunidade de impedi-los ou a obrigação de pagá-los. Portanto, as externalidades referem-se ao impacto de uma atividade sobre aqueles que não participaram dessa atividade. A externalidade pode ser negativa, quando gera custos para os demais agentes. Por exemplo, uma fábrica que polui o ar, afetando a comunidade próxima ou um sistema agrícola que por usar muitos agrotóxicos acaba contaminando a população local e afetando a biodiversidade. A externalidade também pode ser positiva, quando os demais agentes, involuntariamente, se beneficiam, a exemplo dos investimentos governamentais em infraestrutura e equipamentos públicos. De todo modo, cabe ao Estado criar ou estimular a instalação de atividades que constituam externalidades positivas, e impedir ou inibir a geração de externalidades negativas. Isto pode ser feito através de instrumentos tais como taxaço e sançoões legais ou, inversamente, renúncia fiscal e concessão de subsídios conforme o caso.

Já os serviços ambientais são serviços úteis e gratuitos oferecidos pelos ecossistemas para o homem, como a regulação de gases (produção de oxigênio e seqüestro de carbono, regulação do clima), belezas cênicas, conservação da biodiversidade, proteção

de solos e regulação das funções hídricas. Dentro dos ecossistemas, as florestas oferecem serviços fundamentais para a humanidade, como a participação no controle do clima e a conservação da biodiversidade. Os serviços ambientais constituem uma base de sustentação importante para a sociedade.

Em todos os trabalhos mencionados na seção 3.8, a metodologia emergética foi capaz de avaliar o uso de recursos naturais e calcular a sustentabilidade do sistema industrial ao longo do tempo. Porém, a maioria dos trabalhos que utilizam a metodologia emergética não considera as externalidades negativas produzidas pelo sistema em análise. Estes trabalhos não levam em consideração a necessidade de serviços adicionais que são decorrentes do processo de produção como, por exemplo, a regulação do clima, perda da biodiversidade, diminuição dos postos de trabalho, intoxicação de pessoas e animais, entre outros. Para que a análise seja completa e represente o real custo da produção, é necessário incorporar mecanismos que contabilizem os custos econômicos e ambientais das externalidades negativas e perda de serviços ambientais.

Pretty et al. (2000; 2001) quantificaram os custos monetários das externalidades geradas pela agricultura no Reino Unido. O estudo calculou um valor de 360 US\$ por hectare por ano. Pretty et al. (2005) quantificaram as externalidades negativas dos alimentos convencionais e orgânicos consumidos no Reino Unido. Costanza et al. (1997) quantificou os serviços ambientais de vários ecossistemas e biomas e chegou a uma estimativa de que os serviços ambientais atingem um valor médio de 33 trilhões de US\$ por ano enquanto o produto interno bruto global (PIB) é de apenas 18 trilhões de US\$ por ano. Para o Brasil ainda há uma carência de trabalhos como estes, e o valor das externalidades deve ser refinado para cada tipo de produção agrícola. Recentemente, alguns estudos de análise emergética já passaram a incluir as externalidades geradas pela operação do sistema, como os de Brandt-Williams e Pillet (2003) e Ortega et al. (2002; 2005).

Ortega et al. (2005) utilizaram a metodologia emergética para identificar as forças externas que agem para influenciar a tomada de decisões no sistema agrícola de produção de soja no Brasil e incluíram os danos ambientais e sociais (externalidades negativas) causados pelo sistema de monocultura na avaliação emergética. Este trabalho calculou que as externalidades negativas geradas pela produção de soja em monocultura de grande escala usando herbicidas são de 345 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Um outro trabalho recente de Ortega et al. (2007) calculou os serviços ambientais e as externalidades negativas da

produção de etanol de cana-de-açúcar no modelo de microdestilaria e no modelo agroquímico em grandes destilarias no Brasil. O trabalho estimou que o modelo agroquímico produz 303 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de externalidades negativas, enquanto que a produção de etanol em microdestilarias pode gerar um lucro de até 353 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> em serviços ambientais.

#### 4.6.10 Estimativa da capacidade de carga usando a Produtividade Líquida Primária (NPP)

A capacidade de carga (em termos de área de suporte) pode ser determinada em base nos requerimentos emergéticos de uma população ou de intensidade de energia de um processo econômico. A capacidade de carga é determinada pela habilidade do ambiente de fornecer o fluxo de energia renovável requerido. Um ambiente rico pode suportar populações maiores ou processos econômicos mais intensivos. Brown e Ulgiati (2001) sugerem que a capacidade de carga pode ser expressa como área necessária para sustentar uma atividade econômica somente com base em recursos renováveis. Este valor pode ser obtido dividindo o total de recursos não renováveis pela densidade de potencia emergética de uma floresta da região onde o sistema está localizado (sistema mais sustentável da região). A área de suporte renovável usando o valor da NPP é calculada com a seguinte expressão:

$$SA_{NPP} = (F+N) / (NPP * BE * Tr_B)$$

Onde:

$SA_{NPP}$  = Área de suporte renovável usando NPP (ha);

F = Recursos não renováveis da economia usados pelo processo (seJ/ano);

N = Recursos não renováveis da natureza usados pelo processo (seJ/ano);

NPP = Produtividade líquida primária da floresta (13500 kg of biomassa/ha/ano; Aber e Melilo, 2001);

BE = Energia da biomassa (1,51E+07 J/kg; Prado-Jatar e Brown, 1997);

$Tr_B$  = Transformidade da biomassa (10000 seJ/J; Estimado de Odum, 1996).

O resultado desta equação é a medida quantitativa da área de suporte de floresta necessária para suprir de forma renovável todos os recursos não renováveis usados pelo processo. O  $SA_{NPP}$  é uma abordagem para estimar a área necessária para conversão de energia não renovável em energia renovável.

## 4.7 Etapas do ciclo de vida da soja

O ciclo de vida da soja envolve a etapa de produção agrícola e as etapas de transporte e de processamento industrial. As etapas do ciclo de vida da soja que foram avaliadas neste trabalho são mostradas no diagrama sistêmico agregado da Figura 3. São elas:

- Produção agrícola de soja mediante diferentes modelos de cultivo (convencional, orgânico, agricultura familiar);
- Processamento industrial (esmagamento) para obtenção de óleo e farelo de soja;
- Processo de refino do óleo de soja;
- Processo de produção de biodiesel de soja;
- Etapas de transporte da soja, do biodiesel, do óleo e do farelo de soja exportado para a Europa.

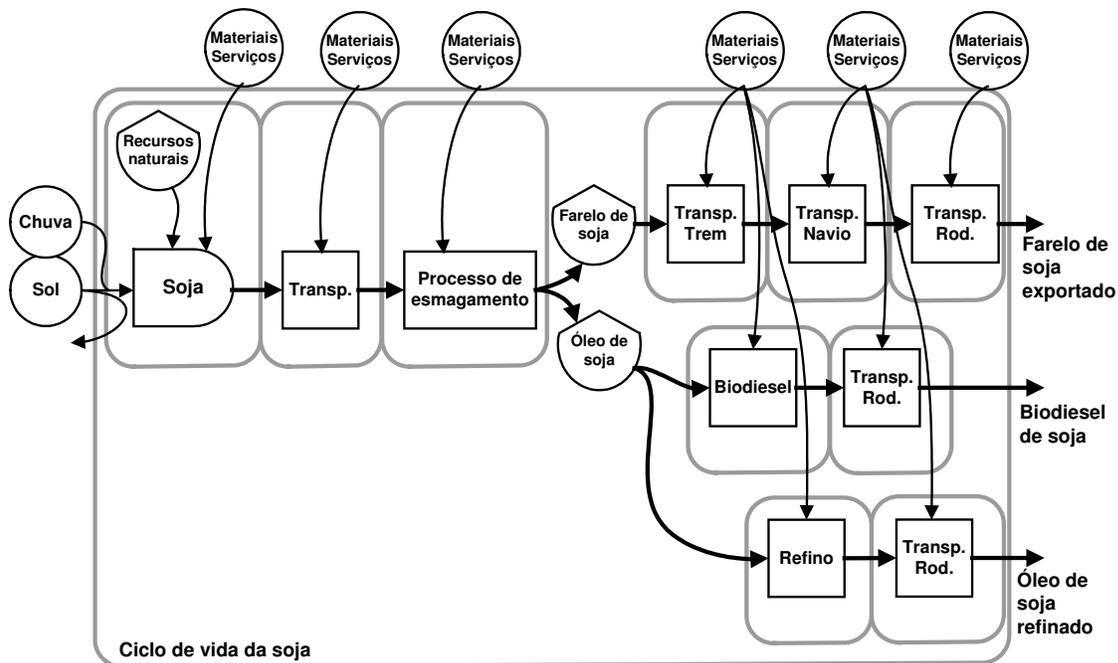


Figura 3: Diagrama sistêmico resumido mostrando as principais etapas do ciclo de vida da soja.

### 4.7.1 Sistema produção agrícola de soja

A cultura da soja é alternada com a do milho ou do trigo na maior parte das propriedades. Nas regiões Centro-Oeste e Norte (áreas de Cerrado e floresta Amazônica) a soja é

produzida principalmente em grandes propriedades (entre 300 e 50000 hectares) em um sistema de monocultura com uso intensivo de tecnologia e recursos não renováveis externos. Nestas grandes fazendas a média de empregos é mais baixa devido ao alto grau de mecanização das lavouras (Schlesinger et al., 2006).

Já na região Sul, que é a tradicional região produtora de soja desde a década de 60, a grande maioria das propriedades é pequena (menos de 50 ha) e a produção agrícola é diversificada e administrada por agricultores familiares. Nesta região, alguns produtores já iniciaram a utilizar o manejo orgânico para a produção de soja. No Rio Grande do Sul, um estudo recente coordenado pela Universidade de São Paulo, a pedido do Ministério do Desenvolvimento Agrário, abrangendo o período 1995-2002, aponta que a agricultura familiar ainda era responsável por 58% da soja produzida no estado (Schlesinger et al., 2006). É importante destacar que foi considerado neste trabalho apenas uma safra de soja por hectare por ano. O diagrama sistêmico de uma propriedade agrícola de produção de soja é mostrado na Figura 4. O diagrama contém os principais componentes destes sistemas assim como as interações dos fluxos de massa e energia.

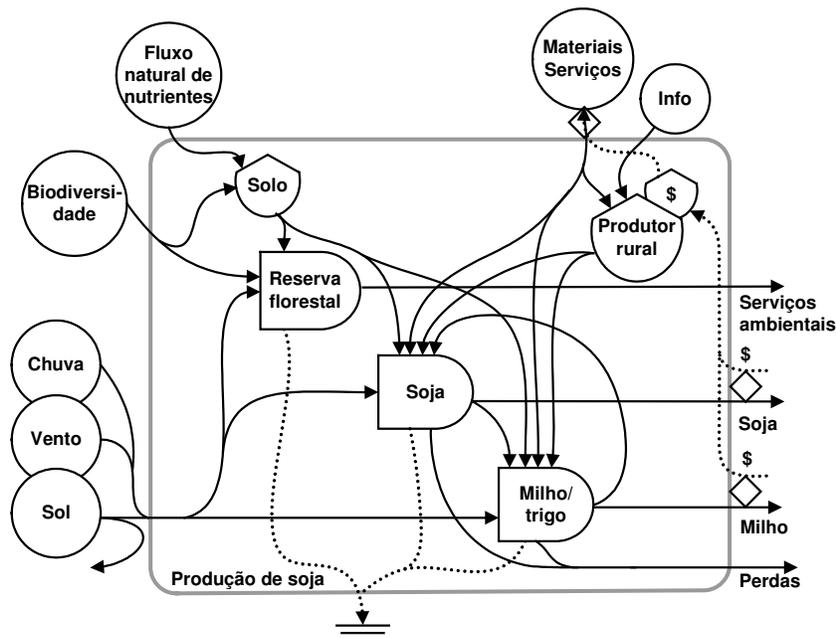


Figura 4: Diagrama sistêmico de uma propriedade agrícola de produção de soja.

#### **4.7.2 Processo de extração do óleo de soja**

Em uma planta de processamento de extração de óleo de soja, a soja recebida é removida dos caminhões através de um tombador para uma moega de recepção. Desta, a soja é transferida para um silo pulmão do qual os grãos são levados a uma seção de pré-limpeza onde as impurezas são removidas. Depois, os grãos são secos antes de serem transferidos aos silos de estocagem. A soja vinda dos silos é ou: a) seca e aquecida, se forem descascadas para obter-se farelo de alta proteína, ou b) diretamente enviada à preparação. Na seção de preparação a soja é pesada e limpa em separadores gravimétricos, por peneiramento e removidas as partículas metálicas através de separador magnético (Dorsa, 2000).

No processo de extração, o óleo é extraído da soja laminada em um extrator contínuo por percolação, usando hexano como solvente. A solução de óleo em solvente é então transferida a um sistema de recuperação de solvente, no qual o solvente é removido, deixando o óleo totalmente livre do mesmo; os vapores de solvente são condensados e retornam ao processo. O farelo com solvente é enviado ao sistema de dessolventização no qual, ou por aquecimento com vapor direto e indireto, ou por flasheamento e tratamento a quente sob vácuo, o solvente é removido do farelo. Durante a dessolventização, o índice de proteína dispensável é controlado. O farelo dessolventizado é seco, resfriado e transferido para a seção de tratamento onde é moído, estocado em silos e finalmente ensacado e embarcado. O óleo bruto é misturado com uma determinada percentagem de água quente para flocular os fosfatídeos (lecitina), que são a seguir removidos em uma centrífuga; o óleo é então seco, resfriado e transferido ao tanque de estocagem de óleo. A lecitina bruta separada é seca, sob vácuo e aquecimento suave e então resfriada e embalada em latões ou tambores (Dorsa, 2000). A Figura 5 mostra o diagrama sistêmico do processo de extração de soja.

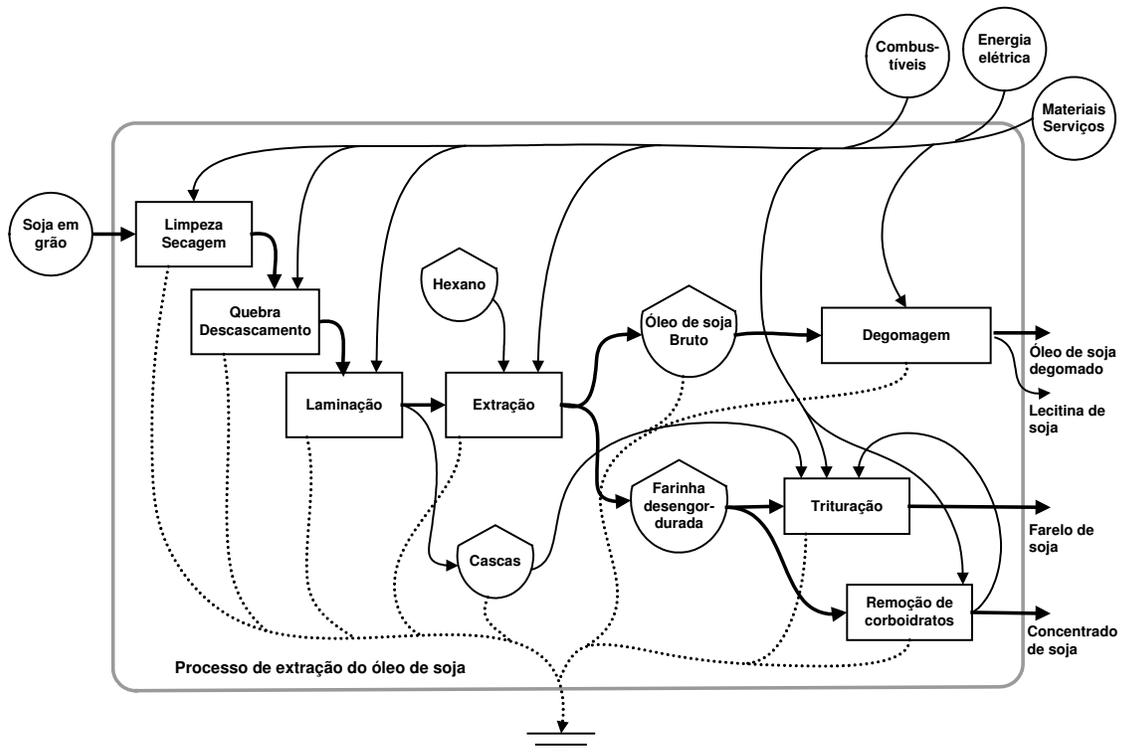


Figura 5: Diagrama sistêmico do processo de extração de óleo de soja.

#### 4.7.3 Processo de refino do óleo de soja

O óleo de soja recebido na planta é transferido dos caminhões através de bombas centrífugas e então é enviado aos tanques de estocagem de óleo bruto. O óleo é transferido dos tanques de estocagem para os tanques dotados de agitação para homogeneização do produto. Destes tanques, o óleo é enviado para o processo que inclui as etapas de neutralização, branqueamento e desodorização que são realizadas em seqüência. O óleo desodorizado é enviado ao tanque de produto acabado que alimenta o processo de enlatamento (Dorsa, 2000). A Figura 6 mostra o diagrama sistêmico do processo de refino de óleo de soja.

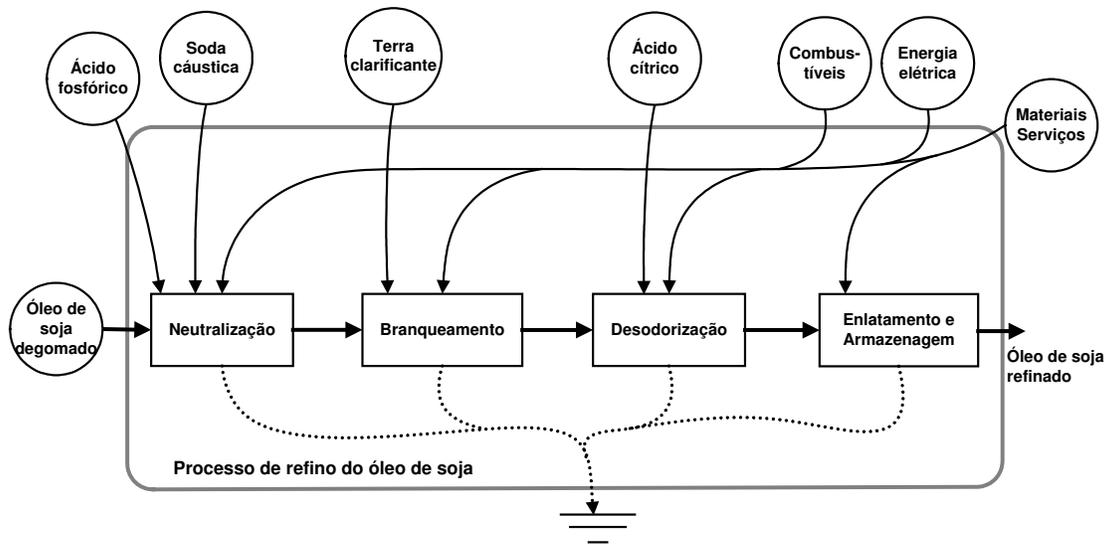


Figura 6: Diagrama sistêmico do processo de refino de óleo de soja.

#### 4.7.4 Processo de produção de biodiesel de soja

O Biodiesel é um combustível líquido derivado de recursos agrícolas, produzido a partir de diferentes matérias-primas, tais como: óleos vegetais extraídos das sementes e grãos de soja, girassol, mamona, pinhão manso, palma, algodão, babaçu, gorduras animais, óleos residuais, dentre outras. A produção do biodiesel ocorre por meio de diversas rotas tecnológicas, todavia, pesquisas evidenciaram a adoção da transesterificação como principal processo de produção. Esta tecnologia consiste em uma reação química em meio alcalino, onde se fazem reagir óleos vegetais ou gorduras animais e um álcool (etanol ou metanol) com a presença de um catalisador. Através desta reação se tem como produto preponderante o biodiesel (éster de ácidos graxos). Como subproduto, tem-se a glicerina que é utilizada em algumas aplicações da indústria química. Os equipamentos necessários são bastante semelhantes aos utilizados nas usinas de extração de óleos vegetais (Assis e Zucarelli, 2007). A Figura 7 mostra o diagrama sistêmico do processo de produção de biodiesel de soja.

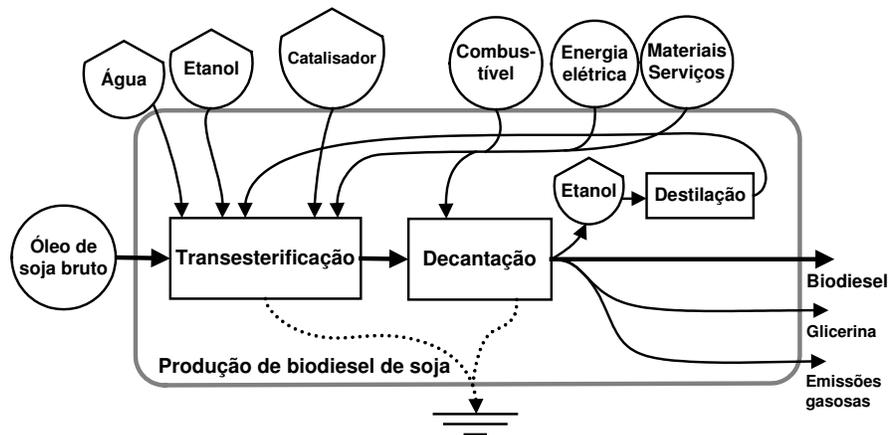


Figura 7: Diagrama sistêmico do processo de produção de biodiesel de soja.

O mercado de biocombustíveis vem sendo estimulado pelas políticas públicas para contenção de mudanças climáticas, ao mesmo tempo em que é visto pelo governo brasileiro e por empresários do agronegócio como uma oportunidade de estimular o crescimento econômico nacional. O Brasil é o segundo produtor mundial de óleo de soja, com capacidade instalada para produção de 6932 mil toneladas de óleo de soja por ano. Devido aos expressivos números da produção de soja é que ela vem sendo usada como a principal matéria-prima para a fabricação de biodiesel (Schlesinger et al., 2006). Mesmo sendo uma oleaginosa cujo óleo representa somente 18% do grão, bem abaixo do amendoim (50%), da mamona (47%), da palma (45%), do girassol (45%), do pinhão manso (37%) e do nabo forrageiro (36%), a utilização da soja para a produção de biodiesel é vista pelos governantes e empresários brasileiros como uma boa opção. A perspectiva do governo é de que a soja seja responsável por até 60% da matéria-prima utilizada na produção de biodiesel. Todavia, os grandes empresários da soja esperam manter essa participação em cerca de 90% do mercado (Assis e Zucarelli, 2007).

A consolidação da soja como matéria-prima principal para a elaboração do biodiesel, implica no emprego de um modelo de produção que traz em seu bojo o plantio de monocultura, a concentração de terras, a expulsão do pequeno produtor, a supressão de florestas nativas, dentre outros impactos sociais e ambientais já citados neste trabalho.

Enquanto o rendimento energético e a contribuição para a redução nas emissões de CO<sub>2</sub> pelo uso do biodiesel já foram comprovadas em alguns estudos (Mc Cormick e Aleman, 2005; Sheehan et al. 1998; Carraretto et al. 2004, Pimentel e Patzek, 2005), os impactos diretos e indiretos e as emissões oriundas dos insumos necessários para a sua produção como, por exemplo, fertilizantes e defensivos, do manejo das culturas agrícolas e dos

processos industriais ainda precisam ser avaliados de uma forma mais abrangente como proposto por este trabalho.

#### **4.7.5 Etapas de transporte no ciclo de vida da soja**

Nas etapas de transporte da soja e seus produtos utiliza-se de uma grande quantidade de materiais, serviços e energia. Considerou-se o transporte por caminhões na etapa de transporte da soja das fazendas até a indústria de esmagamento. A distância média considerada foi de 150 km nesta etapa.

Foi considerado que o transporte do farelo de soja das indústrias de processamento até os portos de exportação foi feito por modo ferroviário, uma vez que este é o modo mais usado para esta etapa (Cederberg and Flysjö, 2004). A distância média percorrida pelo farelo de soja foi de 1000 km, mais precisamente de 1500 km para a região Centro-oeste e Norte do país e 300 km para a região Sul (Schnepf et al., 2001; Tavares, 2004). Depois de chegar ao porto, o farelo de soja é transportado por navio cargueiro a granel, geralmente com capacidade de carregar mais de 50 mil toneladas de grãos por viagem. O principal porto de exportação de soja no Brasil é o de Santos, SP e o de chegada na Europa é o de Rotterdam, Holanda. A distância entre estes portos é de mais de 10100 km. Após chegar ao porto Europeu o farelo da soja ainda é transportado em caminhões por mais 160 km, em média, até a indústria de processamento de ração animal.

O óleo de soja refinado e o biodiesel de soja foram considerados para consumo interno no Brasil. Assim, foi estimada uma distância de 150 km onde estes produtos são entregues ao consumidor final.

È muito importante reportar que em todas as etapas de transporte a taxa de retorno do modal considerada foi nula, ou seja, o caminhão, trem ou navio voltam vazios e por isso foi considerado nos cálculos o dobro da distância devido a viagem de ida e volta em cada etapa.



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seção 5.1 mostra as diferenças nos resultados obtidos quando são considerados diferentes critérios de alocação dos *inputs* utilizados e das emissões na avaliação das etapas do ciclo de vida da soja. Na seção 5.2 são apresentados e discutidos os resultados referentes aos impactos ambientais e aos aspectos sociais e econômicos da produção de biodiesel de soja. Na seção 5.3 são calculados e discutidos os impactos da produção e exportação de farelo de soja do Brasil para a União Européia. Na seção 5.4 está determinada a relação entre o consumo de carne na União Européia e os impactos ambientais produzidos no Brasil. Na seção 5.5 são confrontados os indicadores de energia do sistema convencional de produção de soja com um sistema alternativo que julga-se mais sustentável para a produção de agroenergia e alimentos de forma integrada.

Cabe ressaltar que os anexos deste trabalho são uma seção muito importante a medida que apresentam todos os cálculos realizados para obtenção dos indicadores mostrados nos resultados deste trabalho. O Anexo 9.1 apresenta as tabelas de cálculo da análise emergética, da análise de intensidade de materiais e da análise de energia incorporada de todas as etapas do ciclo de vida da soja. O Anexo 9.2 contém as notas de cálculo detalhadas referentes aos valores usados nas tabelas de avaliação do Anexo 9.1. O anexo 9.3 apresenta as tabelas de avaliação emergética do sistema convencional de produção de soja e de uma opção mais sustentável de produção de soja. O Anexo 9.4 mostra as notas de cálculo detalhadas referentes às tabelas do Anexo 9.3.

## 5.1 Critérios adotados para alocação dos *inputs* e emissões

Os fatores de alocação são usados para distribuir a intensidade de uso de recursos e emissões de poluentes aos diversos co-produtos que saem do processo produtivo considerado. No caso específico da soja, a alocação pode levar em consideração a fração da massa, a energia ou mesmo o preço de mercado dos produtos (óleo de soja, farelo de soja, biodiesel) e dos co-produtos (lecitina de soja, glicerina, sabão) que saem de cada fase da cadeia produtiva. Isto promove a divisão do uso de recursos e das emissões de maneira proporcional, segundo o parâmetro escolhido (massa, energia ou preço). Alguns fluxos de co-produtos são desconsiderados quando seu percentual não é significativo (menores de 2 %), como no caso da lecitina de soja na etapa de esmagamento. A Tabela 8 mostra os fatores de alocação (em porcentagem) segundo a massa, energia e preço dos produtos na fase de esmagamento da soja.

Tabela 8: Fatores de alocação segundo a massa, energia e preço de mercado dos co-produtos da soja durante o processo de esmagamento da soja.

<b>Produto</b>	<b>Fração da Massa<sup>a</sup></b>	<b>Fração da Energia<sup>a</sup></b>	<b>Fração da Preço<sup>b</sup></b>
Farelo de soja	81,3%	63,0%	60,7%
Óleo de soja	18,0%	35,6%	37,8%
Lecitina de soja	0,7%	1,4%	1,5%

<sup>a</sup>Os valores de massa e energia dos produtos estão expressos em porcentagem do total e seus valores estão mostrados na nota número 47 do Anexo 9.2.; <sup>b</sup>O preço do farelo de soja considerado foi de 245 US\$ ton<sup>-1</sup> e do óleo de soja e da lecitina de soja foram de 689 US\$ ton<sup>-1</sup> segundo dados do Agriannual (2007).

A partir da etapa de esmagamento da soja obtém-se dois principais co-produtos (óleo de soja e farelo de soja), todos os recursos usados e emissões das etapas anteriores devem

ser alocados a estes co-produtos. Porém, é importante destacar que a alocação é necessária somente na análise de energia incorporada e na análise de intensidade de materiais. Segundo a teoria da análise emergética (Odum, 1996) a alocação dos *inputs* não é necessária nesta análise.

Na maior parte dos trabalhos da literatura sobre avaliação energética do biodiesel os recursos e emissões da produção, transporte e esmagamento da soja são alocados de acordo com a massa dos co-produtos obtidos (Sheehan et al. 1998; Venturi e Venturi, 2003). Porém, este critério aloca a maior parte dos recursos para o farelo de soja e isso faz com que os indicadores de intensidade de materiais e energia incorporada da produção de biodiesel pareçam melhores do que realmente são. Cederberg e Flysjö (2004) usaram o preço de mercado do farelo e óleo de soja para alocar os recursos da etapa de esmagamento da soja para o farelo de soja usado na Europa. Por outro lado, Janulis (2004) fez a alocação dos recursos da produção de biodiesel de Canola na Europa de acordo com quantidade de energia contida dos co-produtos.

Obviamente, quanto maior o requerimento de energia e materiais alocados para os co-produtos (e não para o produto principal), maior a relação de energia que é liberada dividida pela que entra, e o processo principal parece ser mais eficiente. Entretanto, Giampietro et al. (1997) afirmam que este critério não é correto porque depois de certa quantidade é provável que não exista mais demanda suficiente para os co-produtos. Isso é especialmente válido para o caso da produção de biodiesel de soja onde a quantidade de farelo de soja e glicerina produzidos deverá ser superior a demanda destes produtos. Para as indústrias de produção de biocombustíveis em larga escala, os co-produtos se tornarão resíduos que deverão ser descartados, com o seu custo energético e econômico relativo a esta etapa adicional de descarte de resíduos uma vez que o recolhimento, processamento, transporte e utilização irão requerer mais energia e materiais. Quando um co-produto não tem mais valor de mercado ele se torna um resíduo e, desta forma, nenhum recurso material, energia ou emissão deve ser alocado a ele, ficando todos os recursos utilizados alocados ao produto principal. Isso porque não faz sentido a consideração de utilizar recursos para produzir resíduos.

Neste trabalho, a alocação foi realizada apenas na etapa de esmagamento da soja. Na Tabela 9, Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12 são mostrados o uso de recursos e as emissões alocados de quatro formas diferentes:

1. De acordo com as massas de farelo e óleo de soja obtidas
2. De acordo com os conteúdos de energia do farelo e óleo de soja obtidos
3. De acordo com os preço de mercado do farelo e óleo de soja obtidos
4. Sem alocação

Estas tabelas mostram um resumo dos indicadores de massa e energia calculados na Tabela 34 e na Tabela 35 do Anexo 9.1. A partir desta tabelas nota-se que o critério de alocação a ser escolhido causa uma diferença muito grande nos resultados obtidos. Por exemplo, a perda de solo por litro de biodiesel é de 4,49 kg alocando-se os recursos pela massa, 8,88 kg alocando-se pela energia, 9,44 kg alocando-se pelo preço e 24,96 kg sem alocação dos recursos. A relação saída/entrada de energia fóssil por kg de farelo de soja exportado é de 1,57 alocando-se os recursos pela massa, 1,74 alocando-se pela energia, 1,77 alocando-se pelo preço e 1,42 sem alocação dos recursos. Desta forma, a decisão sobre o critério de alocação mais adequado que deve ser selecionado para realizar os cálculos é uma etapa muito importante e deve ser feita com base em uma ponderação cuidadosa dos objetivos do estudo de caso em questão.

Os impactos ambientais do ciclo da vida da soja com os diferentes fatores de alocação mostrados na Tabela 9, Tabela 10, Tabela 11 e Tabela 12 são apresentadas aqui com a intenção de evidenciar as diferenças obtidas de acordo com os critérios de alocação que podem ser adotados. Estes valores serão discutidos na sua seção apropriada mais adiante neste trabalho.

Um critério de alocação coerente deve estar baseado no fator de interesse de cada um dos produtos considerados. Na avaliação da produção de biodiesel (seção 5.2), o principal fator de interesse está na energia contida no óleo de soja que será usado para suprir energia com biodiesel. Desta forma, neste trabalho os recursos e emissões para a produção de biodiesel de soja foram alocados de acordo com o conteúdo de energia porque acredita-se que este seja o critério mais justo e coerente para alocação da produção e processamento de biocombustíveis. Por outro lado, no caso da avaliação da exportação de soja (seção 5.3) o critério de alocação escolhido foi outro e considerou-se que o principal fator de interesse na produção do farelo de soja esta na massa de proteína contida na soja que é exportado para a Europa para ser usada como ração animal. Desta forma, os recursos e emissões para a produção, processamento e transporte do farelo de soja foram alocados de acordo com a massa de farelo e óleo contidos na soja.

Tabela 9: Indicadores de intensidade de material e energia para a produção de óleo de soja refinado considerando os diferentes cenários de alocação dos *inputs*.

<b>Indicador</b>	<b>Massa</b>	<b>Energia</b>	<b>Preço</b>	<b>Sem alocação</b>	<b>Unidade</b>
Perda de solo	5,41	10,69	11,37	30,05	kg/l <sub>óleo</sub>
Demanda bruta de petróleo	0,11	0,20	0,21	0,54	kg/l <sub>óleo</sub>
Demanda de fertilizante químico	0,125	0,248	0,264	0,697	kg/l <sub>óleo</sub>
Demanda de agrotóxicos	0,003	0,005	0,005	0,014	kg/l <sub>óleo</sub>
Água (direta)	5459	10787	11472	30323	kg/l <sub>óleo</sub>
Diesel (direta)	0,039	0,073	0,078	0,198	kg/l <sub>óleo</sub>
Eletricidade (direta)	0,049	0,091	0,091	0,221	kWh/l <sub>óleo</sub>
Intensidade de materiais, abiótico	4,36	8,53	9,06	23,79	kg/l <sub>óleo</sub>
Intensidade de materiais, água	5465	10798	11484	30352	kg/l <sub>óleo</sub>
Intensidade de materiais, ar	0,17	0,26	0,28	0,61	kg/l <sub>óleo</sub>
Intensidade de materiais, biótico	0,22	0,43	0,45	1,20	kg/l <sub>óleo</sub>
Entrada total de materiais (incluindo água)	5470	10807	11494	30378	kg/l <sub>óleo</sub>
Demanda de trabalho	0,007	0,012	0,013	0,031	h/l <sub>óleo</sub>
Demanda de área agrícola	3,18	6,29	6,69	17,68	m <sup>2</sup> /l <sub>óleo</sub>
Entrada total de energia	5,72	10,71	11,35	29,00	MJ/l <sub>óleo</sub>
Rendimento líquido de energia	30,44	26,57	26,08	12,41	MJ/l <sub>óleo</sub>
Rendimento líquido de energia	17216	15031	14750	7019	MJ/ha/ano
Rendimento líquido de energia por hora de trabalho	4521	2237	2080	404	MJ/h
Saída/entrada de energia fóssil	7,87	4,20	3,97	1,55	
Razão líquida/bruta de energia fóssil	0,87	0,76	0,75	0,36	

Tabela 10: Indicadores de intensidade de material e energia para a produção de biodiesel de soja considerando os diferentes cenários de alocação dos *inputs*.

<b>Indicador</b>	<b>Massa</b>	<b>Energia</b>	<b>Preço</b>	<b>Sem alocação</b>	<b>Unidade</b>
Perda de solo	4,49	8,88	9,44	24,96	
Demanda bruta de petróleo	0,19	0,27	0,28	0,55	kg/l <sub>biodiesel</sub>
Demanda de fertilizante químico	0,104	0,206	0,219	0,578	kg/l <sub>biodiesel</sub>
Demanda de agrotóxicos	0,002	0,004	0,004	0,012	kg/l <sub>biodiesel</sub>
Água (direta)	4533	8957	9526	25179	kg/l <sub>biodiesel</sub>
Diesel (direta)	0,070	0,099	0,102	0,202	kg/l <sub>biodiesel</sub>
Eletricidade (direta)	0,032	0,063	0,067	0,175	kWh/l <sub>biodiesel</sub>
Intensidade de materiais, abiótico	3,88	7,33	7,78	20,01	kg/l <sub>biodiesel</sub>
Intensidade de materiais, água	4539	8967	9536	25205	kg/l <sub>biodiesel</sub>
Intensidade de materiais, ar	0,58	0,66	0,67	0,95	kg/l <sub>biodiesel</sub>
Intensidade de materiais, biótico	0,29	0,47	0,49	1,11	kg/l <sub>biodiesel</sub>
Entrada total de materiais (incluindo água)	4543	8976	9545	25227	kg/l <sub>biodiesel</sub>
Demanda de trabalho	0,005	0,009	0,010	0,025	h/l <sub>biodiesel</sub>
Demanda de área agrícola	2,64	5,22	5,55	14,68	m <sup>2</sup> /l <sub>biodiesel</sub>
Entrada total de energia	8,14	11,35	11,76	23,11	MJ/l <sub>biodiesel</sub>
Rendimento líquido de energia	20,02	16,81	16,40	5,05	MJ/l <sub>biodiesel</sub>
Rendimento líquido de energia	13635	11450	11169	3438	MJ/ha/ano
Rendimento líquido de energia por hora de trabalho	3856	1776	1638	201	MJ/h
Saída/entrada de energia fóssil	3,46	2,48	2,39	1,22	
Razão líquida/bruta de energia fóssil	0,71	0,60	0,58	0,18	
Fator de amplificação devido a razão líquida/bruta de energia	1,41	1,68	1,72	5,58	

Tabela 11: Indicadores de intensidade de material e energia para a produção farelo de soja considerando os diferentes cenários de alocação dos *inputs*.

Indicador	Massa	Energia	Preço	Sem alocação	Unidade
Perda de solo	6,00	4,65	4,48	7,38	
Demanda bruta de petróleo	0,24	0,21	0,21	0,26	kg/kg <sub>farelo</sub>
Demanda de fertilizante químico	0,139	0,108	0,104	0,171	kg/kg <sub>farelo</sub>
Demanda de agrotóxicos	0,003	0,002	0,002	0,003	kg/kg <sub>farelo</sub>
Água (direta)	6057	4697	4522	7450	kg/kg <sub>farelo</sub>
Diesel (direta)	0,141	0,133	0,131	0,150	kg/kg <sub>farelo</sub>
Eletricidade (direta)	0,042	0,032	0,031	0,052	kWh/kg <sub>farelo</sub>
Intensidade de materiais, abiótico	6,13	5,07	4,93	7,22	kg/kg <sub>farelo</sub>
Intensidade de materiais, água	6074	4713	4538	7468	kg/kg <sub>farelo</sub>
Intensidade de materiais, ar	1,31	1,29	1,28	1,34	kg/kg <sub>farelo</sub>
Intensidade de materiais, biótico	0,24	0,19	0,18	0,30	kg/kg <sub>farelo</sub>
Entrada total de materiais (incluindo água)	6082	4719	4544	7477	kg/kg <sub>farelo</sub>
Demanda de trabalho	0,007	0,005	0,005	0,008	h/kg <sub>farelo</sub>
Demanda de área agrícola	3,53	2,74	2,64	4,34	m <sup>2</sup> /kg <sub>farelo</sub>
Entrada total de energia	9,92	8,93	8,81	10,93	MJ/kg <sub>farelo</sub>
Rendimento líquido de energia	56,29	66,15	67,42	46,19	MJ/kg <sub>farelo</sub>
Rendimento líquido de energia	12961	15231	15523	10635	MJ/ha/ano
Rendimento líquido de energia por hora de trabalho	841	1230	1294	575	MJ/h
Saída/entrada de energia fóssil	1,57	1,74	1,77	1,42	
Razão líquida/bruta de energia fóssil	0,36	0,43	0,43	0,30	

Tabela 12: Quantidade de gases de efeito estufa equivalente e efluentes industriais liberados por unidade de produto considerando os diferentes cenários de alocação dos *inputs*.

Indicador	Massa	Energia	Preço	Sem alocação	Unidade
<b>Soja</b>					
CO <sub>2</sub>	-	-	-	0,238	kg CO <sub>2</sub> /kg <sub>soja</sub>
NOx	-	-	-	0,004	kg NOx/kg <sub>soja</sub>
VOC	-	-	-	0,001	kg VOC/kg <sub>soja</sub>
CO	-	-	-	0,002	kg CO/kg <sub>soja</sub>
<b>Óleo de soja refinado</b>					
CO <sub>2</sub>	0,337	0,631	0,669	1,708	kg CO <sub>2</sub> /l <sub>óleo de soja</sub>
NOx	0,006	0,011	0,011	0,029	kg NOx/l <sub>óleo de soja</sub>
VOC	0,001	0,002	0,002	0,004	kg VOC/l <sub>óleo de soja</sub>
CO	0,002	0,004	0,005	0,012	kg CO/l <sub>óleo de soja</sub>
Efluente industrial	1,385	2,017	2,099	4,338	kg efluente/l <sub>óleo de soja</sub>
<b>Biodiesel</b>					
CO <sub>2</sub>	0,620	0,864	0,895	1,758	kg CO <sub>2</sub> /l <sub>biodiesel</sub>
NOx	0,011	0,015	0,015	0,030	kg NOx/l <sub>biodiesel</sub>
VOC	0,002	0,002	0,002	0,004	kg VOC/l <sub>biodiesel</sub>
CO	0,004	0,006	0,006	0,012	kg CO/l <sub>biodiesel</sub>
Efluente industrial	0,738	1,264	1,331	3,191	kg efluente/l <sub>biodiesel</sub>
<b>Farelo de soja</b>					
CO <sub>2</sub>	0,755	0,680	0,670	0,831	kg CO <sub>2</sub> /kg <sub>farelo</sub>
NOx	0,013	0,012	0,012	0,014	kg NOx/kg <sub>farelo</sub>
VOC	0,002	0,002	0,002	0,002	kg VOC/kg <sub>farelo</sub>
CO	0,005	0,005	0,005	0,006	kg CO/kg <sub>farelo</sub>
Efluente industrial	0,719	0,558	0,537	0,885	kg efluente/kg <sub>farelo</sub>

## 5.2 Análise do ciclo de vida da produção de biodiesel de soja

Nesta avaliação foram contabilizados todos os processos envolvidos do ciclo de vida do biodiesel de soja. As fases compreendidas no processo de produção do biodiesel de soja são: produção agrícola, transporte até a indústria de esmagamento, processamento industrial para obtenção de óleo de soja e farelo de soja, produção do biodiesel através do processo de transesterificação e transporte rodoviário até o consumidor final.

O resumo dos indicadores de massa e de energia da produção de soja e de biodiesel de soja estão mostrados na Tabela 13, assim como os valores selecionados da literatura para o biodiesel de girassol e etanol de milho são mostrados como comparação. Os indicadores de energia e intensidade de materiais para a soja e para o biodiesel de soja foram calculados a partir das tabelas de balanço de massa e energia no Anexo 9.1 (Tabela 34 e Tabela 35).

De modo geral a produção de biodiesel de soja é mais eficiente e demanda menos materiais e energia por unidade de combustível produzido do que as outras duas opções apresentadas na literatura científica para produção de biocombustíveis na Europa. Apesar do girassol apresentar maior conteúdo de óleo por kg de grão do que a soja (18% de óleo na soja e 38-48% no girassol) e produzir mais óleo por hectare, os resultados apontam que ele apresenta indicadores piores do que o biodiesel de soja. Isto porque os resultados apresentados para a produção de biodiesel de girassol foram calculados por Giampietro e Ulgiati (2005) sem considerar a alocação, ou seja, foi considerado que todos os recursos são usados apenas para produzir óleo de girassol, sem destinar uma parte dos recursos para a torta de girassol. Desta forma, seria mais conveniente comparar os resultados dos impactos da produção de biodiesel de girassol da literatura com os resultados do biodiesel de soja sem alocação que estão mostrados na Tabela 10.

De acordo com o esperado, existe uma demanda maior de materiais, energia, área agrícola e serviços para o a produção de biodiesel do que para a produção de soja devido aos processos de processamento e transporte sucessivos. Também, a cada etapa do processo obtêm-se um produto mais elaborado e em menor quantidade.

Tabela 13: Indicadores de intensidade de material e energia para a produção de soja, biodiesel (alocação pela energia) e outros biocombustíveis selecionados.

Indicador	Soja	Biodiesel de soja	Biodiesel de girassol <sup>a</sup>	Etanol de milho <sup>a</sup>	Unidade <sup>b</sup>
Perda de solo	6,00	8,88	19,74	8,78	kg/FU
Demanda bruta de petróleo	0,07	0,27	0,82	0,60	kg/FU
Demanda de fertilizante químico	0,139	0,206	0,37	0,15	kg/FU
Demanda de agrotóxicos	0,003	0,004	-	-	kg/FU
Água (direta)	6056	8957	2800	4800	kg/FU
Diesel (direta)	0,019	0,099	-	-	kg/FU
Eletricidade (direta)	0,012	0,063	-	-	kWh/FU
Intensidade de materiais, abiótico	4,62	7,33	13,97	7,45	kg/FU
Intensidade de materiais, água	6060	8967	2853	4811	kg/FU
Intensidade de materiais, ar	0,04	0,66	-	-	kg/FU
Intensidade de materiais, biótico	0,24	0,47	0,79	0,35	kg/FU
Entrada total de materiais (incluindo água)	6065	8976			kg/FU
Demanda de trabalho	0,005	0,009	0,04	0,02	h/FU
Demanda de área agrícola	3,53	5,22	11,48	5,10	m <sup>2</sup> /FU
Entrada total de energia	3,12	11,35	-	-	MJ/FU
Rendimento líquido de energia	19,48	16,81	-	-	MJ/FU
Rendimento líquido de energia (ha)	55181	11450	4880	18900	MJ/ha/ano
Rendimento líquido de energia por hora de trabalho	3679	1776	146	613	MJ/h
Saída/entrada de energia fóssil	7,24	2,48	-	-	
Razão líquida/bruta de energia fóssil	0,86	0,60	-	-	
Fator de amplificação devido à razão líquida/bruta de energia	-	1,68	-	-	

<sup>a</sup>Giampietro e Ulgiati, 2005; <sup>b</sup> A unidade funcional (FU) para a soja é 1 kg de soja; para o biodiesel de soja e de girassol e etanol de milho é 1 litro de biocombustível.

### 5.2.1 Fluxos de massa e energia do ciclo de vida do biodiesel de soja

A Tabela 14 mostra a relação de energia para diferentes produtos selecionados da literatura. A relação de energia calculada para a soja (energia que sai dividida pela energia que entra) foi de 7,24. Isto significa que para cada joule de energia comercial contida nos *inputs* utilizados para produzir a soja são obtidos 7,24 joules de energia no produto final (isso graças à energia solar que não é contabilizada no balanço energético, por isso a 1ª lei da termodinâmica é respeitada e não se está criando energia neste processo, apenas transformando energia de uma forma para outra). Pimentel e Pimentel

(1996) calcularam um valor de relação de energia de 4,15 para a produção de soja nos EUA. Já Venturi e Venturi (2003) citam valores de relação de energia entre 0,96 a 2,12 para a soja. A relação de energia da produção de biodiesel calculada neste trabalho foi de 2,48, ou seja, 1,48 joule de energia líquida entregue por cada joule empregado como input para a sua produção. Como comparação, o petróleo tem um retorno de 10 a 15 joule por joule investido e a energia eólica tem um retorno de aproximadamente 8 joule por joule investido.

Venturi e Venturi (2003) citam valores de relação de energia entre 0,7 e 1,6 para o biodiesel de soja. Janulis (2004) calculou valores de relação de energia entre 1,04 e 1,59 para o biodiesel de Canola, dependendo da produtividade por hectare. Giampietro e Ulgiati (2005) calcularam a relação de energia do biodiesel de girassol entre 1,21 e 0,98, dependendo do critério de alocação adotado. Pimentel e Patzek (2005) calcularam a relação de energia do biodiesel de soja em 0,79 e de 0,46 para o biodiesel de girassol. Sheehan et al. (1998) calcularam a relação de energia do biodiesel de soja nos EUA em 3,2. Bastianoni e Marchettini (1996) e Oliveira et al. (2005) calcularam a relação de energia para o etanol de diversas matérias primas e encontraram valores entre 0,31 e 4,35.

Tabela 14: Valores de relação de energia calculados neste trabalho e para diferentes produtos selecionados da literatura.

<b>Produto</b>	<b>Relação de energia</b>	<b>Referência</b>
Soja (USA)	4,15	Pimentel e Pimentel, 1996
Soja	0,96 - 2,12	Venturi e Venturi, 2003
Soja (Brasil)	7,24	Este estudo
Soja (USA)	2,56	Pimentel e Patzek, 2005
Biodiesel de soja	0,7-1,6	Venturi e Venturi, 2003
Biodiesel de soja (USA)	0,76	Pimentel e Patzek, 2005
Biodiesel de soja (USA)	3,2	Sheehan et al., 1998
Biodiesel de soja (Brasil)	2,48	Este estudo
Girassol (USA)	0,76	Pimentel e Patzek, 2005
Biodiesel de canola	1,04 -1,59	Janulis, 2004
Biodiesel de girassol	1,21 - 0,98	Giampietro e Ulgiati, 2005
Biodiesel de girassol (USA)	0,46	Pimentel e Patzek, 2005
Etanol de cana (Brasil)	3,7	Oliveira et al., 2005
Etanol de milho (USA)	1,1	Oliveira et al., 2005
Etanol de cana (Brasil)	4,35	Bastianoni e Marchettini, 1996
Etanol de cana (USA)	1,23 - 3,38	Bastianoni e Marchettini, 1996
Etanol de uva (Itália)	0,31	Bastianoni e Marchettini, 1996

A partir dos valores da Tabela 14 verifica-se uma diferença bastante grande nos valores de relação de energia para a soja, variando de 0,96 até 7,24 (sendo este último calculado neste trabalho) e para o biodiesel de soja variando de 0,7 até 3,2. Estas grandes diferenças entre os valores estão relacionadas com as várias considerações quanto às etapas de produção e processamento dos biocombustíveis, critérios de alocação escolhidos, eficiência na fabricação e taxa de aplicação de fertilizantes, uso de agrotóxicos e outros *inputs*, diferentes formas de cultivo, condições climáticas e outros fatores específicos para o cultivo em cada país, mas principalmente à produtividade da fase agrícola de produção do biocombustível. A relação de energia da soja calculada neste trabalho é maior que os valores da literatura devido ao fato de que a produtividade da soja em algumas regiões do Brasil é muito boa. É importante ressaltar que a avaliação realizada neste trabalho é bastante completa e alguns itens que normalmente não são considerados na maioria dos trabalhos da literatura foram contabilizados no balanço de energia mostrado na Tabela 35 do Anexo 9.1.

A Figura 8 mostra o diagrama sistêmico da comparação entre a produção de biodiesel de soja com o uso de combustíveis fósseis no processo e sem o uso de combustíveis fósseis no processo. A relação de energia do biodiesel calculada com alocação pela quantidade de energia (2,48) fornece uma relação de energia bruta/líquida de 0,60. Isso mostra que são necessários 0,40 litros de combustíveis fósseis para produzir cada litro de biodiesel entregue para o consumidor final. Por outro lado, é necessário produzir 1,68 litros de biodiesel para cada litro de biodiesel entregue para o consumidor se o processo de produção for independente de combustíveis fósseis. Isto é, retroalimentar uma parte do biodiesel produzido para fornecer a energia fóssil consumida no processo. Isto faz com que se for considerado a produção e biodiesel independente de combustíveis fósseis a demanda de recursos por litro de biodiesel produzido deve ser 68% maior do que aqueles valores calculados na Tabela 13 para o biodiesel.

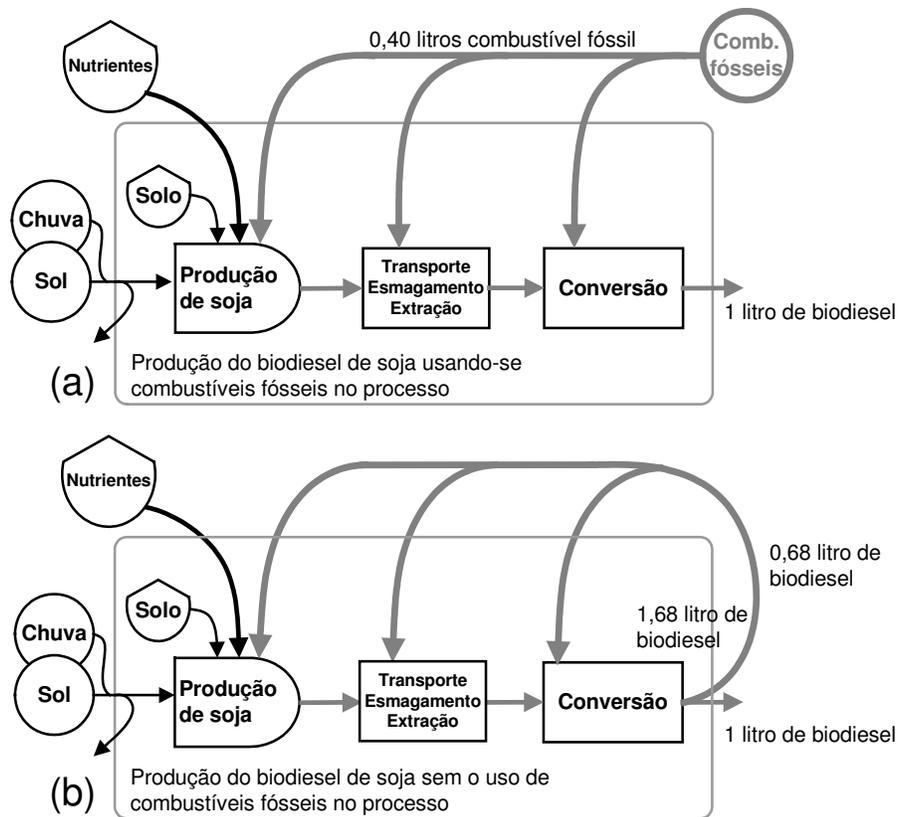


Figura 8: Diagrama sistêmico da comparação da produção de biodiesel de soja com o uso de combustíveis fósseis no processo (a) e sem o uso de combustíveis fósseis no processo (b).

Os resultados do balanço de massa da produção de biodiesel que estão mostrados na Tabela 13 (cálculos da Tabela 34 e Tabela 35 do Anexo 9.2) indicam que produzir um litro de biodiesel demanda de forma direta 0,21 kg de fertilizantes, 0,004 kg de agrotóxicos, 8957 kg de água, 0,099 kg de diesel e 0,063 kWh de eletricidade e apresenta uma perda potencial de 8,88 kg de solo. Considerando-se a demanda de materiais de forma indireta calculada a partir da análise de intensidade de materiais (Tabela 34), produzir um litro de biodiesel requer que sejam utilizados em alguma parte do globo (escala global) 7,33 kg de material abiótico, 8967 kg de água, 0,66 kg de ar e 0,47 kg de material biótico.

O custo energético de produção de soja é de  $3,12 \text{ MJ kg}^{-1}$ , enquanto que para o biodiesel este valor é quase quatro vezes maior ( $11,3 \text{ MJ kg}^{-1}$ ). Produzir um litro de biodiesel requer uma quantidade de energia comercial equivalente a 0,27 kg de petróleo que está incorporada (de forma direta e indireta) nos *inputs* utilizados para a sua produção,

enquanto que para a soja este valor é menor: 0,07 kg. O rendimento líquido de energia para a produção de biodiesel foi de 16,8 MJ L<sup>-1</sup> (11450 MJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e para a produção de soja foi de 19,5 MJ kg<sup>-1</sup> (55181 MJ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>).

A Lei nº 11.097/2005 publicada no Diário Oficial da União no dia 14 de janeiro de 2005 introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira e atribuiu à Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, a competência de órgão regulador da produção, importação, exportação, armazenagem, estocagem, distribuição, revenda, comercialização e fiscalização dos biocombustíveis. Ademais, a lei estabelece a obrigatoriedade de adição do biodiesel ao óleo diesel nos percentuais mínimos de 2% (mistura denominada B2) e 5% (mistura denominada B5), a serem cumpridos respectivamente a partir de janeiro de 2008 e 2013.

Considerando o consumo de diesel no Brasil de 38854 milhões de litros em 2006 e com uma hipótese conservadora de manutenção deste consumo em 2008, a substituição do diesel pela mistura B2 pode ser traduzido com uma demanda de 777 milhões de litros de biodiesel. Se este biodiesel for produzido a partir de óleo de soja que é a principal opção usada até o momento (90% da matéria prima usada para produção de biodiesel, segundo Assis e Zucarelli, 2007), a demanda de área cultivada será de mais de 1,14 milhões de hectares de soja, isto é, aumento de 5,1% na área cultivada de soja em 2006 ou equivalente a 43,9% da área de floresta desmatada anualmente no Brasil. Considerando ainda a relação de energia bruta/líquida de 0,60 necessária se considerarmos esta produção de biodiesel independente de combustíveis fósseis a demanda de terra amplifica em 68%, ou seja, 1,92 milhões de hectares e aumento de 8,6% na área cultivada com soja em 2006.

Para 2013, com a implantação da mistura B5, a demanda de biodiesel será de 19,4 milhões de litros (usando estimativa bastante conservadora de manutenção em 2013 do consumo de diesel em 2006) e 2,85 milhões de hectares para cultivo da soja, aumento de 12,8% na área cultivada em 2006 e superior a toda a área desmatada por ano no Brasil. Considerando o fator de amplificação relativo a produção de biodiesel independente de combustíveis fósseis, a demanda de área de produção de soja seria de 4,79 milhões de hectares. Este número corresponde um aumento de 21,6% na área cultivada com soja em 2006.

Em um outro cenário, se o governo decidir substituir 50% do diesel com biodiesel (B50), a demanda de biodiesel de soja seria de 194 milhões de litros de biodiesel e aumento de

28,5 milhões de hectares de soja, aumento de 128% na área cultivada de soja. Com o fator de amplificação relativo à produção de biodiesel de soja independente de combustíveis fósseis a demanda de área cultivada seria de 47,9 milhões de hectares e aumento de 216% na área cultivada com soja em 2006.

Os resultados mostram que são necessários mais de  $5,2 \text{ m}^2 \text{ ano}^{-1}$  de área agrícola para produzir um litro de biodiesel. Um exemplo prático disso seria que em 2008, cada vez que um caminhoneiro encher o tanque do caminhão com 400 litros da mistura B2 (2% de biodiesel misturados ao diesel) ele estará usando cerca de  $42 \text{ m}^2$  de área agrícola de soja por ano. Esta área seria suficiente para produzir 277 kg de tomate ou 10 kg de feijão. Em 2013 com diesel B5 este valor será de aproximadamente  $100 \text{ m}^2 \text{ ano}^{-1}$  (área suficiente para produzir 686 kg de tomate ou 25 kg de feijão por tanque de combustível).

Desta forma, a implementação da mistura de 2% ou 5% de biodiesel no diesel utilizado no país certamente trará consigo um aumento na pressão por novas áreas de cultivo de oleaginosas. Se este biodiesel for produzido a partir de soja, a demanda por novas áreas de cultivo certamente aumentará a pressão nas áreas atualmente usadas para produção de alimento e áreas de florestas. Ainda, é esperado que este aumento na área cultivada de soja ocupe áreas marginais de pasto que são mais propensas a perda de solo e outros impactos ambientais. Com isso a criação de gado avança sobre novas áreas abertas a custa da derrubada de florestas.

A demanda direta de água é de 8957 kg por litro de biodiesel. Usando as mesmas suposições que para demanda de áreas de cultivo, a mistura B2 demandará um adicional de 7,0 bilhões de  $\text{m}^3$  de água por ano (adicional de  $34,8 \text{ m}^3$  por pessoa ano no Brasil), e a mistura B5 17,4 bilhões de  $\text{m}^3$  de água (adicional de  $87 \text{ m}^3$  por pessoa ano). Porém, quase a totalidade deste valor é água da chuva. Se for excluída a água da chuva o consumo de água para as etapas industriais da produção de biodiesel de soja corresponde a 1,26 litros de água por litro de biodiesel.

### **5.2.2 Co-produtos da produção de biodiesel de soja**

Com a implantação da mistura B2, serão produzidos como co-produtos 50397 toneladas de glicerina e 2,63 milhões de toneladas de farelo de soja por ano. Com a mistura B5 serão produzidos 125992 toneladas de glicerina e 6,57 milhões de toneladas de farelo de soja por ano. Haverá um momento em que o mercado local e internacional não pode mais

absorver estas grandes quantidades de co-produtos da produção de biodiesel e o seu preço será muito baixo. Neste momento, estes co-produtos tornam-se um resíduo agroindustrial. Quando um co-produto se torna um resíduo não faz mais sentido alocar os recursos a eles uma vez que são indesejáveis, como mencionado na seção 5.1. Assim sendo, os resultados de uso de recursos e emissões para o biodiesel não devem mais ser os mostrados na Tabela 13 e Tabela 16 e sim aqueles mostrados na seção 5.1 calculados sem alocação na Tabela 10 e na Tabela 12.

Pode-se argumentar que a glicerina e o farelo de soja podem ser exportados. Entretanto, o país pode não encontrar compradores estrangeiros para absorver a oferta de co-produtos da produção de biodiesel. Mesmo que se encontre um mercado para os co-produtos, seguramente isso não será rentável devido ao baixo preço ocasionado pelo excesso de oferta destes produtos. Além disso, o Brasil já é o segundo maior exportador mundial de soja e farelo de soja e aumentar essa quantidade pode ser um problema. Algumas regiões do solo europeu já estão saturadas com nutrientes resultantes da produção de animais de forma intensiva sustentados com farelo de soja importado. A Europa certamente não poderá utilizar todo o farelo produzido como co-produto da produção mundial de biodiesel em grande escala. Os resultados dos indicadores do comércio internacional de soja e farelo de soja entre o Brasil e a União Européia estão mostrados mais adiante nas seções 5.3 e 5.4 deste trabalho.

Por estas razões, nesta análise, a demanda de energia e matérias e as emissões foram alocadas de acordo com critérios bastante otimistas, a fim de mostrar que mesmo com critérios favoráveis a produção de biodiesel de soja em grande escala não é uma opção favorável. Ainda, na etapa de produção de biodiesel não foi alocado nenhum recurso ou emissão a glicerina produzida, pois o valor de mercado deste produto com a produção de biodiesel em larga escala seguramente será muito baixo.

### **5.2.3 Uso de agrotóxicos na etapa de produção agrícola de soja para biodiesel**

Os resultados do balanço de massa da produção de biodiesel que estão calculados no Anexo 9.2 e mostrados na Tabela 13 indicam que para a etapa de produção agrícola de soja são necessários 139 gramas de fertilizantes químicos e 3 gramas de agrotóxicos para cada quilograma de soja produzida. Já para o biodiesel de soja são necessários 206

gramas de fertilizantes químicos e 4 gramas de agrotóxicos para cada litro de biodiesel produzido. Em 2008 a soja necessária para o biodiesel para a mistura B2 irá demandar 160 milhões de quilogramas de fertilizantes químicos e 3,2 milhões de quilogramas de agrotóxicos por ano. Em 2013, a soja para o biodiesel necessário para a mistura B5 demandará 400 milhões de quilogramas de fertilizantes químicos e 8,1 milhões de quilogramas de agrotóxicos por ano. Lembrando-se ainda que todos estes números devem ser acrescidos em 68% (devido relação de energia bruta/líquida de 0,60) caso considere-se a produção de biodiesel for independente de combustíveis fósseis.

#### **5.2.4 Aspectos econômicos e sociais da produção de biodiesel de soja**

Um dos grandes obstáculos para a adoção do biodiesel é que ele deve apresentar um custo capaz de competir com o combustível fóssil (diesel). Entretanto, devido ao caráter finito dos combustíveis fósseis o seu preço tende a subir cada vez mais. O preço médio do barril de petróleo no mercado internacional em 2000 era de 31 US\$. Atualmente este valor está em torno de 65 US\$ e a previsão para 2008 é de que este valor chegue aos 84 US\$. O valor médio do petróleo está atualmente em 0,41 US\$ por litro de óleo cru.

O diesel está sendo vendido no Brasil (janeiro de 2008) a aproximadamente 0,87 US\$ por litro. Cerca de 70% deste valor são custos de transporte, margem de lucro e impostos (neste valor estão incluídas as parcelas da Contribuição de Intervenção no Domínio Econômico – CIDE, dos Programas de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público – PIS/PASEP e de Financiamento da Seguridade Social – Cofins. Também não está incluído o ICMS, que depende de legislação de cada Estado) (ANP, 2001). Desta forma, restam 0,26 US\$ por litro de diesel que é o custo de produção do diesel e que pode ser comparado com o custo de produção do biodiesel.

Os resultados da Tabela 15 mostram que custo de produção calculado para o biodiesel foi de 306 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> ou 0,45 US\$ por litro (somatório do custo de produção de cada etapa do ciclo de vida do biodiesel alocado pela energia). Este valor está abaixo dos valores do custo de produção de biodiesel de soja encontrados na literatura. Segundo estimativas da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE), o custo de biodiesel de soja é de 0,65 US\$ por litro, sem considerar os impostos, o frete para o pólo de distribuição e a margem do produtor. Ainda, a literatura aponta um valor de 0,52 US\$ por litro para a produção de biodiesel de soja na Europa (Fortenbery, 2005). O preço

de venda médio do biodiesel é de 487 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> ou 0,71 US\$ L<sup>-1</sup>. Este valor garante ao produtor uma margem de lucro muito boa de 59%. Porém, se o sistema tivesse de pagar as externalidades negativas e perda de serviços ambientais produzidos devido ao seu processo de produção a sua margem de lucro cairia para 17%.

Tabela 15: Indicadores econômicos e sociais calculados para a produção de biodiesel de soja.

	Biodiesel	Unidade
<b>Indicadores econômicos</b>		
Produtividade unitária	599	kg/ha/ano
Custo total de produção	305,85	US\$/ha/ano
Receita bruta	486,99	US\$/ha/ano
Receita líquida	181,14	US\$/ha/ano
Receita líquida considerando as externalidades e serviços ambientais (R <sub>EX</sub> ):	50,63	US\$/ha/ano
Margem de lucro (L%):	59%	
Margem de lucro considerando as externalidades e serviços ambientais (L <sub>EX</sub> %):	17%	
<b>Indicadores sociais</b>		
Empregos gerados	0,0027	Trabalhador/ha/ano
Uso de mão-de-obra	3,36E-10	h/J de produto

De qualquer forma, o custo de produção do diesel ainda é muito mais baixo do que o do biodiesel de soja. Devido ainda a esta evidente vantagem econômica em usar combustível fóssil é que o governo lançou seu programa de implementação do biodiesel, fornecendo subsídios aos produtores para sustentar a produção de biodiesel. O biodiesel precisa ser subsidiado pelo governo para ser vendido ao mesmo preço do diesel. O principal apelo deste programa é diminuir as emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito estufa e atender as preocupações quanto ao aquecimento global e o protocolo de Kyoto, promover uma fonte de energia renovável alternativa e apresentar uma alternativa de renda para os produtores rurais de algumas regiões do país.

### 5.2.5 Emissões aéreas e efluentes da produção de biodiesel de soja

O biodiesel poderia ser considerado neutro na produção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) porque quando as espécies vegetais estão crescendo, elas absorvem aproximadamente a mesma quantidade de dióxido de carbono que é emitida durante o processo de

combustão, tornando o balanço de carbono praticamente igual a zero (Ulgiati, 2001; Beeharry, 2001; Yoshida et al., 2003). Entretanto, sabe-se que existem muitas outras emissões e impactos ambientais relacionados ao uso de insumos industriais na cadeia de produção do biodiesel e que devem ser determinados para uma avaliação mais apropriada do balanço de emissões do biodiesel de soja.

A Figura 9 mostra o diagrama sistêmico da comparação entre os ciclos de carbono na produção e consumo de biodiesel de soja (a) e de combustíveis fósseis (b). No caso da produção e consumo do biodiesel de soja o  $\text{CO}_2$  que é liberado é aquele que foi fixado pela planta durante a fase de crescimento da planta mais a quantidade liberada referente ao combustível fóssil que é usado em cada etapa do ciclo de vida do biodiesel de soja. Já no caso da produção e consumo do combustível fóssil o  $\text{CO}_2$  que é liberado provém de um estoque de carbono fixado a milhares de anos pela natureza mais a quantidade liberada referente ao combustível fóssil que é usado em cada etapa do processamento e consumo dos combustíveis fósseis. Como o diesel é uma fonte importante de gases associados ao aquecimento global, a redução do consumo deste derivado de petróleo, devido à introdução do biodiesel na matriz energética brasileira, poderia ajudar a reduzir estas emissões de gases que contribuem para o aumento do efeito estufa.

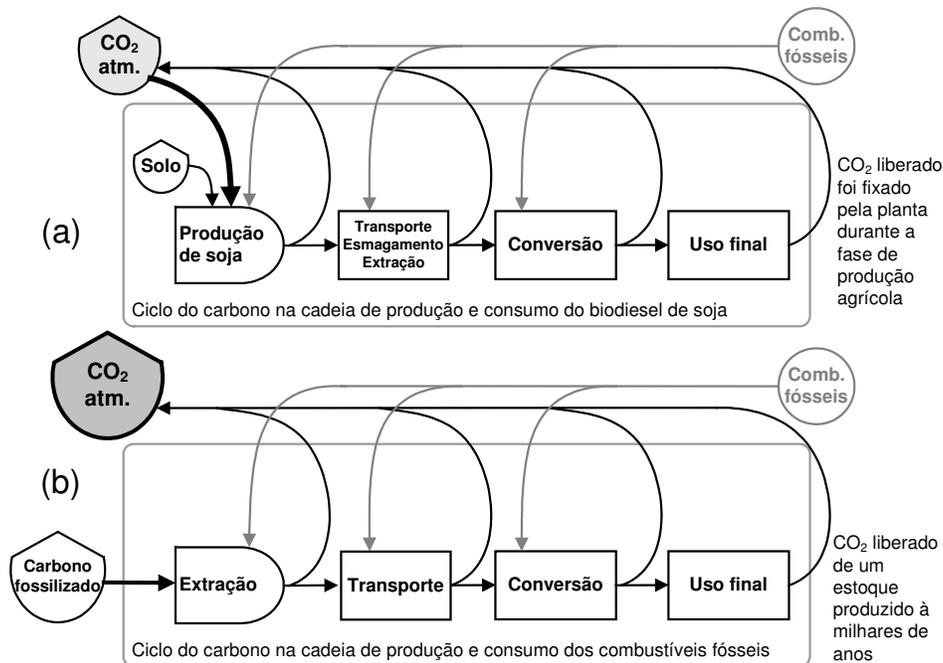


Figura 9: Diagrama sistêmico da comparação entre os ciclos de carbono na produção e consumo de biodiesel de soja (a) e de combustíveis fósseis (b).

As emissões sólidas, líquidas e gasosas foram contabilizadas apenas no balanço de massa (Tabela 34) para fechar o balanço de massa em escala local. Essas emissões não estão listadas no balanço de energia (Tabela 35) nem na tabela de avaliação emergética (Tabela 36). Neste trabalho não foram contabilizadas as emissões provenientes da etapa de utilização de biodiesel, diesel ou suas misturas. Entretanto as emissões de gases de efeito estufa das etapas de produção de biodiesel de soja devem ser menores do que as emissões da queima de uma quantidade de energia equivalente de combustível fóssil para esta ser considerada uma opção viável quando se fala em diminuir as emissões que contribuem para o aquecimento global.

A oxidação da matéria orgânica também causa a liberação de CO<sub>2</sub> na atmosfera. A matéria orgânica está presente principalmente nas camadas superiores do solo. O revolvimento da terra e a chuva em excesso trazem a matéria orgânica para o contato com o oxigênio atmosférico. Considerou-se a emissão de 0,0135 kg de CO<sub>2</sub> por kg de solo perdido por erosão de acordo com os valores descritos por Ulgiati (2001). Valores típicos de erosão para a produção de soja no Brasil encontrados em literatura variam de 8 a 40 toneladas de solo por hectare por ano (nota 6 do Anexo 9.2). A erosão é afetada por diversos fatores como a declividade do solo, a quantidade de chuva, o tipo de manejo empregado na atividade agrícola, entre outros. Para se obter uma estimativa mais precisa e específica para um determinado local é possível utilizar ferramentas como processamento georeferenciado (GIS) ou medidas de campo quantitativas. Neste trabalho foi utilizado o valor médio para culturas anuais de 17 toneladas de solo por hectare por ano (estimativa conservadora para o Brasil), que corresponde a uma emissão de 230 kg de CO<sub>2</sub> por hectare por ano.

A Tabela 16 mostra a quantidade de gases de efeito estufa equivalente e efluentes liberados por kg de soja e por litro de biodiesel produzidos. A queima de 1 kg de diesel libera aproximadamente 3,18 kg de CO<sub>2</sub> (estimado por reação estequiométrica, nota 14 do Anexo 9.2).

Tabela 16: Quantidade de gases de efeito estufa equivalente e efluentes liberados para a soja e o biodiesel de soja.

Indicador	Valor	Unidade	Valor	Unidade
<b>Soja</b>				
CO <sub>2</sub>	0,238	kg CO <sub>2</sub> /kg <sub>soja</sub>	673,2	kg CO <sub>2</sub> /ha ano
NOx	0,004	kg NOx/kg <sub>soja</sub>	11,6	kg NOx/ha ano
VOC <sup>a</sup>	0,001	kg VOC/kg <sub>soja</sub>	1,7	kg VOC/ha ano
CO	0,002	kg CO/kg <sub>soja</sub>	4,7	kg CO/ha ano
<b>Biodiesel</b>				
CO <sub>2</sub>	0,864	kg CO <sub>2</sub> /L <sub>biodiesel</sub>	588,2	kg CO <sub>2</sub> /ha ano
NOx	0,015	kg NOx/L <sub>biodiesel</sub>	10,1	kg NOx/ha ano
VOC <sup>a</sup>	0,002	kg VOC/L <sub>biodiesel</sub>	1,5	kg VOC/ha ano
CO	0,006	kg CO/L <sub>biodiesel</sub>	4,1	kg CO/ha ano
Efluente industrial	1,264	kg efluente/L <sub>biodiesel</sub>	861	kg efluente/ha ano

<sup>a</sup>VOC: Compostos orgânicos voláteis.

Os resultados apresentados na Tabela 16 mostram que são liberados 238 gramas de CO<sub>2</sub> por kg de soja e 864 gramas de CO<sub>2</sub> por litro de biodiesel produzido (30,7 gramas de CO<sub>2</sub> por MJ entregue). Aqui não existe razão em aplicar o fator de amplificação de 68% (relação de energia bruta/líquida) para tornar o sistema independente do uso de energia fóssil e evitando a emissão de CO<sub>2</sub> que é relativa ao seu uso no processo. No lugar disso, apenas o dióxido de carbono proveniente de oxidação do solo é contabilizado no caso da produção de biodiesel ser independente de combustíveis fósseis (considerando o balanço de CO<sub>2</sub> do biodiesel igual a zero). Neste caso, o valor calculado foi de apenas 12 gramas de CO<sub>2</sub> por MJ de biodiesel entregue. A produção e uso de gasolina liberam cerca de 97-100 gramas de CO<sub>2</sub> por MJ (Ulgiati, 2001 e Hill et al., 2006), incluindo também o combustível gasto no processo de refino. O diesel libera 72 gramas de CO<sub>2</sub> por MJ entregue (estimado por reação estequiométrica, nota 14 do Anexo 9.2, sem incluir o combustível gasto no processo de refino e 82 gramas de CO<sub>2</sub> por MJ entregue incluindo o processo de refino (Hill et al. 2006).

A Figura 10 apresenta o diagrama sistêmico da comparação da quantidade de CO<sub>2</sub> emitido pelo processo de produção de biodiesel usando-se combustíveis fósseis no processo (a), produção de biodiesel sem o uso de combustíveis fósseis no processo (isto é, uma fração do biodiesel produzido é utilizado para realimentar o processo de produção e neste caso apenas o CO<sub>2</sub> emitido pela oxidação do solo é contabilizado) (b) e no processo de extração e processamento de combustíveis fósseis (c).

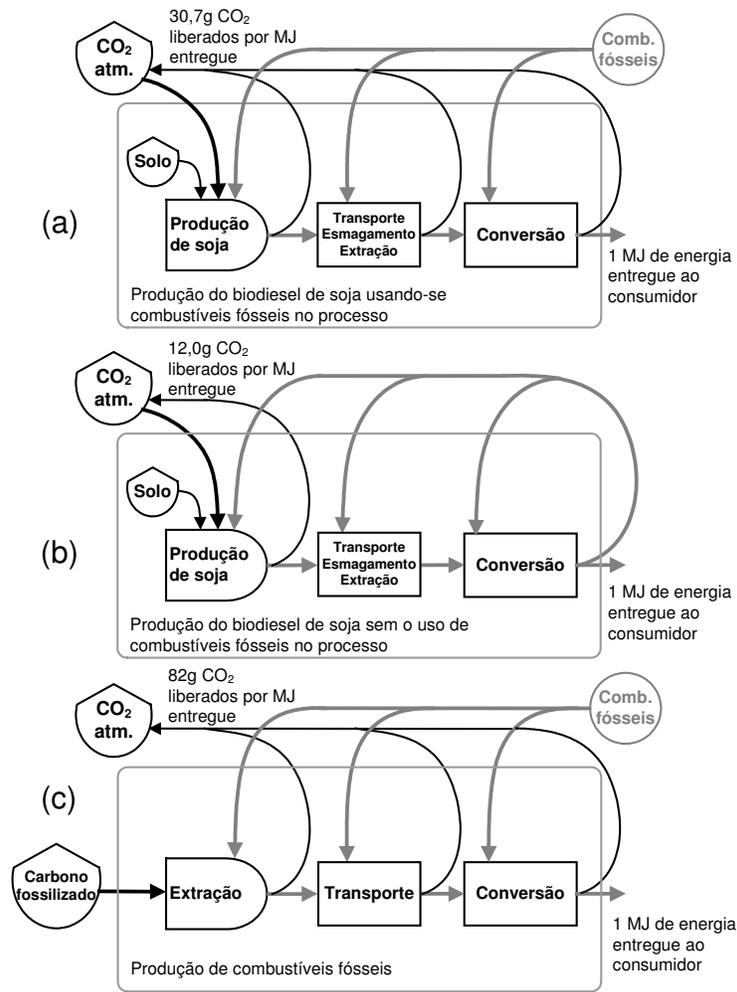


Figura 10: Diagrama sistêmico da comparação da quantidade de CO<sub>2</sub> emitido pelo processo de produção de biodiesel usando-se combustíveis fósseis no processo (a), produção de biodiesel de soja sem o uso de combustíveis fósseis no processo (b) e no processo de extração, processamento e uso de combustíveis fósseis (c).

Desta forma, tem-se emissões de dióxido de carbono 83% menores com o biodiesel produzido independente de combustíveis fósseis em comparação com o diesel (porém, a custo de uma demanda maior de recursos, área, água e insumos) é 57% menores usando-se combustíveis fósseis no processo de produção de biodiesel de soja. Porém, reinvestir uma fração de biodiesel no processo de produção rende uma fração menor de energia líquida para uso como substituto dos combustíveis fósseis (dependendo da relação de energia bruta/líquida obtida no processo de produção do biodiesel). Conseqüentemente, o benefício com as menores emissões de CO<sub>2</sub> também decresce e

pode até se tornar menos importante. Além disso, nas áreas de floresta existe o equilíbrio de CO<sub>2</sub> entre as árvores, o solo e a atmosfera. Quando as árvores são cortadas para dar lugar às novas áreas agrícolas, este equilíbrio é desfeito e o solo passa a emitir mais CO<sub>2</sub> do que está absorvendo. É preciso considerar que a quantidade de CO<sub>2</sub> que é emitida pela produção de biocombustíveis é correspondente à quantidade de CO<sub>2</sub> que é emitido pela oxidação do solo mais o CO<sub>2</sub> emitido com os combustíveis fósseis usados no processo de produção dos insumos utilizados mais a quantidade referente às queimadas realizadas para abrir novas áreas de agricultura.

Utilizando-se a mesma hipótese conservadora de o consumo de diesel em 2008 manter-se igual ao de 2006, o Brasil deixaria de emitir a partir de 2008 com a implantação da mistura B2 cerca de 1,41 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> por ano e com a mistura B5 a partir de 2013 serão 3,52 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> a menos por ano na atmosfera. Segundo o mais recente relatório do IPCC o Brasil aparece como o 4º maior emissor mundial de gases do efeito estufa por conta do desmatamento. O país perde anualmente até 26 mil quilômetros quadrados de florestas gerando cerca de 400 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (Mitchell et al., 2007). O grande problema é que os resultados mostram que a implantação das misturas B2 e B5 deixariam de emitir apenas 0,4% e 0,9%, respectivamente, da quantidade de CO<sub>2</sub> que o país emite anualmente com as queimadas. Desta forma, se a intenção do programa do governo federal de implantação do biodiesel for diminuir as emissões de CO<sub>2</sub> ele não cumprirá um papel significativo. Além disso, o aumento na demanda de biodiesel certamente trará consigo um aumento na demanda de áreas de cultivo, que por sua vez aumentam a demanda por novas áreas de agricultura que são abertas frequentemente com queimadas clandestinas. Portanto, a conclusão é de que vale mais a pena investir em políticas públicas para o cumprimento da legislação ambiental em vigor para preservar as florestas e controlar as queimadas do que investir no programa de implantação de biodiesel quando a intenção é reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>.

Quanto aos efluentes, a produção de um litro de biodiesel libera 1,26 litros de efluentes líquidos que correspondem a mais de 2 litros de efluente por litro de biodiesel produzido considerando a não utilização de combustíveis fósseis na produção de biodiesel. O valor médio de DBO<sub>5</sub> (demanda biológica de oxigênio após 5 dias, uma medida padrão de poluição) para o efluente de processamento de óleo de soja pode ser assumido como 500 mg/l (Dorsa, 2000). Desta forma, aproximadamente 1 grama de DBO<sub>5</sub> deve ser removido

do efluente por litro de biodiesel produzido. O custo energético aproximado de remoção de  $\text{DBO}_5$  é de 3,6 MJ/kg  $\text{DBO}_5$  segundo Ulgiati (2001). Desta forma, o custo energético total para remoção da  $\text{DBO}_5$  do efluente produzido é de 3600 J/l, que corresponde a cerca de 0,02% da energia bruta do biodiesel entregue. Esta energia adicional deveria ser subtraída da energia líquida disponibilizada e em alguns casos este valor pode influenciar na relação de energia bruta/líquida e também na demanda de área, água e outros materiais.

### 5.2.6 Avaliação emergética da produção de biodiesel de soja

O meio ambiente pode ser considerado tanto como uma fonte de recursos como um absorvedor das emissões do processo produtivo. Quando se avalia as emissões de  $\text{CO}_2$  ou os efluentes gerados, o foco é como absorvedor de emissões. Entretanto, existe um suporte ambiental em ambos os aspectos, e ambos devem ser contabilizados para promover um processo sustentável (Ulgiati, 2001). A metodologia emergética foi utilizada por ser capaz de avaliar quantitativamente o suporte ambiental, e o trabalho humano que são fornecidos aos processos.

A Figura 11 mostra os resultados do uso de recursos calculados pelas avaliações de intensidade de materiais, energia incorporada e análise emergética de todas as etapas de produção de biodiesel. Todos os *inputs* foram classificados em seis diferentes tipos: suporte ambiental, combustíveis fósseis, eletricidade, bens e a mão-de-obra e serviços. A Figura 11 mostra que a metodologia emergética foi o único método capaz de avaliar o suporte ambiental e o uso de mão-de-obra e serviços que são utilizados no processo de produção do biodiesel de soja. Ainda, é importante destacar que os fluxos ambientais foram as contribuições mais importantes em termos da energia usada pelos processos, porém estes fluxos não são considerados na metodologia de avaliação de energia incorporada e avaliação de intensidade de materiais. Isto demonstra a importância da utilização da metodologia emergética para a avaliação da sustentabilidade dos sistemas de produção mostrados neste trabalho. No gráfico da análise de energia incorporada o item “combustíveis” de destaca bastante a medida que este método foca na contabilidade de energia comercial utilizada pelo processo.

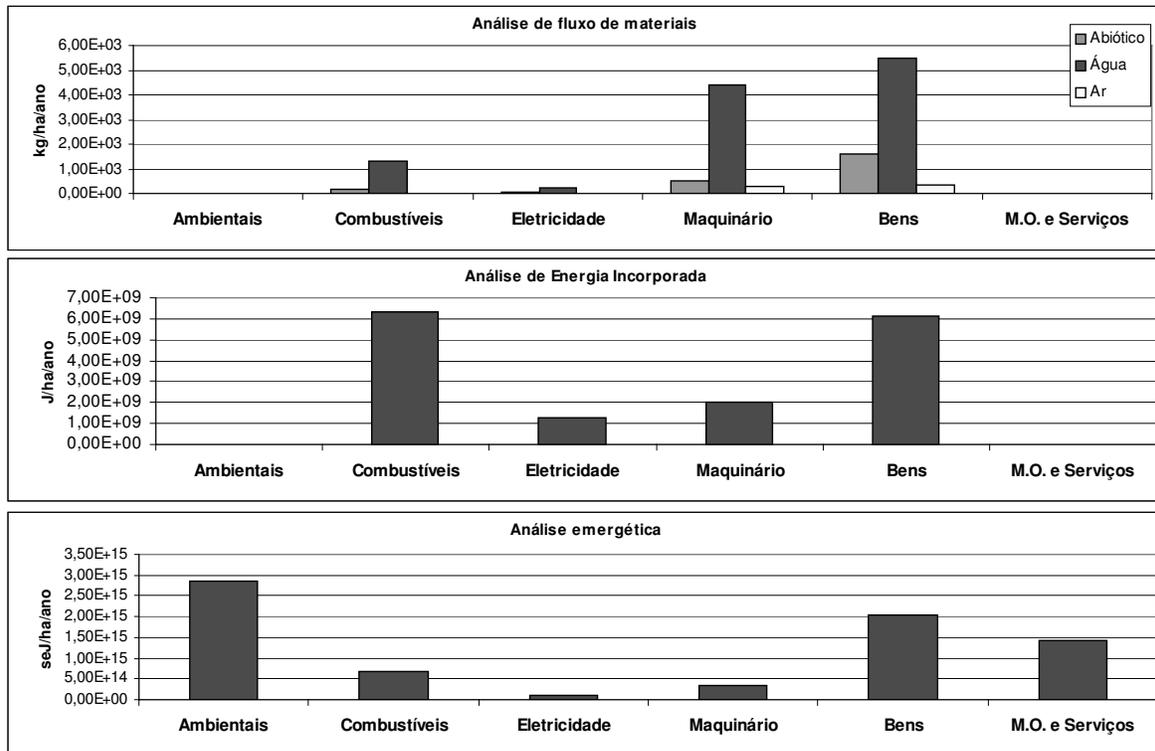


Figura 11: Comparação dos resultados obtidos com cada método de análise para o sistema de produção de biodiesel de soja considerando cada tipo de input.

Os resultados na avaliação emergética da produção de soja e biodiesel de soja estão mostrados na Tabela 17 e na Tabela 18, respectivamente. Dentre os fatores naturais que mais influenciam o cultivo da soja destacam-se a radiação solar e o controle da umidade do solo. A radiação solar é a fonte energética da fotossíntese e influencia no crescimento da soja durante todo o ciclo e torna-se crítica entre a floração plena e o início do enchimento dos grãos. A disponibilidade de umidade do solo afeta todos os processos fisiológicos das plantas. Na maioria das situações, esse fator ecológico é o principal responsável pelas grandes variações no rendimento da soja. É importante ressaltar que, na metodologia de avaliação emergética, a fim de evitar dupla contagem, somente o maior valor dentre os recursos naturais renováveis provenientes da mesma fonte é contabilizado. Como os fluxos referentes à radiação solar e chuva são originários da mesma fonte (energia solar) e, neste caso, o fluxo da chuva é o maior, e portanto os fluxos de energia da radiação solar são desprezados no cálculo (Tabela 36 do Anexo 9.1) (Odum, 1996).

Tabela 17: Resultados dos indicadores de energia da produção de soja.

Indicador	Valor	Unidade
Transformidade (Tr)	1,01E+05	seJ/J
Energia específica	2,27E+12	seJ/kg
Razão de rendimento líquido de energia (EYR)	1,80	
Razão de carga ambiental (ELR)	1,81	
Renovabilidade (%R)	35,6%	%
Concentração de potência emergética (ED)	6,44E+11	seJ/m <sup>2</sup>
Razão de investimento de energia (EIR)	1,25	
Índice de intercâmbio de energia (EER)	2,66	
Indicador de sustentabilidade de energia (EIS)	1,00	

Tabela 18: Resultados dos indicadores de energia da produção de biodiesel de soja.

Indicador	Valor	Unidade
Transformidade (Tr)	3,90E+05	seJ/J
Energia específica	1,25E+13	seJ/kg
Energia específica	1,10E+13	seJ/L
Razão de rendimento líquido de energia (EYR)	1,62	
Razão de carga ambiental (ELR)	2,26	
Renovabilidade (%R)	30,7%	%
Concentração de potência emergética (ED)	7,48E+11	seJ/m <sup>2</sup>
Razão de investimento de energia (EIR)	1,60	
Índice de intercâmbio de energia (EER)	4,15	
Indicador de sustentabilidade de energia (EIS)	0,72	

A transformidade indica quanta energia solar equivalente que o sistema precisa para produzir uma unidade de energia (joule) de um determinado produto. Assim, o sistema de produção agrícola de soja necessita de 101000 joules de energia solar equivalente (seJ) para produzir um joule de soja. O sistema de produção biodiesel precisa de mais energia solar equivalente (390000 seJ) para produzir cada joule biodiesel, pois é também adicionada a energia solar empregada nos processos de transporte e processamento.

Desta forma, os valores de transformidade e energia específica crescem significativamente (aproximadamente 3,9 vezes maior) da soja para o biodiesel, assim como os demais indicadores de energia mostram pior desempenho ambiental devido aos fluxos de energia que sustentam as etapas de transporte e processamento do biodiesel. A transformidade de um determinado produto depende dos processos envolvidos na execução deste, podendo variar muito de acordo com as tecnologias e processos empregados na fabricação destes produtos. Assim, a transformidade pode ser utilizada para confrontar diferentes sistemas de produção que fabricam um mesmo produto,

auxiliando na escolha da alternativa mais adequada. O biodiesel de soja pode ser comparado com outros combustíveis baseando-se em seus indicadores de energia. A Tabela 19 mostra os valores de transformidade calculadas neste trabalho e de algumas fontes de energia selecionadas na literatura.

Tabela 19: Valores de transformidade calculadas para a soja e o biodiesel de soja e de algumas fontes de energia selecionadas.

<b>Produto</b>	<b>Transformidade (seJ/J)</b>	<b>Referência</b>
Carvão	6,70E+04	Odum, 1996
Gás natural	8,04E+04	Odum, 1996
Petróleo	9,05E+04	Odum, 1996
Diesel, gasolina	1,11E+05	Odum, 1996
Etanol de cana-de-açúcar	1,86 E+05-3,15E+05	Giampietro e Ulgiati, 2005
Biodiesel de girassol (Itália)	2,31E+05	Giampietro e Ulgiati, 2005
Biodiesel de soja (Brasil)	3,90E+05	Este estudo
Biodiesel de soja (Itália)	1,6E+05	Carrareto et al., 2004
Biodiesel <sup>a</sup>	2,7E+05	Ulgiati, 2001
Etanol de cana-de-açúcar (Brasil)	1,03E+05	Bastianoni e Marchettini, 1996
Etanol de cana-de-açúcar (USA)	9,30E+04-1,4E+05	Bastianoni e Marchettini, 1996

<sup>a</sup>Valor médio entre biodiesel de girassol, soja e canola.

O biodiesel de soja apresentou maior valor de transformidade em comparação com os valores das outras fontes de energia selecionados da literatura. Pode-se estabelecer que os processos naturais para produzir combustível fóssil foram mais eficientes que os outros processos humanos para produzir biocombustíveis da literatura. A razão para isso é de que a produção de soja é fortemente dependente dos combustíveis fósseis. Os altos valores de transformidade do biodiesel de soja sugerem que converter óleo de soja em combustível não é um uso apropriado para este recurso.

Desta forma, baseando-se no resultado de eficiência emergética (transformidade), a produção de biodiesel de soja não é tão eficiente quanto aos recursos energéticos não renováveis. Ainda, os resultados também mostram que o biodiesel de soja é menos eficiente que os outros biocombustíveis encontrados na literatura. Porém, a produção de biocombustíveis pode ser uma alternativa para fornecimento de energia em um futuro com menos disponibilidade de combustíveis fósseis. Porém, a produção agrícola de soja para biocombustíveis deve ser planejada dentro de uma escala e modo de produção mais sustentável.

O índice de rendimento de energia (EYR) mede a habilidade do processo de contribuir com o sistema econômico pela amplificação do investimento de energia. Quanto maior o valor de EYR, maior é o retorno do investimento econômico feito no sistema produtivo e, portanto, mais vantajoso é este sistema. A Tabela 20 apresenta os valores de rendimento de energia (EYR) do biodiesel de soja comparadas com outras fontes de energia selecionadas na literatura. O valor para o biodiesel de soja foi de apenas 1,80 enquanto que este valor varia de 3,2 a 10,5 para os combustíveis fósseis (porém, estes valores vem caindo devido à menor disponibilidade e maior custo de extração do petróleo e outros combustíveis fósseis) e 4,6 para a energia nuclear. O biodiesel de soja fornece muito menos energia líquida para a sociedade em comparação com as fontes de energia não renováveis. Mas como ressaltado anteriormente, o valor de EYR do biodiesel pode ser melhorado se for produzido em sistemas mais sustentáveis através da redução da quantidade de recursos econômicos utilizados pelo sistema, principalmente, em sua fase agrícola que é a que utiliza maior quantidade de recursos (de acordo com o mostrado adiante na Figura 12). Por outro lado, o biodiesel de soja apresentou maior rendimento líquido de energia do que o etanol de cana-de-açúcar e o óleo de palma calculados por Odum (1996) e semelhante ao etanol de cana-de-açúcar no Brasil calculado por Bastianoni e Marchettini (1996).

Tabela 20: Valores índice de rendimento de energia (EYR) calculadas para a soja e o biodiesel de soja e de algumas fontes de energia selecionadas.

<b>Produto</b>	<b>EYR</b>	<b>Referência</b>
Petróleo	3,2	Odum, 1996
Gás natural	10,3	Odum, 1996
Diesel, gasolina	8,4	Odum, 1996
Carvão	10,5	Odum, 1996
Energia nuclear	4,6	Odum, 1996
Madeira	12,0	Odum, 1996
Soja	1,80	Este estudo
Biodiesel de soja	1,62	Este estudo
Óleo de palma	1,06	Odum, 1996
Etanol de cana-de-açúcar (Brasil)	1,14	Odum, 1996
Etanol de cana-de-açúcar (Brasil)	1,62	Bastianoni e Marchettini, 1996
Etanol de cana-de-açúcar (USA)	1,86-3,38	Bastianoni e Marchettini, 1996

A Taxa de Investimento Emergético (EIR) indica a relação entre a energia proveniente de sistemas econômicos externos (F) e a energia obtida nos ecossistemas locais (R+N). Quanto maior o valor de EIR, maior a dependência de recursos da economia. O valor de

EIR obtido para o biodiesel de soja foi de 1,60. Segundo Odum (1996), o valor do EIR para o Brasil é de 0,70 e a média mundial é de 1,10. Isso significa que a produção de biodiesel de soja necessita de mais recursos da economia do que a média nacional e mundial, indicando que é uma atividade bastante dependente de recursos econômicos externos.

A Tabela 21 apresenta os valores de investimento de energia (EIR) do biodiesel de soja calculadas neste trabalho que foram comparadas com outras atividades encontradas na literatura. A produção de biodiesel de soja é menos dependente dos recursos da economia que a produção de cítrus, arroz e trigo na Itália, de algodão nos USA e também do que etanol de cana-de-açúcar e óleo de palma no Brasil calculados por Odum (1996). A produção de forragem na Itália e a silvicultura no Brasil são exemplos de atividades que requerem menor relação de recursos da economia com os da natureza do que a produção de biodiesel de soja assim como o etanol de cana-de-açúcar nos EUA calculados por Bastianoni e Marchettini (1996).

Tabela 21: Valores índice de investimento de energia (EIR) calculadas para a soja e o biodiesel de soja e de algumas atividades selecionadas.

<b>Atividade agrícola</b>	<b>EIR</b>	<b>Referência</b>
Silvicultura madeira tropical (Brasil)	0,85	Odum, 1996
Forragem (Itália)	1,32	Odum, 1996
Arroz (Itália)	2,7	Odum, 1996
Trigo (Itália)	3,2	Odum, 1996
Algodão (USA)	9,6	Odum, 1996
Cítrus (Itália)	11,2	Odum, 1996
Soja (Brasil)	1,25	Este estudo
Biodiesel de soja (Brasil)	1,60	Este estudo
Etanol de cana-de-açúcar (Brasil)	7,0	Odum, 1996
Óleo de palma (Brasil)	17	Odum, 1996
Etanol de cana-de-açúcar (Brasil)	1,61	Bastianoni e Marchettini, 1996
Etanol de cana-de-açúcar (USA)	0,42-1,17	Bastianoni e Marchettini, 1996

Os resultados do índice de carga ambiental (ELR) mostrados na Tabela 22 sugerem que o biodiesel de soja utiliza cerca de 2,3 vezes mais recursos não renováveis (F+N) do que renováveis, enquanto que a soja utiliza 1,8 vezes mais recursos não renováveis do que renováveis. Quanto maior o uso de recursos não renováveis, externos (F) ou locais (N), maior o risco de indisponibilizar recursos energéticos para as futuras gerações. Quanto maior o valor de ELR maior a diferença do modelo de desenvolvimento adotado em relação aos sistemas naturais (que poderiam ser desenvolvidos localmente). O ELR pode

claramente diferenciar os recursos renováveis dos não renováveis, por isso complementa a informação da transformidade. Segundo Ulgiati e Brown (2004), valores de ELR entre 2 e 10 (que é o caso da produção de biodiesel de soja) indicam que o sistema produz impactos moderados no meio ambiente ou dispõe de uma área de ecossistema local para diluir os impactos produzidos. A produção de biodiesel de soja no Brasil causa menor pressão no ambiente do que o etanol de cana-de-açúcar no Brasil e nos EUA calculados por Bastianoni e Marchettini (1996).

Tabela 22: Valores índice carga ambiental (ELR) calculadas para a soja e o biodiesel de soja e de algumas atividades selecionadas.

<b>Atividade agrícola</b>	<b>ELR</b>	<b>Referência</b>
Soja (Brasil)	1,81	Este estudo
Biodiesel de soja (Brasil)	2,26	Este estudo
Etanol de cana-de-açúcar (Brasil)	3,27	Bastianoni e Marchettini, 1996
Etanol de cana-de-açúcar (USA)	1,57-6,04	Bastianoni e Marchettini, 1996

A renovabilidade da soja que é de 35,6% cai para 30,7% para o biodiesel. Isso significa que mais de dois terços da energia usada para a produção de biodiesel vem de fontes não renováveis. Este valor mostra quantitativamente que o biodiesel não é um combustível renovável e que a sua produção depende fortemente do uso de recursos não renováveis derivados dos combustíveis fósseis. Porém, de qualquer forma, os 30,7% de renovabilidade do biodiesel são melhores do que os combustíveis fósseis que são considerados recursos totalmente não renováveis.

Segundo Brown e Ulgiati (2004) os valores de EIS calculados para a soja e ao biodiesel de soja indicam sistemas ou processos consumidores de recursos e bastante desenvolvido orientado para o consumo. A soja fornece uma unidade de recursos líquidos ao consumidor para cada unidade de carga ambiental exercida no meio ambiente. Para o biodiesel de soja esta valor cai para 0,85.

A concentração de potência emergética (ED) aumenta da produção de soja para a produção de biodiesel de soja. Valores altos de ED caracterizam centros de cidades e zonas industriais enquanto valores mais baixos de ED são calculados para áreas rurais e de ecossistemas naturais.

O valor de EER obtido para a soja foi de 2,66. Para o biodiesel de soja este valor sobe para 4,15. Isso significa que os produtores de biodiesel estão entregando mais de quatro vezes mais energia com o biodiesel vendido do que recebendo com a energia do dinheiro pago por ele. Os valores de EER do biodiesel de soja indicam que este produto deveria ter um preço mais alto para poder pagar pela energia usada para produzi-lo.

A Figura 12 mostra o fluxo equivalente de materiais, energia incorporada, energia utilizada e CO<sub>2</sub> equivalente liberado em cada fase do ciclo de vida de produção do biodiesel de soja. Esta figura mostra que o estágio de produção agrícola é a etapa mais importante no ciclo de vida da produção de biodiesel de soja, uma vez que esta etapa utiliza a maior parte dos recursos materiais, da energia, da energia e também é a etapa onde é liberada maior quantidade de CO<sub>2</sub>. Neste sentido, as políticas públicas para a produção de um biodiesel mais sustentável devem ser voltadas principalmente para a fase de produção agrícola de soja por representar maior influência nos resultados e maior potencial para mudanças significativas.

O biodiesel é um combustível renovável por definição, visto que é proveniente de fontes renováveis (vegetais). A sustentabilidade, ou seja, a disponibilidade deste combustível a longo prazo depende, entre outros fatores, do emprego racional dos recursos provenientes da economia (uma vez que estes recursos são, em sua maioria, não renováveis) em seus processos de produção agrícola, transporte e processamento. De maneira geral, o uso indiscriminado de recursos não renováveis, provenientes tanto de sistemas econômicos externos quanto dos sistemas naturais locais, revela a baixa sustentabilidade do biodiesel de soja. Enquanto as etapas de produção agrícola e processamento do biodiesel estiverem sustentadas por combustíveis fósseis na forma de insumos químicos, bens e energia de processo, a fração da energia que é na verdade renovável é muito baixa (em torno de 31%). Por outro lado, se uma fração é usada para realimentar o processo, para torná-lo independente dos combustíveis fósseis, a demanda de áreas agrícolas, água, fertilizantes e agrotóxicos é ampliada correspondentemente, desta forma aumentando a competição pelo uso dos mesmos recursos.

A forte dependência dos recursos econômicos (F) pode ser observada em todos os indicadores obtidos na avaliação do sistema de produção do biodiesel de soja. A fase agrícola da cultura da soja tem expressiva influência nestes resultados. A prática agrícola mais empregada no cultivo da soja brasileira é caracterizada pelo intenso uso de herbicidas, fertilizante, agrotóxicos e maquinário agrícola. A utilização excessiva ou

inadequada destes recursos econômicos, embora a curto prazo possa assegurar a produtividade agrícola, eleva os custos de produção e causa prejuízos intensos ao meio ambiente como mostrado quantitativamente nos indicadores resultantes deste trabalho.

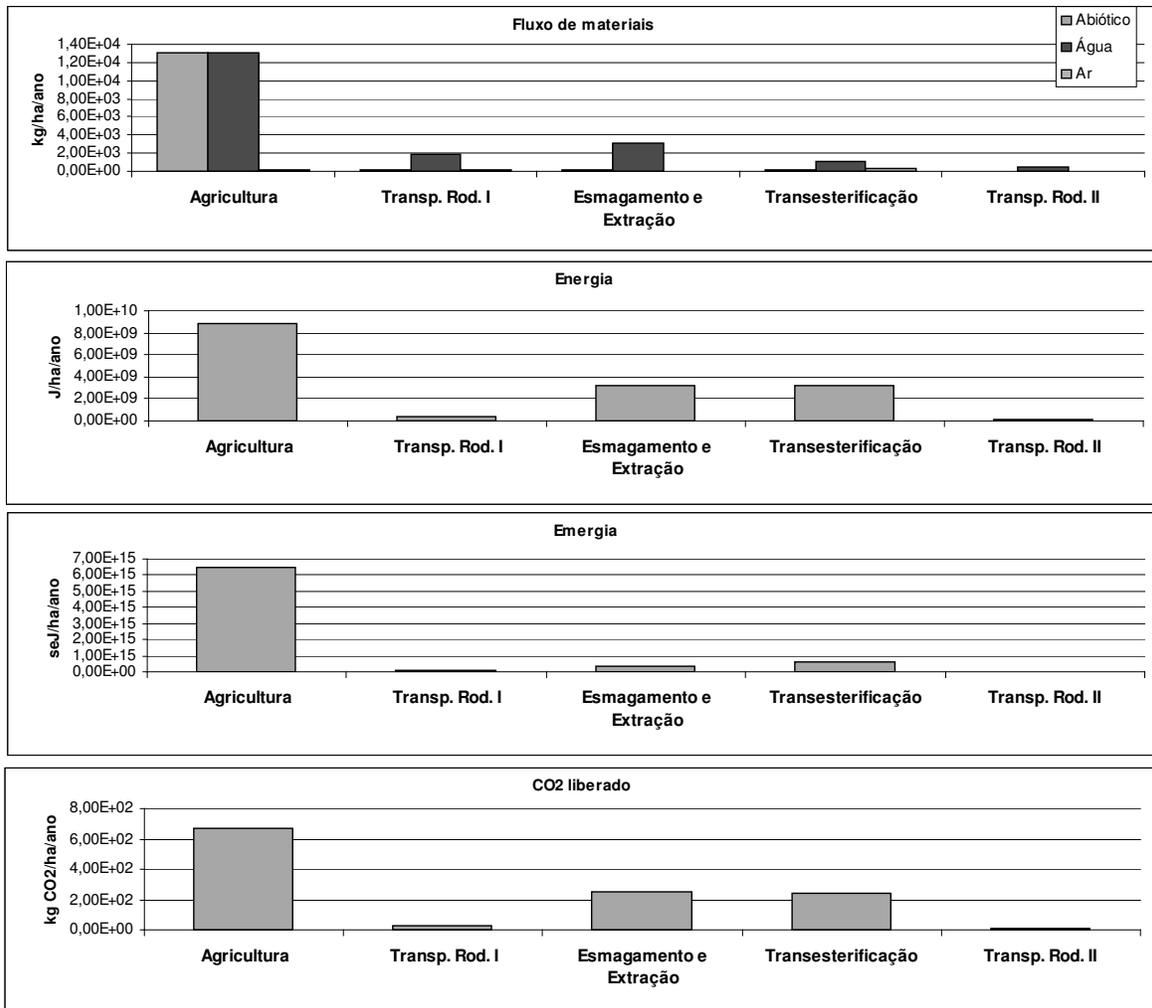


Figura 12: Fluxo equivalente de materiais, energia incorporada, energia utilizada e CO<sub>2</sub> liberado em cada fase do ciclo de vida de produção do biodiesel de soja.

### 5.2.7 Estimativa da capacidade de carga do biodiesel de soja usando a Produtividade Líquida Primária (NPP)

Como já citado anteriormente, os biocombustíveis absorvem aproximadamente a mesma quantidade de CO<sub>2</sub> que é emitida durante o processo de combustão (Ulgiati, 2001; Beeharry, 2001; Yoshida et al., 2003). Entretanto, isso não é suficiente uma vez que o processo deve se responsabilizar também com os recursos não renováveis (sustentados

por combustíveis fósseis) usados pelo processo de produção do biodiesel como mostrado no diagrama da Figura 13. A etapa agrícola de produção de biodiesel deveria ter uma composição diferente, considerando também uma área de floresta capaz de absorver também os impactos ambientais (emissões de CO<sub>2</sub> e outros impactos) causado pelo consumo de recursos não renováveis no processo de produção como mostrado no esquema da Figura 14.

O valor da estimativa da capacidade de carga do processo de produção de biodiesel de soja usando a produtividade líquida primária (SA<sub>NPP</sub>) é 2,5 ha de área de floresta para cada ha de área agrícola de soja para biodiesel. Segundo estes cálculos, são necessários manter 71% de floresta e cultivar apenas 29% para absorver os impactos ambientais causados pelo consumo de recursos não renováveis no processo de produção de biodiesel de soja. Este valor calculado está bem acima do que a legislação ambiental brasileira estabelece nas áreas de Cerrado (que é de apenas 35%).

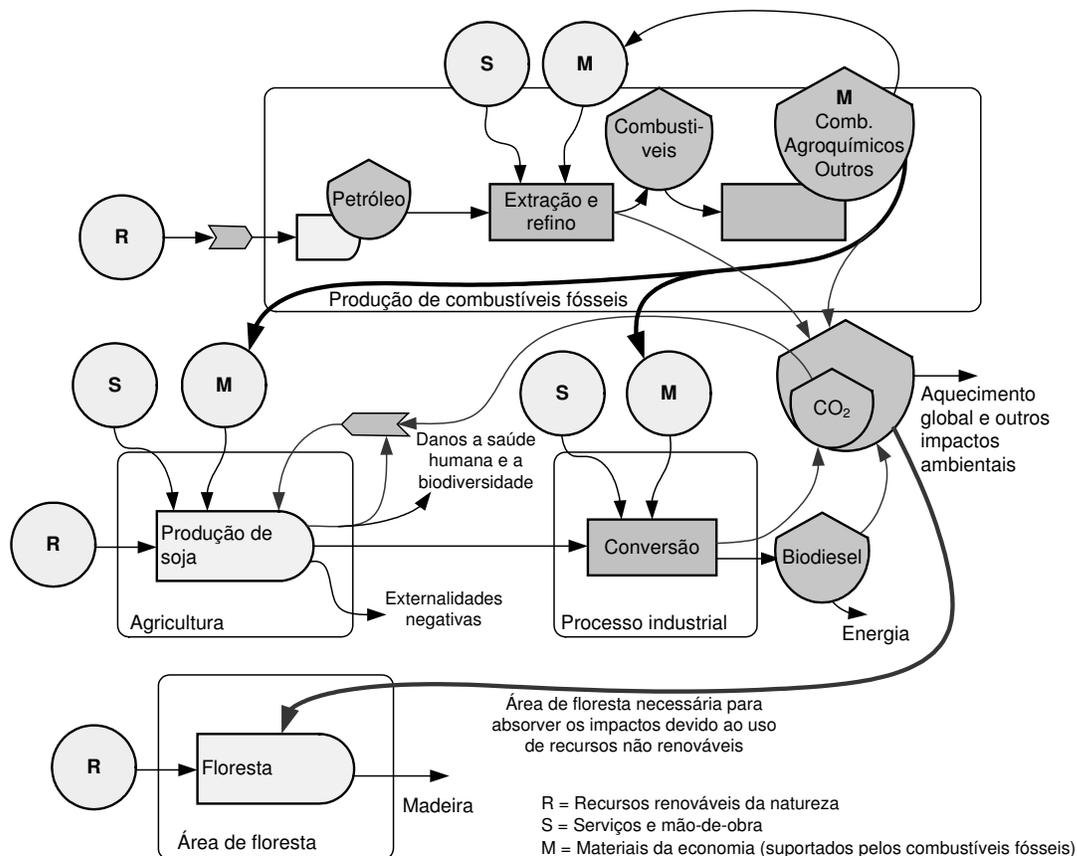


Figura 13: Diagrama sistêmico do processo de produção de biodiesel de soja.

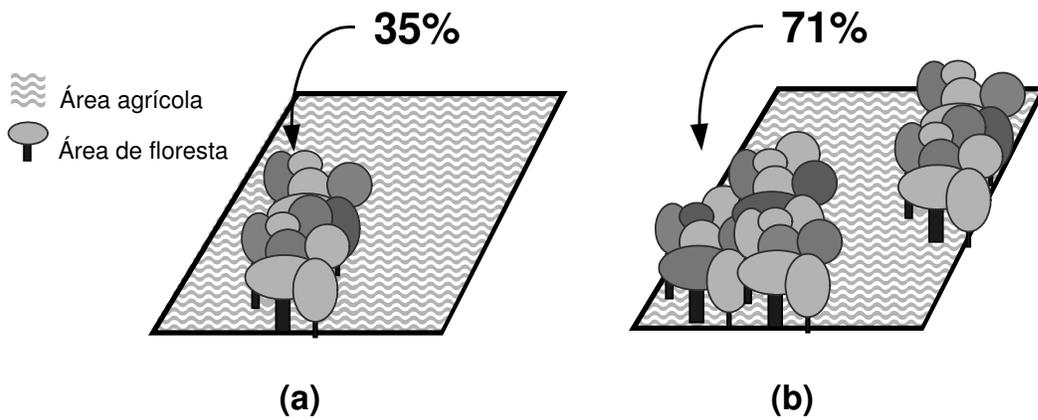


Figura 14: Esquema do modelo convencional de monocultura agrícola de produção de soja para biodiesel (a) e do modelo de produção de soja para biodiesel considerando uma área de suporte para absorver os impactos ambientais devido ao uso de recursos não renováveis no processo de produção de biodiesel de soja (b).

### **5.3 Análise do ciclo de vida da soja exportada para a União Européia**

Nesta avaliação foram contabilizados todos os processos envolvidos do ciclo de vida do farelo de soja exportado para a Europa e para o óleo de soja refinado. As fases compreendidas no processo de produção e exportação do farelo de soja são: produção agrícola, transporte até a indústria de esmagamento, processamento industrial para obtenção de óleo de soja e farelo de soja, transporte ferroviário até o porto de exportação, transporte marítimo com navio cargueiro do Brasil para a Europa, transporte do porto Europeu até a indústria de ração animal. As fases compreendidas no processo de produção de óleo de soja refinado são: produção agrícola, transporte até a indústria de esmagamento, processamento industrial para obtenção de óleo de soja e farelo de soja, processo de refino do óleo de soja e transporte até o consumidor final.

De acordo com os valores da Tabela 3, o total de farelo de soja exportado do Brasil em 2004 foi de aproximadamente 14,5 milhões de toneladas. Além do farelo, o país exportou no mesmo ano mais de 19,5 milhões de toneladas de soja em grão. A China e União Européia são os principais importadores de soja e farelo de soja brasileiros (Tabela 4). Estima-se que o destino de 70% da soja e farelo de soja brasileiros exportados sejam a União Européia (considerando-se 25 países) (Cordeiro, 2000; Gelder e Dros, 2005; WWF, 2003). Desta forma, a estimativa é de que 13,7 milhões de toneladas de soja e 10,2 milhões de toneladas de farelo de soja são exportados anualmente do Brasil para a União Européia.

O resumo dos indicadores de massa e de energia calculados para a produção de soja, produção de óleo de soja refinado e produção e exportação de farelo de soja estão mostrados na Tabela 23. Esses indicadores foram calculados a partir das tabelas de balanço de massa e energia no Anexo 9.1 (Tabela 34 e Tabela 35). A partir de uma suposição conservadora de que o consumo de soja e de farelo de soja na Europa estivesse mantido-se estável desde 2004 é possível estimar o impacto global gerado devido à soja e ao farelo de soja importados do Brasil pela União Européia a partir das avaliações de intensidade de materiais, energia e emergia.

Tabela 23: Indicadores de intensidade de material e energia para a produção de soja, produção de óleo de soja refinado e produção e transporte de farelo de soja (alocação pela massa).

Indicador	Soja	Farelo de soja	Óleo de soja	Unidade <sup>a</sup>
Perda de solo	6,00	6,00	5,41	kg/FU
Demanda bruta de petróleo	0,07	0,24	0,11	kg/FU
Demanda de fertilizante químico	0,139	0,139	0,125	kg/FU
Demanda de agrotóxicos	0,003	0,003	0,003	kg/FU
Água (direta)	6056	6057	5459	kg/FU
Diesel (direta)	0,019	0,141	0,039	kg/FU
Eletricidade (direta)	0,012	0,042	0,049	kWh/FU
Intensidade de materiais, abiótico	4,62	6,13	4,36	kg/FU
Intensidade de materiais, água	6060	6074	5465	kg/FU
Intensidade de materiais, ar	0,04	1,31	0,17	kg/FU
Intensidade de materiais, biótico	0,24	0,24	0,22	kg/FU
Entrada total de materiais (incluindo água)	6065	6082	5470	kg/FU
Demanda de trabalho	0,005	0,007	0,007	h/FU
Demanda de área agrícola	3,53	3,53	3,18	m <sup>2</sup> /FU
Entrada total de energia	3,12	9,92	5,72	MJ/FU
Rendimento líquido de energia	19,48	56,29	30,44	MJ/FU
Rendimento líquido de energia (ha/ano)	55181	12961	17216	MJ/ha ano
Rendimento líquido de energia por hora de trabalho	3679	841	4521	MJ/h
Saída/entrada de energia fóssil	7,24	1,57	7,87	
Razão líquida/bruta de energia fóssil	0,86	0,36	0,87	

<sup>a</sup>A unidade funcional (FU) para a soja é kg de soja, para o farelo é kg de farelo de soja e para o óleo de soja é litro de óleo de soja refinado.

### 5.3.1 Fluxos de massa e energia da exportação de soja e farelo de soja

Os 13,7 milhões de toneladas de soja e 10,2 milhões de toneladas de farelo de soja que são exportados anualmente do Brasil para a União Européia demandam, de forma direta, 144,1 bilhões de toneladas de água, 1,7 milhões de toneladas de diesel e 589 milhões de kWh de energia elétrica por ano. Considerando-se ainda a demanda de materiais de forma indireta calculada a partir da análise de intensidade de materiais (Tabela 34), são necessários em escala global 125,3 milhões de toneladas de material abiótico, 144

bilhões de toneladas de água, 13,8 milhões de toneladas de ar e 5,7 milhões de toneladas de material biótico por ano.

O custo energético total da produção e processamento da soja exportada calculado foi de  $1,43E+17$  J. Como comparação, o uso total de energia no Brasil em 1999 foi de aproximadamente  $5,33E+18$  J (Ulgiati, 2005). A quantidade de energia equivalente gasta com a soja exportada para a Europa é correspondente a 2,68% do uso total de energia no Brasil em 1999.

Este mercado de soja e farelo de soja requer uma quantidade de energia incorporada de forma direta e indireta nos *inputs* correspondente à 3,31 milhões de toneladas de petróleo equivalente. A produção média de petróleo no Brasil é de  $2,40E+08$  kg dia<sup>-1</sup> (Diário do Nordeste, 2007). Sendo assim, são utilizados de forma direta e indireta na manutenção das exportações de soja e farelo de soja do Brasil para a União Européia uma quantidade de petróleo equivalente a 14,2 dias de extração. Por outro lado, para a produção total de soja no Brasil em 2004 (23,3 milhões de toneladas de grão, usando a mesma estimativa anterior) são necessários uma quantidade de petróleo equivalente a 20,5 dias de extração de petróleo.

### **5.3.2 Perda de solo e nutrientes e uso de agrotóxicos relacionados a exportação de soja e farelo de soja**

Os resultados do balanço de massa mostram que a quantidade de solo perdida por erosão devido à exportação de soja e farelo de soja do Brasil para a União Européia é de aproximadamente 143 milhões de toneladas por ano. A demanda de área no Brasil para produzir esta quantidade de soja é equivalente à 8,4 milhões de hectares. Ou seja, a União Européia mantém uma área igual a 28% da área da Itália ou mais de 2 vezes a área da Holanda no Brasil para sustentar seu padrão de consumo de proteína animal alimentada com farelo de soja brasileiro.

O Brasil exporta para Europa com a soja e o farelo de soja cerca de 1,49 milhões de toneladas de nitrogênio e 0,16 milhões de toneladas de fósforo por ano que posteriormente devem ser repostos no ano seguinte com o uso de fertilizantes químicos. O nitrogênio que é exportado a princípio não seria um problema para o Brasil à medida que é fixado da atmosfera pela planta da soja por meios biológicos e por isso não é necessário que ele seja adicionado por meio de fertilizantes químicos como no caso do

fósforo e do potássio. Porém, de qualquer forma, este é um recurso renovável que o Brasil esta exportando e que poderia ser utilizado localmente. O custo aproximado em fertilizantes químicos fosfatados para a reposição do fósforo exportado é de 1,74 bilhões de dólares por ano. No caso avaliado da produção, processamento, transporte e exportação de soja e de farelo de soja do Brasil para a Europa são necessários aproximadamente 3,3 milhões de toneladas de fertilizantes químicos e 67232 toneladas de agrotóxicos por ano. Desta forma, estes resultados mostram que a soja tem um papel emblemático na perda de solo por erosão, no uso de agrotóxicos e nas tendências de desmatamento no país.

### 5.3.3 Aspectos econômicos e sociais da exportação de soja e farelo de soja

Os resultados da Tabela 24 mostram que o custo médio de produção da soja calculado foi de 498 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A receita bruta média em 2005 foi de 653 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, ou seja, 31% de margem de lucro. Porém, se o sistema de produção de soja tivesse de pagar pelas externalidades negativas e perda de serviços ambientais produzidas devido ao seu processo de produção a sua margem de lucro seria negativa ( $L_{EX}\% = -38\%$ ).

Tabela 24: Indicadores econômicos e sociais calculados para a produção de soja, farelo e óleo de soja.

	Soja	Farelo	Óleo	Unidade
<b>Indicadores econômicos</b>				
Produtividade unitária	2832	2302	498	kg/ha/ano
Custo total de produção	498,00	439,20	289,24	US\$/ha/ano
Receita bruta	652,78	563,38	342,94	US\$/ha/ano
Receita líquida	154,78	124,19	53,70	US\$/ha/ano
Receita líquida considerando as externalidades e serviços ambientais ( $R_{EX}$ ):	-190,22	-85,22	-76,81	US\$/ha/ano
Margem de lucro (L%):	31%	28%	19%	
Margem de lucro considerando as externalidades e serviços ambientais ( $L_{EX}\%$ ):	-38%	-19%	-27%	
<b>Indicadores sociais</b>				
Empregos gerados	0,0063	0,0044	0,0028	Trabalhador/ha ano
Uso de mão-de-obra	2,34E-10	2,92E-10	3,41E-10	h/J de produto

O custo de produção calculado para o farelo de soja na porta da unidade esmagadora (somatório do custo de produção de cada etapa alocado pelo preço) foi de 439 US\$ ha<sup>-1</sup>

ano<sup>-1</sup>. A receita bruta com a venda deste produto foi 563 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Estes valores garantem a unidade esmagadora uma margem de lucro de 28%. Considerado o pagamento das externalidades negativas produzidas a margem de lucro cairia para -19%. Os custos de transporte até o porto de exportação mais o transporte naval e o transporte rodoviário depois do porto europeu aumentam o custo do farelo em 140 US\$ ton<sup>-1</sup>.

O custo de produção calculado para o óleo de soja refinado (somatório do custo de produção de cada etapa alocado pelo preço) foi de 289 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A receita bruta com a venda deste produto na porta da fábrica foi 343 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e garante a unidade de refino uma margem de lucro de 19%. Considerado no cálculo o pagamento das externalidades negativas produzidas a margem de lucro cai para -27%.

A avaliação econômica baseada na análise de custo e retorno apenas revela a lucratividade econômica em uma perspectiva de curto prazo. Os resultados mostram que a produção de soja fornece uma baixa lucratividade aos produtores com os preços atuais dos produtos da soja e dos insumos. Além disso, estes valores de lucratividade da soja estão sujeitos a grandes alterações a cada safra devido a quebras na produção devido a pragas e fatores climáticos e também ao preço da soja que é dependente da conjuntura econômica mundial. De qualquer forma, a prática atual de produção de soja é caracterizada pelo uso intenso de agrotóxicos, fertilizantes químicos e maquinário agrícola. O uso excessivo ou inadequado destes recursos econômicos, pelo menos a curto prazo pode assegurar a produtividade das lavouras, mas aumenta o custo de produção e produzem grandes impactos no meio ambiente. Por isso, os resultados da Tabela 24 mostram que quando o pagamento das externalidades negativas é considerado nos custos de produção, todos os produtos da soja apresentam uma margem de lucro negativa. Estes números mostram que os preços do sistema convencional de produção de soja não podem pagar pelos prejuízos ambientais causados pelo sistema produtivo. Por isso, os preços correntes da soja convencional estão subsidiados pelo não pagamento das externalidades negativas e perda de serviços ambientais e, desta forma, é a sociedade de um modo geral que está pagando por estes prejuízos ambientais.

### **5.3.4 Emissões aéreas e efluentes da exportação de soja e farelo de soja**

Os resultados da Tabela 25 mostram que são liberados aproximadamente 0,24 kg de CO<sub>2</sub> por kg de soja, 0,34 kg de CO<sub>2</sub> por litro de óleo de soja produzido e 0,76 kg de CO<sub>2</sub> por kg

de farelo de soja exportado. Os processos de produção e processamento liberam 0,72 litros de efluentes líquidos por kg de farelo de soja. Os *inputs* utilizados para o ciclo de vida da soja exportada (13,7 milhões de toneladas de soja e 10,2 milhões de toneladas de farelo de soja) anualmente do Brasil para a União Européia emitem aproximadamente 10,9 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>.

Segundo o mais recente relatório do IPCC o Brasil é o quarto maior emissor mundial de gases do efeito estufa por conta do desmatamento perdendo anualmente até 26 mil quilômetros quadrados de florestas e gerando cerca de 400 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (Mitchell et al., 2007). Sendo assim, O uso de recursos para a manutenção da exportação de soja para a Europa emite uma quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente a 2,7% do que o país emite anualmente de CO<sub>2</sub> com queimadas.

Tabela 25: Quantidade de gases de efeito estufa e efluentes liberados para a soja, farelo de soja e óleo de soja refinado.

Indicador	Valor	Unidade	Valor	Unidade
<b>Soja</b>				
CO <sub>2</sub>	0,238	kg CO <sub>2</sub> /kg <sub>soja</sub>	673,2	kg CO <sub>2</sub> /ha ano
NOx	0,004	kg NOx/kg <sub>soja</sub>	11,6	kg NOx/ha ano
VOC	0,001	kg VOC/kg <sub>soja</sub>	1,7	kg VOC/ha ano
CO	0,002	kg CO/kg <sub>soja</sub>	4,7	kg CO/ha ano
<b>Farelo de soja</b>				
CO <sub>2</sub>	0,755	kg CO <sub>2</sub> /kg <sub>farelo</sub>	1737,2	kg CO <sub>2</sub> /ha ano
NOx	0,013	kg NOx/kg <sub>farelo</sub>	29,9	kg NOx/ha ano
VOC	0,002	kg VOC/kg <sub>farelo</sub>	4,4	kg VOC/ha ano
CO	0,005	kg CO/kg <sub>farelo</sub>	12,1	kg CO/ha ano
Efluente industrial	0,719	litro efluente/kg <sub>farelo</sub>	1656,4	litro efluente/ha ano
<b>Óleo de soja</b>				
CO <sub>2</sub>	0,337	kg CO <sub>2</sub> /L <sub>óleo</sub>	195,3	kg CO <sub>2</sub> /ha ano
NOx	0,006	kg Nox/L <sub>óleo</sub>	3,4	kg NOx/ha ano
VOC	0,001	kg VOC/L <sub>óleo</sub>	0,5	kg VOC/ha ano
CO	0,002	kg CO/L <sub>óleo</sub>	1,4	kg CO/ha ano
Efluente industrial	1,385	litro efluente/L <sub>óleo</sub>	802,0	litro efluente/ha ano

Porém, o fator mais importante é que o aumento na exportação de farelo pode ser traduzido também como um aumento na demanda de áreas de cultivo de soja. A demanda por novas áreas de agricultura aumentam a pressão sobre a área agrícola na região norte do país e que são abertas freqüentemente com queimadas clandestinas. Portanto, um fator está intimamente relacionado ao outro e se amplificam mutuamente. Sendo assim, deve existir um limite para a produção de soja no país e se deve investir nas políticas públicas para o cumprimento da legislação ambiental em vigor para evitar

novas áreas agrícolas de soja na região norte impedindo as queimadas e preservando as áreas de florestas.

### 5.3.5 Avaliação emergética da exportação de soja e farelo de soja

A Figura 15 mostra os resultados das avaliações de intensidade de materiais, energia incorporada e avaliação emergética de todas as etapas do ciclo de vida da produção de farelo e óleo de soja, onde os *inputs* foram classificados em seis diferentes tipos: suporte ambiental, combustíveis fósseis, eletricidade, bens e mão-de-obra e serviços.

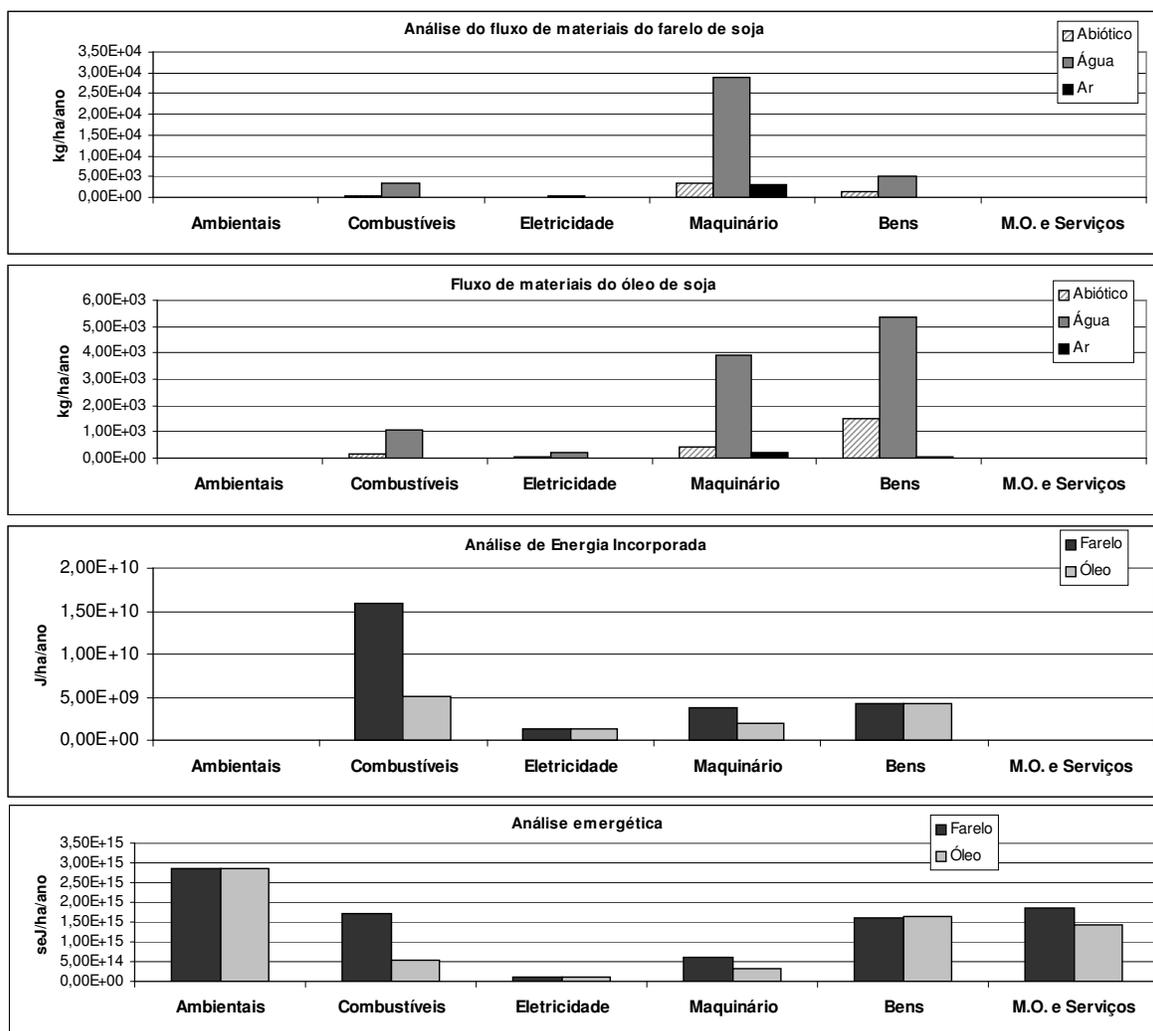


Figura 15: Comparação dos resultados obtidos com cada método de análise para o sistema de produção de óleo e farelo de soja considerando cada tipo de input.

A partir desta figura pode-se perceber que os fluxos ambientais e a mão-de-obra e serviços são as contribuições mais importantes em termos de energia usada pelos processos. Esta figura mostra a importância da metodologia emergética para a avaliação da sustentabilidade dos sistemas de produção agrícolas e industriais. Os resultados dos indicadores de energia da produção de soja, farelo de soja e óleo de soja estão apresentados na Tabela 26, Tabela 27 e Tabela 28, respectivamente.

Tabela 26: Resultados dos indicadores de energia da produção de soja.

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Transformidade (Tr)	1,01E+05	seJ/J
Energia específica	2,27E+12	seJ/kg
Razão de rendimento líquido de energia (EYR)	1,80	
Razão de carga ambiental (ELR)	1,81	
Renovabilidade (%R)	35,6%	%
Concentração de potência emergética (ED)	6,44E+11	seJ/m <sup>2</sup>
Razão de investimento de energia (EIR)	1,25	
Índice de intercâmbio de energia (EER)	2,66	
Indicador de sustentabilidade de energia (EIS)	1,00	

Tabela 27: Resultados dos indicadores de energia do farelo de soja.

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Transformidade (Tr)	2,45E+05	seJ/J
Energia específica	3,82E+12	seJ/kg
Razão de rendimento líquido de energia (EYR)	1,49	
Razão de carga ambiental (ELR)	2,83	
Renovabilidade (%R)	26,1%	%
Concentração de potência emergética (ED)	8,79E+11	seJ/m <sup>2</sup>
Razão de investimento de energia (EIR)	2,06	
Índice de intercâmbio de energia (EER) <sup>a</sup>	8,62	
Indicador de sustentabilidade de energia (EIS)	0,52	

<sup>a</sup> Uma vez que o farelo de soja é exportado para a Europa o seu EER deve ser calculado considerando o valor do emdólar da Europa (1,81 E+12 seJ US\$<sup>-1</sup>) (Ulgianti, 2001).

Tabela 28: Resultados dos indicadores de energia do óleo de soja.

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
Transformidade (Tr)	3,51E+05	seJ/J
Energia específica	1,39E+13	seJ/kg
Razão de rendimento líquido de energia (EYR)	1,71	
Razão de carga ambiental (ELR)	2,02	
Renovabilidade (%R)	33,1%	%
Concentração de potência emergética (ED)	6,93E+11	seJ/m <sup>2</sup>
Razão de investimento de energia (EIR)	1,41	
Índice de intercâmbio de energia (EER)	5,46	
Indicador de sustentabilidade de energia (EIS)	0,85	

A quantidade de soja exportada para a Europa corresponde a um fluxo de energia de  $62,5E+21 \text{ seJ ano}^{-1}$  de acordo com os fluxos de energia da soja e do farelo de soja mostrados na Tabela 36 do Anexo 9.1. Este valor é equivalente a 3,4 vezes toda a energia usada pelo setor agrícola da Suécia ( $18,5E+21 \text{ seJ ano}^{-1}$ ) (Johansson, 2005) ou 3,2 a energia usada pela agricultura da Dinamarca ( $19,7E+21 \text{ seJ ano}^{-1}$ ) (Haden, 2003). Desta forma, os fluxos de energia da soja exportada para a Europa são equivalentes a mais de 3 vezes os fluxos de energia que sustentam o setor agrícola Sueco.

A transformidade indica quanta energia solar o sistema precisa para produzir uma unidade de energia (joule) de um determinado produto. Assim, o sistema de produção agrícola de soja precisa de 101000 joules de energia solar equivalente (seJ) para produzir um joule de soja. Para produzir um joule de óleo de soja refinado são necessários 351000 seJ. Quanto ao farelo de soja, são necessários 245000 seJ para cada joule de farelo entregue na Europa, pois nesse caso é adicionado a energia solar empregada nos processos de produção, processamento e também as etapas posteriores de transporte até a Europa. Desta forma, os valores de transformidade e energia específica crescem significativamente da soja para o farelo de soja e para o óleo de soja refinado, assim como os demais indicadores de energia mostram pior desempenho ambiental devido aos fluxos de energia que sustentam as etapas de transporte e processamento do óleo e do farelo de soja.

É interessante ressaltar a importância no transporte naval no ciclo de vida do farelo de soja. Esta etapa de transporte representa quase 16% de toda a energia do farelo entregue na Europa. A etapa produção agrícola de soja é a etapa mais importante, representando mais de 73% da energia total utilizada.

O índice de rendimento de energia (EYR) mede a habilidade do processo de contribuir com o sistema econômico pela amplificação do investimento de energia. O valor para o farelo de soja foi de apenas 1,49 enquanto que este valor para a soja é de 1,80 e para o óleo de soja foi de 1,71. A soja disponibiliza mais energia líquida para a sociedade em comparação com o farelo e óleo de soja. O valor de EYR da soja (e conseqüentemente do farelo e óleo de soja) pode ser melhorado através da redução da quantidade de recursos econômicos utilizados pelo sistema, principalmente em sua fase agrícola.

O valor de EIR obtido para o farelo de soja foi de 2,06 enquanto que o valor para o Brasil é de 0,70 e a média mundial é de 1,10 (Odum, 1996). Isso significa que a produção e exportação de farelo de soja necessita de muito mais recursos da economia do que a

média nacional e mundial indicando que é uma atividade bastante dependente de recursos econômicos externos.

O índice de carga ambiental (ELR) sugere que farelo de soja utiliza cerca de 2,83 vezes mais recursos não renováveis (F+N) do que renováveis, enquanto a soja utiliza apenas 1,81 vezes mais recursos não renováveis do que renováveis. Quanto maior o uso de recursos não renováveis, externos (F) ou locais (N), maior o risco de indisponibilizar recursos energéticos para as futuras gerações. O ELR pode claramente diferenciar os recursos renováveis dos não renováveis, por isso complementa a informação da transformidade. Segundo Ulgiati e Brown (2004), valores de ELR entre 2 e 10, que é o caso do farelo de soja exportado, indicam que o sistema produz impactos moderados no meio ambiente ou poderia usar uma área de meio ambiente local para diluir estes impactos.

A renovabilidade da soja que é de 35,6% cai para 26,1% para o farelo de soja e 33,1% para o óleo de soja. Isso significa que aproximadamente 74% da energia usada para a produção processamento e exportação de farelo de soja vêm de fontes não renováveis. Este valor mostra quantitativamente que o ciclo de vida do farelo de soja depende fortemente do uso de recursos não renováveis derivados dos combustíveis fósseis.

Os valores de EIS indicam que a soja fornece uma unidade de recursos líquidos ao consumidor para cada unidade de carga ambiental exercida no meio ambiente. Para o farelo de soja este valor cai para 0,52 e para o óleo de soja cai para 0,85.

A concentração de potência emergética (ED) aumenta muito da produção de soja para a produção de farelo de soja e óleo de soja. Valores altos de ED caracterizam centros de cidades e zonas industriais enquanto valores mais baixos de ED são calculados para áreas rurais e de ecossistemas naturais.

Os valores de EER obtidos para a soja na porteira da fazenda e o mercado de farelo de soja entre o Brasil e a Europa são, respectivamente 2,66 e 8,62. Isso indica que os produtores de soja estão entregando 2,66 vezes mais energia com a soja vendida do que recebendo com a energia do dinheiro pago por ela. No caso do farelo de soja a situação é ainda muito pior para o Brasil. Isto significa que o país exporta muito mais energia do que recebe com o dinheiro pago pela soja que é exportada. A consequência disso é a contribuição para o esgotamento dos recursos naturais brasileiros. Os resultados mostram que o preço e do farelo de soja pago pela Europa deveria ser muito mais alto (mais de 8,6 vezes maior) do que é atualmente para pagar pela energia entregue com este produto.

Os valores de EER maiores para o farelo e óleo de soja do que para a soja em grão indicam que estes produtor deveriam ter um preço mais alto para um mercado mais justo. Usualmente, os sistemas agrícolas transferem energia para os sistemas urbanos. Odum (1996) relata valores de EER entre 5 e 10 para produtor agrícolas. Ainda, quando o mercado é conduzido entre nações, os fornecedores de matérias primas sempre dão ao comprador mais do que recebem na transação. Produtos mais refinados ou manufaturados tem um preço maior porque mais mão-de-obra e serviços são requeridos para fabricação do produto.

A Figura 16 e a Figura 17 mostram o fluxo equivalente de materiais, energia incorporada, energia utilizada e CO<sub>2</sub> equivalente liberado em cada fase do ciclo de vida de produção do farelo de soja exportado e do óleo de soja, respectivamente. Estas figuras mostram que o estágio de produção agrícola é a etapa mais importante no ciclo de vida tanto da produção de óleo de soja (Figura 17) quanto da produção de farelo de soja (Figura 16), uma vez que é a etapa que utiliza a maior parte dos recursos materiais, da energia e da energia e também é a etapa onde é liberada maior quantidade de CO<sub>2</sub>. Neste sentido, as políticas públicas para a produção de farelo e óleo de soja mais sustentáveis devem ser voltadas principalmente para a fase de produção agrícola de soja. Além disso, a etapa de transporte naval utiliza uma grande quantidade de recursos e emite uma grande quantidade de CO<sub>2</sub>, de acordo com os resultados mostrados na Figura 16 para a exportação de farelo de soja.

As etapas de produção, processamento e transporte de soja são dependentes de recursos da economia (F). Esta dependência pode ser observada em todos os indicadores obtidos nesta avaliação. A fase agrícola da cultura da soja têm expressiva influência nestes resultados. Neste último século, a intensidade de uso de recursos industriais na agricultura aumentou muito, visto que os sistemas agrícolas passaram a depender de diversos insumos (fertilizantes, agrotóxicos, etc.) e de tecnologia de ponta para assegurar a produtividade das lavouras. Uma grande parte destes recursos econômicos depende, direta ou indiretamente, da disponibilidade global de combustíveis fósseis e, também, da provisão de alguns minerais, ambos recursos não renováveis. A utilização excessiva ou inadequada destes recursos econômicos, embora a curto prazo possa assegurar a produtividade agrícola, eleva em demasia os custos de produção e causa intensos danos ao meio ambiente como mostrado quantitativamente nos indicadores resultantes deste trabalho.

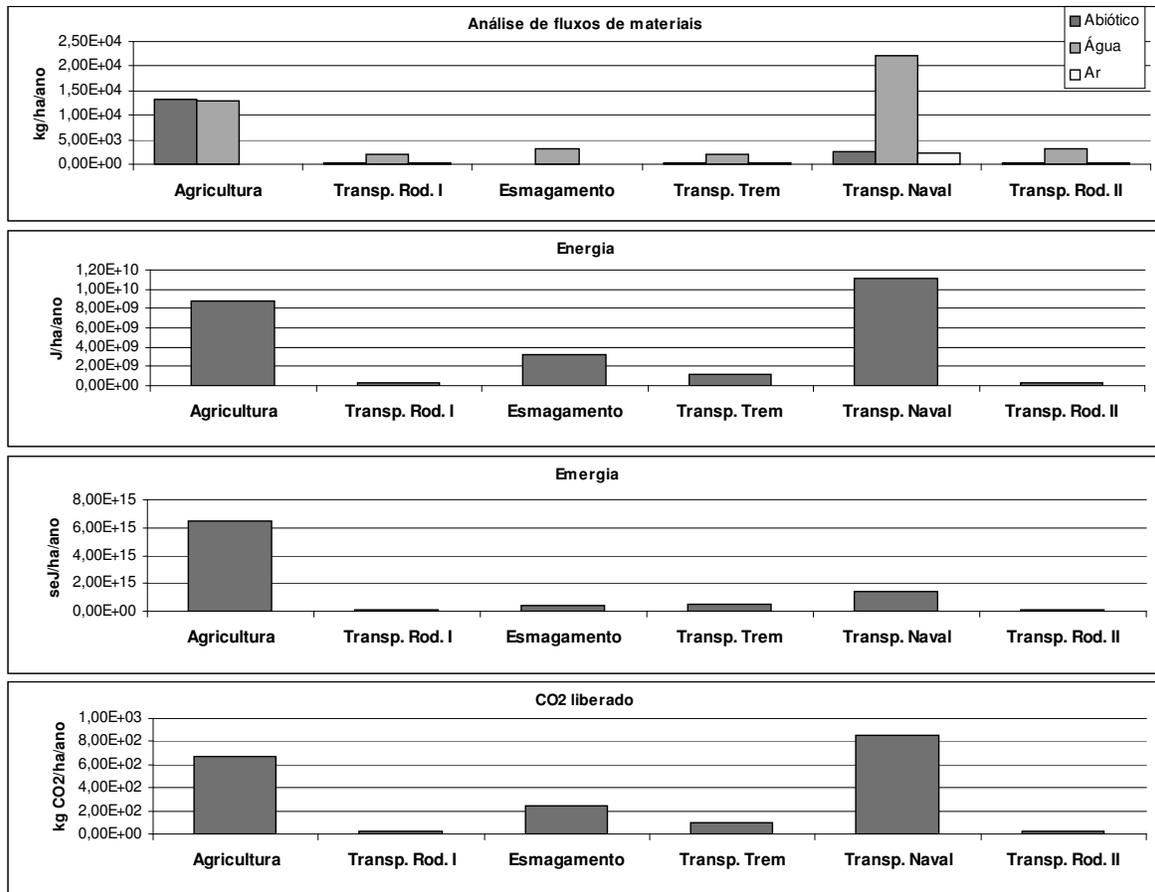


Figura 16: Fluxo equivalente de materiais, energia incorporada, energia utilizada e CO<sub>2</sub> equivalente liberado em cada fase do ciclo de vida de produção do farelo de soja exportado.

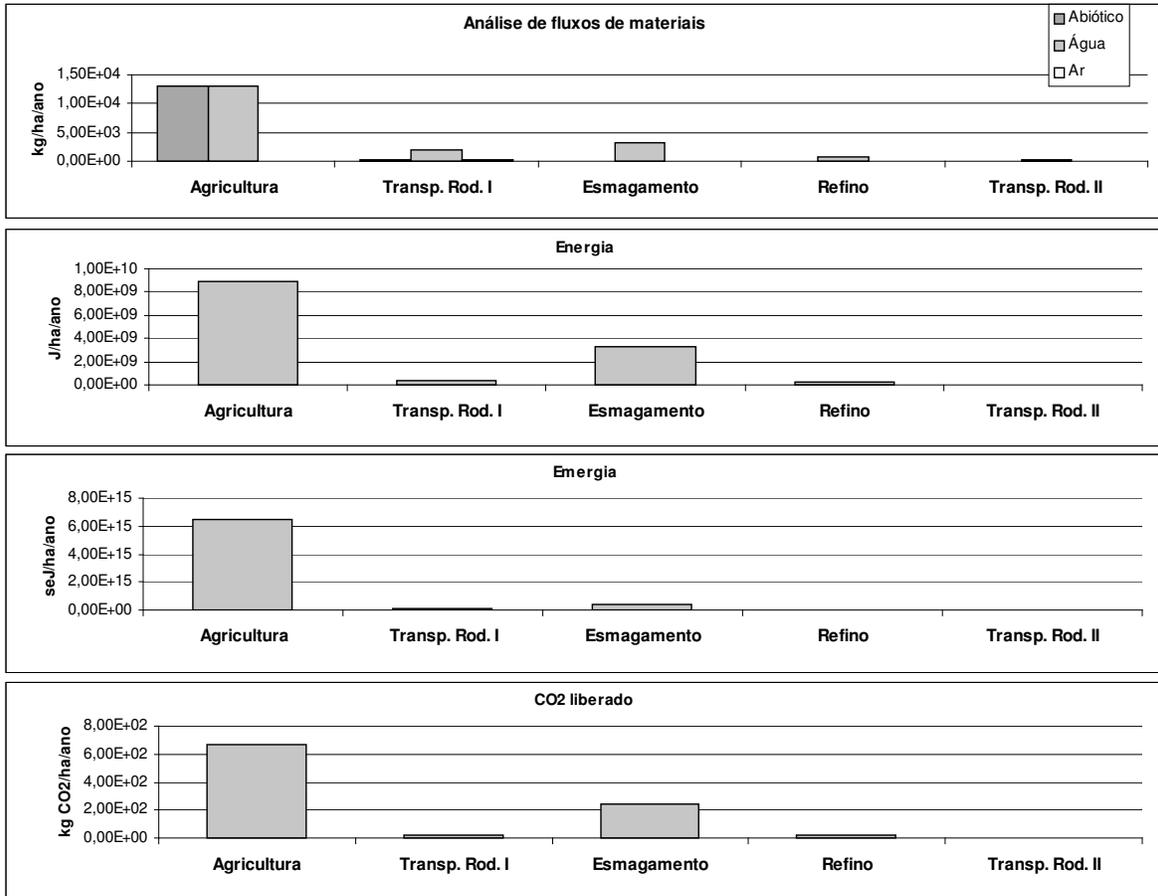


Figura 17: Fluxo equivalente de materiais, energia incorporada, energia utilizada e CO<sub>2</sub> equivalente liberado em cada fase do ciclo de vida de produção do óleo de soja.



## **5.4 Consumo de proteína animal na Europa e os impactos no Brasil**

O conteúdo de farelo de soja usado na formulação de ração animal é, em média, 14,7% (Hin, 2002; Werf et al., 2005). A conversão alimentar de bovinos é aproximadamente 16 kg ração por kg de carne, a de suínos é cerca de 6 kg ração por kg de carne e a de frangos é de 3 kg ração por kg de carne. O fator de conversão médio da carne, a partir de uma média simples, é 8,3 kg ração por kg de carne. Desta forma, produzir 1 kg de carne na Europa necessita de 8,3 kg de ração animal, que por sua vez contem 1,2 kg de farelo de soja (14,7%) na sua formulação e mais 7,1 kg de outros componentes. Estes outros componentes energéticos são principalmente trigo, milho, cevada ou ervilha que são produzidos regionalmente nos países europeus (Werf et al., 2005).

Sendo assim, pode-se estimar a demanda de matérias e energia e as emissões relativas ao farelo de soja utilizado para cada kg de carne produzido na Europa. Estes valores estão mostrados na Tabela 29 e foram calculados a partir das tabelas de balanço de massa e energia no Anexo 9.1 (Tabela 34 e Tabela 35) multiplicados pela relação de 1,2 kg de farelo de soja utilizado para cada kg de carne produzida. O consumo médio de carne nos países industrializados é de cerca de 80 kg por pessoa por ano, nos países ditos em desenvolvimento são consumidos apenas 28 kg por pessoa por ano em média (Novaes, 2004). A união europeia tem aproximadamente 462 milhões de habitantes. Com o valor médio de consumo de 80 kg de carne por pessoa por ano, o consumo total aproximado é de 36,4 milhões de toneladas de carne por ano. Essa quantidade de proteína animal necessita para a sua produção 44,6 milhões de toneladas de farelo de soja (em sua grande parte importado da América Latina).

Tabela 29: Indicadores de intensidade de material e energia relativos somente ao farelo de soja utilizado para produzir um kg de carne (alocação pela massa).

<b>Indicador</b>	<b>Farelo de soja usado por kg de carne</b>	<b>Unidade<sup>a</sup></b>
Perda de solo	7,35	kg/FU
Demanda bruta de petróleo	0,29	kg/FU
Demanda de fertilizante químico	0,170	kg/FU
Demanda de agrotóxicos	0,003	kg/FU
Água (direta)	7419	kg/FU
Diesel (direta)	0,173	kg/FU
Eletricidade (direta)	0,051	kWh/FU
Intensidade de materiais, abiótico	7,51	kg/FU
Intensidade de materiais, água	7441	kg/FU
Intensidade de materiais, ar	1,60	kg/FU
Intensidade de materiais, biótico	0,29	kg/FU
Entrada total de materiais (incluindo água)	7450	kg/FU
Demanda de trabalho	0,008	h/FU
Demanda de área agrícola	4,33	m <sup>2</sup> /FU
Entrada total de energia	12,15	MJ/FU
Rendimento líquido de energia	68,96	MJ/FU
Rendimento líquido de energia (ha)	15877	MJ/ha ano
Rendimento líquido de energia por hora de trabalho	1031	MJ/h
Saída/entrada de energia fóssil	1,92	
Razão líquida/bruta de energia fóssil	0,48	

<sup>a</sup>A unidade funcional (FU) é kg de farelo de soja usado para cada kg de carne produzido.

Como um exemplo de uma relação direta entre a produção de soja no Brasil e o consumo de carne na Europa, um cidadão da União Européia que consome em média 80 kg de carne por ano, tem uma demanda de área agrícola de 346 m<sup>2</sup> e 593520 litros de água no Brasil. Aproximadamente metade da soja brasileira é produzida nas regiões Centro Oeste e Norte (Cerrado e floresta Amazônica) (Tabela 1). Pode-se estimar que este cidadão Europeu está consumindo a produção de 173 m<sup>2</sup> por ano de área no cerrado ou floresta amazônica por ano. Na seção anterior (5.3) foram feitas considerações sobre a demanda de materiais, energia e as emissões de CO<sub>2</sub> para 13,7 milhões de toneladas de soja e 10,2 milhões de toneladas de farelo de soja que são exportados anualmente do Brasil para a União Européia. Correspondentemente, levantado-se em consideração os impactos com relação a todo farelo de soja usado para produzir toda a carne consumida anualmente nos países da União Européia (44,6 milhões de toneladas de farelo de soja), os impactos ambientais e emissões gerados são 2,1 vezes maiores do que as considerações calculadas na seção 5.3 para o farelo de soja exportado do Brasil para a União Européia.

## 5.5 Alternativas mais sustentáveis de produção de soja

A soja pode ser cultivada em diversos modelos de produção. Porém, a escolha do modelo tecnológico vem sendo feita unicamente em função dos interesses econômicos e políticos de curto prazo, ficando de fora os aspectos sociais e ambientais. A opção pelo sistema convencional em grande escala de produção de soja em algumas regiões do país resulta em uma monocultura danosa, com pouca possibilidade de integração com a pecuária, destruição da diversidade ecológica e implicações negativas no clima global e muitos outros impactos já citados neste trabalho.

As políticas públicas governamentais para expansão da produção de soja voltada para exportação e produção de biodiesel desconsideram as externalidades negativas e as perdas de serviços ambientais decorrentes do processo produtivo. Também não são levados em consideração os estudos que indicam o possível agravamento dos problemas sociais e ambientais e não são ouvidas as reflexões críticas dos movimentos sociais ao modelo de produção e consumo vigente nem as implicações do uso de grandes volumes de fertilizantes químicos, agrotóxicos e herbicidas (derivados do petróleo) nas mudanças climáticas.

Os resultados dos indicadores para a produção e processamento da soja convencional apresentados até aqui neste trabalho mostram que a produção de biodiesel de soja não é uma alternativa sustentável para fornecimento de energia e que os fluxos de farelo de soja para a Europa são responsáveis por grandes impactos ambientais para o Brasil. O biodiesel do soja convencional é menos de um terço renovável, apresenta rendimento líquido de energia menor e transformidade maior que os combustíveis fósseis indicando ser uma opção pouco eficiente para fornecimento de energia primária. Entretanto, a soja

pode ser produzida em sistemas alternativos mais sustentáveis de forma a reduzir estes impactos no meio ambiente e na sociedade.

O sistema convencional de produção de soja no Brasil voltado ao agronegócio pode ser caracterizado pela monocultura de soja, normalmente consorciada com a cultura de milho ou trigo durante o restante do ano como mostrado no diagrama sistêmico da Figura 4. Neste capítulo o sistema de produção convencional de soja é confrontado com uma alternativa que julga-se mais sustentável.

Um exemplo de modelo alternativo mais sustentável para produção de soja é a policultura ecológica voltada para unidades de assentamentos rurais ou organizações comunitárias de pequenos agricultores familiares. Por isso, como modelo de sistema mais sustentável de produção de soja utilizou-se o modelo proposto pela Cooperativa Mista de Produção, Industrialização e Comercialização de Biocombustíveis do Brasil Ltda. (Cooperbio), uma cooperativa criada pelo Movimento dos Pequenos Agricultores (MPA) da região do Noroeste do estado do Rio Grande do Sul. A sede da Cooperbio está localizada no município de Palmeira das Missões e abrange outros 63 municípios. A Cooperbio vem desenvolvendo um programa de produção de alimento e agroenergia tendo como base o fortalecimento dos pequenos agricultores familiares. Este projeto está fundamentado em três principais produtos: etanol de cana-de-açúcar, biodiesel (em um primeiro momento a partir de soja) e leite. Estes sistemas de produção foram organizados com a intenção de fomentar uma atividade agroindustrial sem perder o foco central da agricultura familiar que é a produção de alimentos e a manutenção do homem no campo. Apesar de em um primeiro momento esta proposta de produção não estar vinculada a aplicação de princípios agroecológicos nos sistemas de produção de alimento e agroenergia, a meta da Cooperbio é o incentivo ao manejo agroecológico.

O modelo proposto pela Cooperbio está descrito em detalhes por Muñoz (2007) que realizou uma avaliação econômica deste sistema para mostrar os benefícios desta proposta de modelo produtivo. O trabalho mostrou que o modelo de produção alimento e biocombustíveis em pequena escala pode ser uma opção bastante viável do ponto de vista econômico para os assentamentos rurais. Leal (2007) fornece mais detalhes sobre o modelo proposto pela Cooperbio e destaca a importância da produção de biomassa para energia no contexto dos pequenos agricultores. Assis e Zucarelli (2007) também descrevem o modelo proposto pela Cooperbio. Estes autores citam que os principais objetivos da Cooperbio são a produção de biocombustíveis através de várias fontes de

matéria-prima; a descentralização de indústrias de extração dos óleos vegetais, facilitando ao agricultor a utilização do farelo para alimentação animal; a produção regional de etanol que será utilizado na reação química para produção do biodiesel; o consumo da produção dos biocombustíveis e do óleo vegetal pelos próprios agricultores e prefeituras da região; e o compromisso de que os envolvidos no projeto participem das etapas de produção e dos resultados financeiros da comercialização do biodiesel e dos co-produtos.

De modo geral, o modelo da Cooperbio prevê a produção de etanol de cana-de-açúcar em micro destilarias, de soja para produção de óleo de soja que será posteriormente comercializado com a Petrobrás e usado para a produção de biodiesel e de leite com a tecnologia do pastoreio rotacional Voisin (PRV). A Figura 18 mostra o diagrama sistêmico do modelo proposto pela Cooperbio.

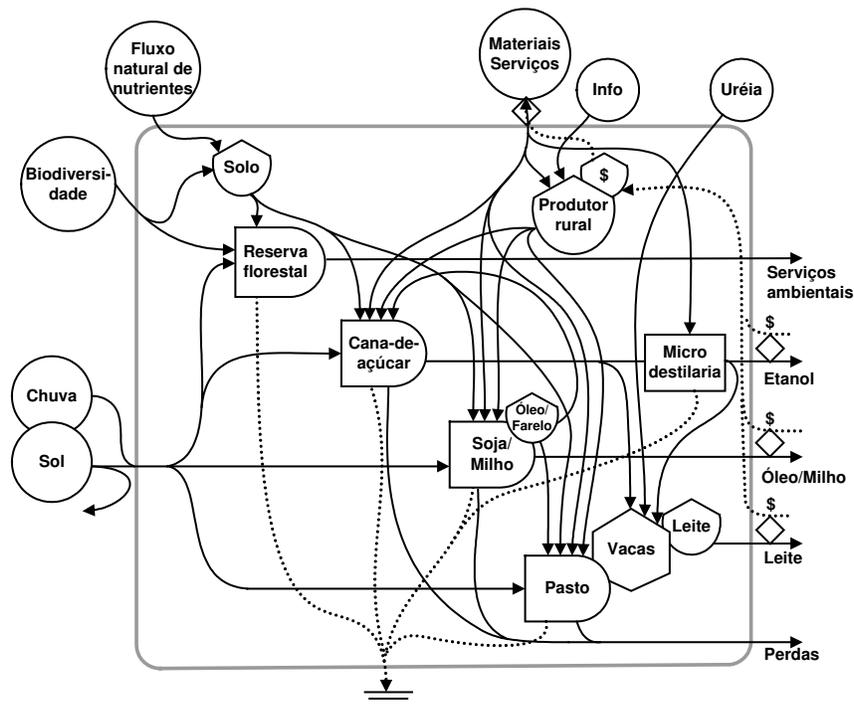


Figura 18: Diagrama sistêmico do modelo de produção proposto pela Cooperbio.

Apesar do leite não ser necessariamente um insumo direto para a produção de agroenergia, sua consideração se dá em função da complementaridade do processo produtivo com os outros dois elementos (cana-de-açúcar e soja), por ser uma atividade que gera uma renda mensal ao agricultor, por ser uma atividade tradicional dos pequenos

agricultores da região Sul do Brasil e por ser uma fonte de alimento importante da família dos agricultores.

Na extração do óleo vegetal, um dos subprodutos importantes é a torta ou farelo de soja que pode ser utilizada na alimentação animal, o que fortalece a integração da produção animal e vegetal na propriedade. A idéia é descentralizar as unidades de óleo vegetal para que o farelo produzido fique mais próximo do produtor. Essa estratégia possibilita um incremento na disponibilidade de ração para as atividades de pecuária, suinocultura e avicultura, conseqüentemente, aumentando a produção de carne, leite e ovos. Além disso, contribui para a redução nos fluxos de transporte do farelo. Isto pode garantir ao agricultor não somente o ganho com a produção de matéria-prima como também a utilização dos resíduos como fonte de adubação para a lavoura e alimentação animal. O sistema proposto também possibilita que o bagaço e a ponta da cana fiquem na propriedade, diminuindo os custos de transporte e mão-de-obra. O transporte da garapa líquida é mais simples de se realizar e o que sobra da extração pode ficar na propriedade para potencializar a produção animal, produção do leite e adubação. Ainda, o sistema pode disponibilizar as de pontas de cana-de-açúcar como fonte forrageira de baixo custo e disponível nos períodos críticos da alimentação animal, propiciando estabilidade na produção leiteira. Além disso, o vinhoto também pode ser consumido pelo gado ou usado na fertilização orgânica de canaviais e de cultivos alimentares.

### **5.5.1 Avaliação emergética dos sistemas propostos**

Para fins de análise foram consideradas duas propriedades de pequena escala com área de 20 ha cada uma. Uma delas cultiva soja com sistema convencional de produção e outra com o sistema proposto pela Cooperbio. Nos dois sistemas foi considerada a preservação da reserva legal de 20% ou seja, 4 ha. No sistema convencional de produção de soja o sistema utiliza 16 ha para produzir soja no modelo convencional alternada com a produção de milho que é a cultura mais corriqueira que alterna-se com a soja na maior parte das regiões do Brasil. Já no sistema de produção proposto pela Cooperbio são utilizados 8 ha para a produção de leite no sistema PRV, 6 ha para a produção de soja orgânica alternada com a produção de milho e 2 ha para a produção de cana-de-açúcar.

Neste capítulo, optou-se apenas pela realização da avaliação emergética, além do cálculo de indicadores econômicos e sociais a medida que o principal objetivo deste capítulo é

avaliar comparativamente a sustentabilidade dos sistemas propostos. A aplicação conjunta dos métodos mostrados nos capítulos anteriores mostrou-se capaz de fornecer informações complementares muito úteis para a avaliação dos sistemas. Porém, a metodologia emergética contabiliza um número maior de entradas e por uma questão de simplificação ela foi selecionada para a avaliação proposta neste capítulo.

Nesta avaliação emergética foi considerada a renovabilidade parcial dos recursos utilizados pelos sistemas produtivos segundo a modificação proposta em alguns estudos (Ulgiati et al., 1994; Ortega et al. 2002; 2005; Cavalett et al., 2006; Castellini et al., 2006; Agostinho, et al., 2007). Esta medida é considerada uma evolução na metodologia emergética representando passo à frente na direção de descrever com maior fidelidade a sustentabilidade dos sistemas produtivos mais complexos. A Tabela 30 mostra os fluxos e indicadores de energia do sistema convencional de produção de soja e de seus subsistemas e a Tabela 31 mostra os fluxos e indicadores de energia do sistema proposto pela Cooperbio e de seus subsistemas. As tabelas de avaliação emergética de cada subsistema e o memorial de cálculo que descrevem os *inputs* utilizados por cada um dos sistemas e os cálculos realizados estão mostrados nos Anexos 9.3 e 9.4 deste trabalho.

Tabela 30: Fluxos e indicadores de energia do sistema convencional de produção de soja e de seus subsistemas.

	Soja Convencional	Milho	Unidades	Sistema convencional	Unidades
<b>Fluxos de energia considerando a renovabilidade parcial</b>					
Recursos renováveis da natureza (R)	1,41E+15	9,91E+14	seJ/ha/ano	3,84E+16	seJ/ano
Recursos não renováveis da natureza (N)	5,72E+14	5,72E+14	seJ/ha/ano	1,83E+16	seJ/ano
Recursos da economia (M)	1,89E+15	3,11E+15	seJ/ha/ano	8,00E+16	seJ/ano
Serviços (S)	1,40E+15	1,43E+15	seJ/ha/ano	4,54E+16	seJ/ano
<b>Fluxos de energia sem a renovabilidade parcial</b>					
Recursos renováveis da natureza (R)	1,34E+15	9,56E+14	seJ/ha/ano	3,67E+16	seJ/ano
Recursos não renováveis da natureza (N)	5,72E+14	5,72E+14	seJ/ha/ano	1,83E+16	seJ/ano
Recursos da economia (M)	1,95E+15	3,14E+15	seJ/ha/ano	8,13E+16	seJ/ano
Serviços (S)	1,42E+15	1,44E+15	seJ/ha/ano	4,57E+16	seJ/ano
<b>Índices de energia</b>					
Transformidade (Tr)	82000	57000	seJ/J	67000	seJ/J
Energia específica	1,86E+12	9,39E+11	seJ/kg	-	seJ/kg
Razão de rendimento líquido de energia (EYR)	1,57	1,33		1,43	
Razão de carga ambiental (ELR) <sup>a</sup>	2,74	5,16		3,74	
Renovabilidade (%R) <sup>a</sup>	26,8%	16,2%	%	21,1%	%
Concentração de potência emergética (ED)	5,27E+11	6,11E+11	seJ/m <sup>2</sup>	1,14E+12	seJ/m <sup>2</sup>
Razão de investimento de energia (EIR)	1,76	3,00		2,31	
Índice de troca de energia (EER)	2,18	1,70		1,90	
Indicador de sustentabilidade de energia (EIS) <sup>a</sup>	0,57	0,26		0,38	

<sup>a</sup>Indicadores calculados com os fluxos de energia considerando a renovabilidade parcial dos *inputs*.

Tabela 31: Fluxos e indicadores de energia do sistema proposto pela Cooperbio e de seus subsistemas.

	Leite	Milho	Soja org.	Cana	Unidades	Sistema Cooperbio	Unidades
<b>Fluxos de energia considerando a renovabilidade parcial</b>							
Recursos renováveis da natureza (R)	2,49E+15	9,92E+14	1,44E+15	1,91E+15	seJ/ha/ano	3,83E+16	seJ/ano
Recursos não renováveis da natureza (N)	5,72E+14	5,72E+14	2,86E+14	4,00E+14	seJ/ha/ano	1,05E+16	seJ/ano
Recursos da economia (M)	9,71E+14	2,40E+15	4,00E+14	3,60E+15	seJ/ha/ano	3,18E+16	seJ/ano
Serviços (S)	1,91E+15	1,43E+15	3,75E+14	1,21E+15	seJ/ha/ano	2,86E+16	seJ/ano
<b>Fluxos de energia sem a renovabilidade parcial</b>							
Recursos renováveis da natureza (R)	1,61E+15	9,56E+14	1,34E+15	1,61E+15	seJ/ha/ano	2,98E+16	seJ/ano
Recursos não renováveis da natureza (N)	5,72E+14	5,72E+14	2,86E+14	4,00E+14	seJ/ha/ano	1,05E+16	seJ/ano
Recursos da economia (M)	1,53E+15	2,43E+15	4,78E+14	3,67E+15	seJ/ha/ano	3,70E+16	seJ/ano
Serviços (S)	2,23E+15	1,44E+15	3,98E+14	1,44E+15	seJ/ha/ano	3,18E+16	seJ/ano
<b>Índices de energia</b>							
Transformidade (Tr)	260872	50688	53144	37934	seJ/J	99000	seJ/J
Energia específica	6,26E+11	8,31E+11	1,20E+12	1,02E+11	seJ/kg	-	seJ/kg
Razão de rendimento líquido de energia (EYR)	1,58	1,39	2,85	1,39		1,59	
Razão de carga ambiental (ELR) <sup>a</sup>	1,39	4,44	0,74	2,73		1,85	
Renovabilidade (%R) <sup>a</sup>	41,9%	18,4%	57,5%	26,8%	%	35,1%	%
Concentração de potência emergética (ED)	5,94E+11	5,40E+11	2,50E+11	7,11E+11	seJ/m <sup>2</sup>	6,82E+11	seJ/m <sup>2</sup>
Razão de investimento de energia (EIR)	1,73	2,54	0,54	2,54		1,70	
Índice de troca de energia (EER)	0,09	1,51	1,23	1,80		0,19	
Indicador de sustentabilidade de energia (EIS) <sup>a</sup>	1,14	0,31	3,87	0,51		0,86	

<sup>a</sup>Indicadores calculados com os fluxos de energia considerando a renovabilidade parcial dos *inputs*.

De forma geral, a comparação dos indicadores de energia da Tabela 30 e da Tabela 31 indicam que:

- O sistema proposto pela Cooperbio é mais sustentável (35,1%) que o sistema convencional de produção de soja (21,1%).
- O sistema proposto pela Cooperbio apresenta menor eficiência na conversão de energia utilizada em produtos para consumidor final, isto é, necessita de mais energia (99000 seJ J<sup>-1</sup>) para produzir um joule de produto do que o sistema convencional de produção de soja (67000 seJ J<sup>-1</sup>).
- O sistema proposto pela Cooperbio apresenta maior capacidade de incorporar recursos do ambiente (1,59) para fornecimento de energia líquida ao consumidor final do que o sistema convencional de produção de soja (1,43).

- O sistema proposto pela Cooperbio exerce menor pressão ambiental nos ecossistemas (1,85) do que o sistema convencional de produção de soja (3,74).
- O sistema proposto pela Cooperbio usa menor quantidade de energia por unidade de área ( $6,82E+11$  seJ m<sup>-2</sup>) do que o sistema convencional de produção de soja ( $1,14E+12$  seJ m<sup>-2</sup>).
- O sistema proposto pela Cooperbio usa menor relação de recursos comprados/gratuitos (1,70) do que o sistema convencional de produção de soja (2,31).
- O sistema proposto pela Cooperbio recebe mais energia com o dinheiro das vendas em relação a energia entregue com os produtos vendidos (0,19) do que o sistema convencional de produção de soja (1,90).
- O sistema proposto pela Cooperbio entrega mais energia líquida ao consumidor por unidade de pressão exercida no meio ambiente (0,86) que o sistema convencional de produção de soja (0,38).

Entretanto, eram esperados resultados muito mais positivos em favor do sistema proposto pela Cooperbio. Porém, este sistema introduz um subsistema de produção animal (leite) que normalmente é caracterizado pelo uso mais intensivo de energia em comparação com sistemas de produção unicamente vegetais. Além disso, devido a dificuldade de contabilizar alguns fluxos internos, os seus benefícios devido a reciclagem interna e conseqüente economia de recursos comprados não foram possíveis de ser considerados na avaliação, como, por exemplo, o uso de pontas de cana e vinhoto para alimentação do gado e fertilização da lavoura; o uso de dejetos animais da produção de leite para fertilização da lavoura, bem como outros produtos secundários do sistema como criação de hortas, galinhas, melado, doces, açúcar mascavo, carne, cachaça, entre outros. Um outro subsistema importante que não foi considerado aqui por carência de dados e que é sugerido no projeto proposto pela Cooperbio e deveria ser considerado é a produção de madeira em floresta super-densa que é usada para secagem da soja e produção de etanol nas micro-destilarias. A contabilização destes fluxos certamente iria melhorar os indicadores de energia do sistema proposto pela Cooperbio.

Os resultados mostram que o sistema convencional de produção de soja é mais dependente dos recursos fósseis. É sabido que o caráter finito destes recursos certamente inviabilizará os sistemas menos sustentáveis (menor índice de renovabilidade). Por isso, é

de extrema importância avaliar e planejar modelos alternativos de produção de alimento e energia mais sustentáveis e que incorporem os aspectos sociais e ambientais.

A soja produzida no sistema da Cooperbio pode produzir 2247 litros de óleo de soja e 10151 kg de farelo de soja por ano. Foi considerado na avaliação que o óleo de soja é usado localmente como combustível (depois de ser transformado em biodiesel pelo processo de transesterificação ou mesmo diretamente depois de ser duplamente filtrado, segundo estudos recentes sobre esta tecnologia) para o maquinário agrícola usado pelos sistemas produtivos e resultando na autonomia energética do sistema. O excedente de óleo de soja (546 litros ano<sup>-1</sup>) pode ser vendido ao mercado. O farelo de soja é o principal constituinte da ração animal para a produção de leite e seu uso na propriedade promove uma economia de 70% na ração animal comprada que foi contabilizada nos cálculos. Além disso, as 140 toneladas de cana-de-açúcar que o sistema proposto pela Cooperbio podem gerar cerca de 11480 litros de etanol por ano que podem ser comercializados pela Cooperativa.

É importante destacar que o sistema de produção de soja orgânica foi o que apresentou os melhores resultados de sustentabilidade ambiental (índice de renovabilidade) e rentabilidade econômica. Isto mostra que a inserção deste sistema em um modelo de produção de soja pode viabilizar a produção de biodiesel de soja neste modelo de policultura ecológica voltada para unidades de assentamentos rurais e organizações comunitárias.

Os resultados mostram também que o sistema proposto pela Cooperbio é eficiente para a produção de agroenergia e alimento de forma integrada para a sociedade. O sistema pode produzir 546 litros de óleo de soja, 11480 litros de etanol e 75920 litros de leite por ano. Há que se levar em consideração, também, que estas serão as matérias-primas estratégicas do complexo produtivo, que podem produzir além dos produtos principais (leite, etanol e óleo de soja) outros co-produtos como: melado, doces, açúcar mascavo, carne, cachaça, ponta de cana, bagaço, vinhoto, adubo orgânico, dentre outros. Isso permite uma melhor reciclagem interna de materiais e a obtenção de uma renda secundária de uma forma indireta que irá complementar a renda principal.

É preciso insistir que o modelo da Cooperbio é um modelo idealizado que considera um cenário positivo para as inúmeras variáveis que compõem os processos produtivos e mercadológicos. Assim, o raciocínio pressupõe a otimização de alguns fatores econômicos. Como exemplo, pode-se destacar o bom preço de venda da soja orgânica e a

produção de leite que atingirá estes níveis de produção no ponto de maturação do projeto que se dá em torno do quinto ano de implementação do PRV, com o melhoramento de pastagens, aprimoramento genético dos animais, entre outras variáveis que vão sendo equacionadas ao longo do tempo.

De qualquer forma, é preciso planejar e controlar a intensificação e a capacidade de suporte (ELR) do sistema proposto pela Cooperbio para se alcançar um equilíbrio melhor entre os recursos da economia (F) e os recursos renováveis do ambiente (R) de forma que a sustentabilidade do sistema se mantenha ao longo do tempo. A aplicação de princípios agroecológicos e um estímulo maior à integração dos sistemas produtivos podem ajudar a diminuir a dependência por recursos externos não renováveis (F). A diversificação dos sistemas produtivos é grande incentivo ao aumento da sustentabilidade da agricultura. O padrão sustentável deve substituir os sistemas excessivamente simplificados e monoculturais de produção de soja por sistemas diversificados ecológicos e que permitam integrar a produção animal e vegetal.

Neste sentido existem experiências, como as citadas por Assis e Zucarelli (2007), com plantio de girassol na entrelinha do milho, bem como a utilização dessa técnica para produzir mamona com feijão, soja com milho, amendoim com girassol ou através de outras lavouras com policultivo. Também são mostrados outros relatos sobre a possibilidade de se produzir mel nas plantações de girassol, nabo forrageiro e canola. As informações são de que conjugando 15 hectares de girassol com três caixas de abelha é possível quitar os custos de produção da lavoura somente com a venda do mel. Nota-se que as tecnologias para maior integração das atividades estão sendo desenvolvidas e podem ajudar a aprimorar o modelo proposto pela Cooperbio. Contudo, é importante ressaltar que são experiências incipientes e que ainda não atingiram as suas otimizações. Por isso, com a maior difusão e aplicação prática destas tecnologias elas serão aprimoradas cada vez mais.

### **5.5.2 Aspectos econômicos e sociais dos sistemas propostos**

A Tabela 32 e a Tabela 33 apresentam os indicadores econômicos e sociais dos sistemas avaliados. O custo de produção da soja convencional é de 498 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Com uma produtividade média de 2832 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (47,2 sacos ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e um preço de venda de 13,8 US\$ saco<sup>-1</sup> a receita bruta é de 653 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Isso proporciona uma receita

líquida de 155 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e uma margem de lucro de 31%. O custo de produção do milho é de 590 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Com uma produtividade média de 6500 kg/ha/ano (108 sacos ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e um preço de venda de 8,9 US\$ saco<sup>-1</sup> a receita bruta é de 969 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Isso proporciona uma receita líquida de 379 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e uma margem de lucro de 64%. Desta forma, o sistema convencional de soja com 20 ha, reservando os 4 ha de reserva legal (20%), cultiva um área de 16 ha com soja e milho. O sistema apresenta um custo total de produção de 17408 US\$ ano<sup>-1</sup> e uma receita bruta de 25953 US\$ ano<sup>-1</sup>. Isso proporciona uma receita líquida de 8545 US\$ ano<sup>-1</sup> ao produtor com uma margem de lucro média de 49%.

Tabela 32: Indicadores econômicos e sociais do sistema convencional de produção de soja e de seus subsistemas.

	Soja	Milho	Unidade	Sistema convencional	Unidade
<b>Indicadores econômicos</b>					
Produtividade unitária	2832	6500	kg/ha/ano	149312	kg/ano
Produtividade unitária	6,40E+10	1,07E+11	J/ha/ano	2,73E+12	J/ano
Custo total de produção	498	590	US\$/ha/ano	17408	US\$/ano
Receita bruta	653	969	US\$/ha/ano	25953	US\$/ano
Receita líquida	155	379	US\$/ha/ano	8545	US\$/ano
Externalidades	345	345	US\$/ha/ano	11040	US\$/ano
Receita líquida considerando as externalidades e serviços ambientais (R <sub>EX</sub> )	-190	34	US\$/ha/ano	-2495	US\$/ano
Margem de lucro (L%)	31,1%	64,3%		49,1%	
Margem de lucro considerando as externalidades e serviços ambientais (L <sub>EX</sub> %)	-38,2%	5,8%		-14,3%	
<b>Indicadores sociais</b>					
Empregos gerados	0,006	0,006	Trab./ha	0,200	Trab./ha a
Uso de mão-de-obra	2,34E-10	1,41E-10	h/J	6,00E-09	h/J

Tabela 33: Indicadores econômicos e sociais do sistema proposto pela Cooperbio e seus subsistemas.

	Leite	Milho*	Soja org.	Cana	Unidade	Cooperbio	Unidade
<b>Indicadores econômicos</b>							
Produtividade unitária	9490	6500	2081	70000	kg/ha/ano	255466	kg/ano
Produtividade unitária	2,28E+10	1,07E+11	4,71E+10	1,88E+11	J/ha/ano	1,22E+12	J/ano
Custo total de produção	1197	485	205	773	US\$/ha/ano	15257	US\$/ano
Receita bruta	2248	969	552	1068	US\$/ha/ano	25934	US\$/ano
Receita líquida	1051	485	347	295	US\$/ha/ano	10677	US\$/ano
Externalidades	345	345	39	130	US\$/ha/ano	5324	US\$/ano
Receita líquida considerando as externalidades e serviços ambientais (R <sub>EX</sub> )	706	140	308	165	US\$/ha/ano	5353	US\$/ano
Margem de lucro (L%)	87,9%	100,0%	169,1%	38,2%		70,0%	
Margem de lucro considerando as externalidades e serviços ambientais (L <sub>EX</sub> %)	59,0%	28,8%	150,1%	21,4%		35,1%	
<b>Indicadores sociais</b>							
Empregos gerados	0,057	0,006	0,015	0,065	Trab./ha	0,716	Trab./ha a
Uso de mão-de-obra	6,01E-09	1,41E-10	7,86E-10	8,30E-10	h/J	5,53E-08	h/J

O custo de produção do litro de leite com 16 Unidades Animais (Vacas em lactação) em 8 ha é 0,13 US\$/L (1196 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) sendo que o preço médio pago ao produtor é de 0,24 US\$. Isso proporciona uma receita líquida de 1051 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. A margem de lucro é de 88%, o que significa um retorno muito bom sobre o investimento graças à tecnologia do PRV. O custo de produção da soja orgânica é de 205 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Com uma produtividade média de 2081 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (34,6 sacos ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e um preço de venda de 15,9 US\$/saco a receita bruta é de 552 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Isso proporciona uma receita líquida de 344 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e uma margem de lucro de 169%. O custo de produção da cana-de-açúcar é de 773 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Com uma produtividade média de 70 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> a receita bruta é de 1068 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Isso proporciona uma receita líquida de 295 US\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e uma margem de lucro de 38%. Desta forma o sistema proposto pela Cooperbio com 20 ha, reservando os 4 ha de reserva legal (20%), com 16 vacas em 8 ha para a produção de leite, cultivando uma área de 6 ha com soja e milho e mais 2 ha para a produção de cana-de-açúcar, apresenta um custo total de produção de 15257 US\$ ano<sup>-1</sup> e uma receita bruta de 25933 US\$ ano<sup>-1</sup>. Isso proporciona uma receita líquida média de 10677 US\$ ano<sup>-1</sup> ao produtor com uma margem de lucro média de 70%.

Estes resultados econômicos bastante positivos a favor do sistema proposto pela Cooperbio se devem à reciclagem interna de matérias que promove a economia de

recursos externos comprados. Principalmente o óleo de soja que é usado como combustível e o farelo de soja que é usado como ração promovem uma grande economia de recursos externos comprados no sistema.

De qualquer forma, este formato produtivo viabiliza economicamente a pequena agricultura por seus próprios meios, permite a reprodução social dos agricultores familiares como agricultores de fato e incentiva a produção ecologicamente pautada por princípios que se ajustam às propostas do desenvolvimento sustentável. O principal produto deste modelo é a manutenção do homem no campo, produzindo para sua subsistência e vendendo os excedentes. Ainda, por se tratarem de agricultores que valorizam e cultivam seu modo de vida, atividades agrícolas secundárias como criação de hortas, galinhas, chás, entre outros, significa a não dependência de muitos insumos externos e conseqüentemente, a economia indireta potencializada, auxiliando na reprodução social da família.

Por outro lado, ao optar pelos modelos de monocultura em larga escala, os tomadores de decisão desconsideram a perda dos serviços ecossistêmicos na lavoura homogênea e também os custos do impacto ambiental dos agro-químicos aplicados na lavoura, custos estes que são repassados indevidamente às comunidades e aos governos locais (“socialização dos custos”). Os valores dos serviços ambientais perdidos e das externalidades negativas produzidas normalmente são da ordem de 300 a 500 US\$ ha<sup>-1</sup> (Ortega et al. 2005; 2007; Pretty et al., 2000; 2001; 2005). O não pagamento deste valor pode ser considerado um subsídio que é dado aos grandes produtores de soja convencional.

Desta forma, se for considerado o pagamento das externalidades negativas e perda de serviços ambientais o sistema convencional de produção de soja é o único que apresenta margem de lucro negativa. Isto significa que o lucro obtido com o modelo convencional de soja não pode pagar pelos seus prejuízos ambientais. Para a análise das propriedades considerando as externalidades negativas e perda de serviços ambientais, o sistema com produção convencional de soja apresenta um prejuízo médio de 14% enquanto o sistema proposto pela Cooperbio tem uma margem de lucro de 35%. Estes números mostram que os preços do sistema convencional de produção de soja não pode pagar pelos prejuízos ambientais causados pelo sistema produtivo.

Desta forma, os preços correntes da soja convencional estão subsidiados pelo não pagamento das externalidades negativas e perda de serviços ambientais e sendo assim é a sociedade de um modo geral que está pagando por estes prejuízos ambientais

decorrentes do processo produtivo. Por isso, se as despesas sócio-ambientais fossem incluídas no cálculo da rentabilidade dos empreendimentos rurais, a rentabilidade mudaria em favor dos sistemas com melhores características ecológicas e sociais como proposto pelo sistema da Cooperbio. Até agora, esta inclusão não tem sido efetuada na maioria das avaliações ambientais e econômicas por falta de conhecimento para determinar os valores dos serviços ambientais e das externalidades negativas. A divulgação destes valores pode permitir que a sociedade se auto-organize para apoiar os sistemas verdadeiramente mais econômicos.

Os resultados dos indicadores sociais mostram que o sistema proposto pela Cooperbio gera mais emprego e é muito mais benéfico para fixação do homem no campo à medida que gera mais de três vezes mais emprego por hectare do que o sistema convencional de produção de soja. Por isso, são necessários a utilização de mais horas de trabalho para produzir um joule de produto no sistema proposto pela Cooperbio do que no sistema convencional de produção de soja. O sistema proposto pela Cooperbio se mostrou um sistema mais intensivo no uso de mão-de-obra. Porém, trata-se de mão-de-obra familiar, e que contribui para fixação do homem no campo.

De um modo geral, os resultados dos indicadores econômicos e sociais mostram que é muito difícil para a produção familiar competir com o agronegócio sob o ponto de vista da racionalidade econômica restrita e o fator de escala da produção. As propriedades de produção de soja com o modelo convencional voltados ao agronegócio podem até apresentar lucro menor por hectare do que os modelos menores e mais ecológicos, mas por ocupar áreas muito grandes, principalmente na região norte do país, beneficiam-se do fator de escala. Por isso, o fator competitividade deve dar lugar aos fatores sustentabilidade ambiental e social e a viabilidade econômica.



## 6. CONCLUSÃO

A aplicação conjunta dos métodos de avaliação quantitativos utilizados neste trabalho mostrou-se eficiente para descrever o desempenho econômico, social e principalmente ambiental das etapas do ciclo de vida da soja e seus produtos avaliados. A metodologia emergética foi capaz de mensurar as importantes contribuições dos fluxos ambientais e do trabalho humano utilizado nas diferentes etapas de produção agrícola e processamento industrial da soja. Os demais métodos utilizados avaliaram e quantificaram apropriadamente o uso de energia, materiais e as emissões de CO<sub>2</sub>, assim como a viabilidade econômica e social da soja.

Os resultados mostram que a produção de biodiesel de soja no Brasil não é uma alternativa viável levando-se em consideração os resultados obtidos nas avaliações econômicas, de materiais, energéticas, emergéticas e de emissões de CO<sub>2</sub> de todas as suas etapas de produção. Esta afirmativa também está baseada nas consequências em larga escala que foram calculadas para a sua substituição pelo diesel comercial usado no país. Não existem evidências de que a produção em larga escala de biodiesel de soja possa ser considerada uma solução ambientalmente sustentável para a segurança energética do Brasil. A poluição direta (BDO<sub>5</sub> dos efluentes industriais, liberação de resíduos de agrotóxicos) e outros danos ambientais (erosão do solo, destruição de florestas e outros habitat naturais, redução da biodiversidade) relativa à entrega de

energia líquida na forma de biodiesel de soja indicam que a sua produção em larga escala exerce uma pressão muito grande no meio ambiente.

A sustentabilidade da produção de biodiesel de soja depende do emprego racional dos recursos nos seus processos de produção agrícola, transporte e processamento. Enquanto as etapas de produção do biodiesel estiverem sustentadas por combustíveis fósseis na forma de insumos químicos, bens e energia de processo, a fração da energia que é na verdade renovável é baixa (em torno de 31%). Por outro lado, se uma fração do biodiesel produzido é usada para realimentar o processo, para torná-lo independente dos combustíveis fósseis, a demanda de área agrícola, água, fertilizantes e agrotóxicos é aumentada correspondentemente em mais de 68%. Similarmente, a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub> com o emprego das misturas B2 e B5 são inexpressivas quando comparadas com as emissões provenientes de queimadas. Além disso, a substituição de 2% ou 5% de biodiesel no diesel utilizado no país provavelmente irá competir com a produção de alimentos e ampliará a demanda de terra e água.

Entretanto, o biodiesel pode ser uma opção para um futuro de diminuição na disponibilidade de combustíveis fósseis eminente juntamente com o etanol de cana-de-açúcar, a produção de hidrogênio, a energia eólica, as células fotovoltaicas e programas eficientes de economia de energia. Porém o mais importante é planejar um padrão de consumo mais baixo (Odum e Odum, 2002). A futura aceitação e viabilidade do biodiesel estão ligadas a integração da produção de biocombustíveis com a produção diversificada de alimentos, tirando-se proveito dos co-produtos e aumentando-se a reciclagem interna de materiais e energia nos sistemas de produção e processamento de alimentos bem como sistemas de produção orgânicos ou com aplicação de conceitos agroecológicos.

Neste sentido, a avaliação de um sistema alternativo mais sustentável de produção de soja mostrou que existe a possibilidade de se produzir agroenergia baseado em uma lógica mais racional e sustentável que permite a descentralização da produção, a inserção e autonomia do agricultor familiar, a implantação de práticas agroecológicas e a redução de deslocamentos entre as áreas produtoras e centros consumidores. Os resultados obtidos mostraram que o sistema de produção proposto pela Cooperbio é mais sustentável, fornece mais energia líquida e exerce menor pressão no meio ambiente do que o sistema convencional de produção de soja. Desta forma, as políticas públicas devem ser revistas para apoiar iniciativas como esta para a produção de agroenergia.

A avaliação quantitativa da produção, processamento e exportação de soja e farelo de soja do Brasil para a União Européia mostrou que os impactos econômicos, sociais e, principalmente, ambientais são muito grandes. Este mercado requer anualmente uma quantidade de *inputs* equivalentes à energia contida em 3,31 milhões de toneladas de petróleo equivalente. A análise emergética mostrou que são exportados para a Europa  $62,5E+21$  seJ ano<sup>-1</sup>. A contabilidade destes fluxos fornece a magnitude deste mercado que causa um grande impacto negativo nos ecossistemas brasileiros.

Similarmente à produção de óleo de soja refinado e biodiesel de soja, o estágio de produção agrícola de soja foi a etapa mais importante no ciclo de vida da produção do farelo de soja (corresponde a 71% da energia total utilizada). Esta é a etapa que utiliza a maior parte dos recursos materiais, da energia e da energia é também a etapa onde é liberada maior quantidade de CO<sub>2</sub>. Neste sentido, esta é uma etapa crítica do ciclo de vida da soja e, por isso, as políticas públicas para o mercado mais sustentável devem ser voltada principalmente para esta fase. Além disso, como já era esperado, no caso da exportação de soja e farelo de soja, a etapa de transporte naval também é uma etapa crítica que utiliza uma grande quantidade de recursos (15% de toda a energia do farelo entregue na Europa), energia e emite uma grande quantidade de CO<sub>2</sub>. No futuro, com a menor disponibilidade de recursos fósseis, estes ciclos longos de produção e consumo podem se tornar inviáveis. Esta avaliação quantitativa é importante para ajudar a planejar novos sistemas de produção e consumo da soja mais sustentáveis. As etapas de produção, processamento e exportação de farelo de soja são dependentes de recursos externos da economia (F) e esta dependência pode ser observada em todos os indicadores obtidos.

Os resultados mostraram quantitativamente a relação direta entre a produção de soja no Brasil e o padrão de consumo de carne na Europa. Esta informação é importante para visualizar os impactos globais do mercado de *commodities* e ajudar na discussão de sistemas de mercado global de produtos agrícolas mais sustentáveis.



## 7. PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar a análise semelhante a apresentada neste trabalho para outras matérias-primas para produção de biodiesel como a girassol, mamona, tungue, pinhão manso, gordura animal e óleo de cozinha descartado a fim de comparar com os indicadores obtidos para o biodiesel de soja neste trabalho;
- Utilizar a mesma abordagem de análise deste trabalho para outras opções de biocombustíveis (por exemplo, o etanol de cana-de-açúcar, celulose, mandioca e milho) em diferentes modelos e escalas de produção;
- Realizar uma análise semelhante a apresentada neste trabalho para os outros componentes da ração animal usada na Europa para determinar seus impactos totais, e não somente os relativos ao farelo de soja utilizado;
- Avaliar outras iniciativas de sistemas mais sustentáveis de produção de soja para biodiesel no Brasil;
- Realizar também as análises de energia incorporada e intensidade de materiais para o sistema proposto pela Cooperbio (seção 5.5) a fim de se obter avaliação mais abrangente;
- Aprimorar a avaliação do sistema proposto pela Cooperbio (seção 5.5) contabilizando todos os seus produtos e os fluxos de reciclagem internos;
- Avaliar e comparar a diferença quanto aos impactos ambientais e econômicos entre a rota metálica e etílica de produção de biodiesel de soja.



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AAEA. 2000. Commodity Costs and Returns Estimation Handbook. American Agricultural Economics Association. Ames, Iowa. Disponível em: [www.aaea.org](http://www.aaea.org).

Aber, J.D., Melillo, J.M. 2001. Terrestrial Ecosystems, Harcourt Science and Technology Company, Harcourt Academic Press.

Agostinho, F., Diniz, G., Siche, R., Ortega, E. 2008. The use of emergy assessment and the Geographical Information System in the diagnosis of small family farms in Brazil. *Ecological Modelling* 210: 37-57.

Agriannual. 2007. Anuário da agricultura brasileira. Instituto FNP. Consultoria & AgrolInformativos. São Paulo, SP.

ANP. 2001. Combustíveis no Brasil: Políticas de Preço e Estrutura Tributária. Disponível em: [http://www.anp.gov.br/doc/notas\\_tecnicas/Nota\\_Tecnica\\_ANP\\_011\\_2001.pdf](http://www.anp.gov.br/doc/notas_tecnicas/Nota_Tecnica_ANP_011_2001.pdf)

Amann, C., Bruckner, W., Fischer-Kowalski, M., Grünbühel, C.M. 2002. Material Flow Accounting in Amazonia. A Tool for Sustainable Development. Social Ecology Working Paper. 63. Institute for Interdisciplinary Studies of Austrian Universities, Vienna.

Assis, W.F.T., Zucarelli, M.C. 2007. Despoluindo Incertezas: impactos territoriais da expansão de agrocombustíveis e perspectivas para uma produção sustentável. Editora e Gráfica O Lutador, Belo Horizonte, MG.

Bakshi, B.R. 2002. A thermodynamic framework for ecologically conscious process system engineering. *Computer and Chemical Engineering* 26: 269-282.

Bakshi, B.R. 2000. A thermodynamic framework for ecologically conscious process system engineering. *Computer and Chemical Engineering* 24: 1767-1773.

Bargigli, S., Raugei, M., Ulgiati, S., 2004a. Mass flow analysis and mass-based indicators. In: *Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health*. CRC Press, 439 pp.

Bargigli, S., Raugei, M., Ulgiati, S., 2004b. Comparison of thermodynamic and environmental indexes of natural gas, syngas and hydrogen production processes. *Energy* 29 (12–15), 2145–2159.

Bargigli, S., Ulgiati, S. 2003. Emergy and Life-cycle assessment of steel production. In: *Emergy Synthesis 2: Theory and Applications of the Emergy Methodology*. Proceedings of the Second Biennial Emergy Evaluation and Research Conference, Gainesville, Florida, USA.

Bastianoni, S., Marchettini, N., Panzieri, M., Tiezzi, E. 2001. Sustainability assessment of a farm in the Chianti area (Italy). *Journal of Cleaner Production* 9, 365-373.

Bastianoni, S., Marchettini, N., 2000. The problem of co-production in environmental accounting by emergy analysis. *Ecological Modelling* 129, 187–193.

Bastianoni, S., Marchettini, N. 1996. Ethanol production from biomass: Analysis of process efficiency and sustainability. *Biomass and Bioenergy*, Vol. 11, No. 5: 411-418.

Beeharry, R. P. 2001. Carbon balance of sugarcane bioenergy systems. *Biomass and Bioenergy* 20: 361-370.

Bickel, U.; Dros J. M. 2003. The Impacts of Soybean Cultivation on Brazilian Ecosystems. Commissioned by the WWF Forest Conversion Initiative. Disponível em: <http://assets.panda.org/downloads/impactsofsoybean.pdf>

Biondi, P., V. Panaro, G. Pellizzi, 1989. Le richieste di energia del sistema agricolo italiano. CNR, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Progetto Finalizzato Energetica, Sottoprogetto Biomasse ed Agricoltura, Report LB-20, Roma, Italia, 389 pp.

- Björklund, J., Geber, U., Rydberg, T., 2001. Emergy analysis of municipal wastewater treatment and generation of electricity by digestion of sewage sludge. *Resources Conservation and Recycling* 31, 293–316.
- Boustead, I.; Hancock, G.F. 1979. *Handbook of Industrial Energy Analysis*. Ellis Horwood Limited. England.
- Brandt-Williams, S. L., 2002. *Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. Folio No. 4 - Emergy of Florida Agriculture*. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, USA, 40 pp. Disponível em: <http://www.ees.ufl.edu/cep/> Acesso em: 10/10/2004.
- Brandt-Williams, S., Pillet, G. 2003. Fertilizer Co-Products as Agricultural Emternalities: Quantifying Environmental Services used in Production of Food. In: *Emergy Synthesis 2: Theory and Applications of the Emergy Methodology*. Proceedings of the Second Biennial Emergy Evaluation and Research Conference, Gainesville, Florida, USA.
- Brasil. 2002. Ministério do Meio Ambiente. *Agenda 21 Brasileira. Ações Prioritárias*.
- Brown, M.T., Ulgiati, S. 2004. Emergy Analysis and Environmental Accounting, *Encyclopedia of Energy* 2: 329-354.
- Brown, M.T., Buranakarn, V. 2003. Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options. *Resources Conservation and Recycling* 38: 1-22.
- Brown, M.T., Ulgiati, S., 2002. Emergy evaluations and Environmental loading of electricity production systems. *Journal of Cleaner Production* 10: 321-334.
- Brown, M.T., Ulgiati, S. 2001. Emergy measures of carrying capacity to evaluate economic investments. *Population and Environment* 22: 471-501.
- Campbell J.C., Laherrère J.H. 1998. The End of Cheap Oil. *Scientific American*, March: 60-65.
- Carraretto, C., Macor, A., Mirandola A., Stoppato, A., Tonon S. 2004. Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations. *Energy* 29: 2195–2211.

Castellini, C., Bastianoni, S., Granai, C., Dal Bosco, A., Brunetti, M. 2006. Sustainability of poultry production using the emergy approach: Comparison of conventional and organic rearing systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114 (2-4): 343-350.

Cavalett, O., Queiroz, J.F., Ortega, E. 2006. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. *Ecological Modelling*, 193 (3-4), 205-224.

Cederberg, C., Flysjö, A. 2004. Environmental Assessment of future pig farming systems. Report from the Swedish institute for food and biotechnology.

Coelho, O., Ortega, E., Comar, V. 2003. Balanço de Emergia do Brasil (Dados de 1996, 1989 e 1981). In: *Engenharia Ecológica e Agricultura Sustentável*. Organizador: Ortega, E. Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/index.htm> Acesso em: 15/07/2004.

Conab. 2006. Sétimo levantamento de avaliação da safra 2005/2006. Brasília.

Conab. 2005. Indicadores da Agropecuária. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/download/indicadores/pubindicadores.pdf> Acesso em: 07/04/2005.

Coppens, G. 2003. Sojadossier. Soja voor mens en dier. Werkgroep voor een Rechtvaardige en Verantwoorde Landbouw (WERVEL), p. 51.

Cordeiro, A. 2000. Sustainable Agriculture in Global Age: Lessons from Brazilian Agriculture. Swedish Society for Nature Conservation. BGAB, Estocolmo, Suécia. Disponível em: <http://www.snf.se/pdf/rap-jordbruk-soja-eng.pdf> Acesso em: 07/04/2005.

CORINAIR. 2002. Road Transport Report. Disponível em: <http://reports.eea.europa.eu/EMEPCORINAIR4/en/page016.html> Acesso em: 07/04/2005.

Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton P., Van den Belt, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253–260.

Cuadra, M., Björklund, J. 2007. Assessment of economic and ecological carrying capacity of agricultural crops in Nicaragua. *Ecological Indicators* 7 (1): 133-149.

Diário do Nordeste 19/04/2007. Produção de petróleo no Brasil cresce 3,7% em março.

Disponível em:

<http://diariodonordeste.globo.com/noticia.asp?codigo=176042&modulo=968>.

Domalski, E.S., Jobe Jr., T.L., Milne, T.A. 1986. Thermodynamic data for biomass conversion and waste incineration. Report from the Solar technical Information program. USA.

Dorsa, R. 2000. Tecnologia de Processamento de Óleos e Gorduras Vegetais. 3 edição.

EPA. 1996. Compilation of air pollutant emission factors. V1, Fifth edition. Point Sources, AP-42. Argonne National Laboratory. Disponível em: <http://www.epa.gov/oms/ap42.htm>

FAO - Food and Agricultural Organization. 2006. A graphical presentation of the world's agricultural trade flows, WATF. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Economic and Social Department, The Statistics division. Disponível em: <http://www.fao.org/es/ess/watf.asp>.

Ferraz, J.M.G. 2003. As dimensões da Sustentabilidade e seus indicadores. In: Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas. Editores: Marques, J.F., Skorupa, L.A., Ferraz, J.M.G. EMBRAPA, Jaguariúna, SP. p 17-35.

Fortenbery, T.R. 2005. Biodiesel Feasibility Study: An Evaluation of Biodiesel Feasibility in Wisconsin. Agricultural & Applied Economics. Staff paper series.

Franzese, P.P., Rydberg, T., Russo, G.F., Ulgiati S. Energy analysis and emergy synthesis of selected human-dominated ecosystems. A comparative view. Proceedings of V International Workshop Advances in Energy Studies, Portovenere, Itália. *No prelo*

Gelder, J.W., Dros, J.M. 2005. From rainforest to chicken breast: Effects of soybean cultivation for animal feed on people and nature in the Amazon region – a chain of custody study. Research report for the Dutch Soy Coalition commissioned by Friends of the Earth Netherlands and Cordaid. Disponível em: [www.milieudefensie.nl/landbouw/publicaties/rapporten/From%20Rainforest%20to%20Chickenbreast.pdf](http://www.milieudefensie.nl/landbouw/publicaties/rapporten/From%20Rainforest%20to%20Chickenbreast.pdf)

Giampietro, M., Ulgiati S. 2005. Integrated assessment of large-scale biofuels, *Critical Reviews in Plant Sciences* 24:1-20.

Giampietro, M., Ulgiati, S., Pimentel, D. 1997. Feasibility of Large-Scale Biofuel Production: does an enlargement of scale change the picture?. *BioScience* 47(9):587-600.

Greenpeace. 2006. Eating up the Amazon. Greenpeace International. Disponível em: [www.greenpeace.org/international/press/reports/eating-up-the-amazon](http://www.greenpeace.org/international/press/reports/eating-up-the-amazon)

Haden, A.C. 2003. Emery evaluations of Denmark and Danish agriculture. *Ekologiskt Lantbrk* nr 37.

Herendeen, R. 1998. Embodied energy, embodied everything...now what? In: *Proceedings of the First International Workshop Advances in Energy Studies. Energy Flows in Ecology and Economy*, 13-48/642, MUSIS, Roma, Italy.

Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky S., Tiffany, D. 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *PNAS*. Disponível em: <http://www.pnas.org/cgi/content/abstract/0604600103v1>

Hin, C.J.A. 2002. Perspectivas de mercado para soja sustentável na Holanda. CLM Onderzoek en Advies BV (Centro de Pesquisa para a Agricultura e Meio Ambiente) Utrecht, Holanda. Disponível em: <http://www.bothends.org/strategic/soy10.pdf> Acesso em: 01/04/2005.

Hinterberger, F., Stiller, H., 1998. Energy and material flows. In: *Proceedings of the First International Workshop Advances in Energy Studies. Energy Flows in Ecology and Economy*, 275- 286/642, MUSIS, Roma, Italy.

ISO 14040. 1997. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. The International Organization for Standardization.

ISO 14041. 1998. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Goal and Scope Definition and Life Cycle Inventory Analysis. The International Organization for Standardization.

ISO 14042. 2000. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Impact Assessment. The International Organization for Standardization.

ISO 14043. 2000. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Interpretation. The International Organization for Standardization.

Janulis, P. 2004. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. *Renewable Energy* 29(6): 861-871.

Johansson, S. 2005. The Swedish Foodprint. An Agroecological Study of Food Consumption. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. Disponível em: <http://diss-epsilon.slu.se/archive/00000843/01/FOODPRINT.pdf>

Jongbloed, A.W., Poulsen, H.D., Dourmad, J.Y., van der Peet-Schwering, C.M.C., 1999. Environmental and legislative aspects of pig production in the Netherlands, France and Denmark. *Livestock Production Science* 58: 243-249.

Kim, S., Dale, B.E. 2005. Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: Bioethanol and biodiesel. *Biomass and Bioenergy* 29: 426–439.

Leal, M. 2007. Agricultura Camponesa e Biomassa: Um Outro Projeto é Possível. Disponível em: <http://www.cooperbio.com.br/>.

Lombardi Neto, F., Drugowich, M. I. 1994. Manual técnico de manejo e conservação de solo e água. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Vol. 2.

Machado, J.A. 2001. Material Flow Analysis in Brazil. Internal report (não publicado). Manaus.

Mc Cormick, A., Aleman, T.L. 2005. Effect of biodiesel fuel on pollutant emissions from diesel engines, em Knothe G., Van Gerpen J., Krahl J. (editores), *Biodiesel Handbook*, AOC.

Mitchell, A.W., Secoy, K., Mardas, N. 2007. Forests First in the Fight Against Climate Change. Disponível em: <http://www.globalcanopy.org/vivocarbon/ForestsFirst.pdf>

Muñoz, E.F.P. 2007. Utilização da biomassa pela agricultura camponesa na perspectiva da produção consorciada de alimento e energia: o caso da Cooperbio, RS. Dissertação de mestrado do programa de pós-graduação em agroecossistemas. Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, agosto de 2007.

- Nobre, C.A. 2004. Mudanças climáticas globais. Disponível em:  
[http://www.aesabesp.com.br/saneas/fe\\_mudancas\\_climaticas\\_nobre.pdf](http://www.aesabesp.com.br/saneas/fe_mudancas_climaticas_nobre.pdf). Acesso em 07/06/2005.
- Novaes, W. 2004. Em busca do caminho das pedras. Disponível em:  
<http://www.comitepaz.org.br/WNovaes.htm>
- Odum, H. T. 2000a. Emergy evaluation of an OTEC electrical power system. *Energy*, 25: 389-393.
- Odum, H. T. 2000b. Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. Folio No. 2 - Emergy of Global Processes. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, USA, 28 pp. Disponível em: <http://www.ees.ufl.edu/cep/> Acesso em: 10/10/2004.
- Odum, H.T. 1996. Environmental Accounting. Emergy and Environmental Decision Making. J.Wiley & Sons. NY.
- Odum, H.T. 1983. Systems Ecology: An Introduction. J.Wiley & Sons. NY.
- Odum, H.T. 1971. Environment, Power and Society. J.Wiley & Sons. NY.
- Odum, H.T., Odum, E.C. 2001. A prosperous way down. Principles and Policies. University Press of Colorado. Boulder, Colorado, USA.
- Odum, H.T., Brown, M.T., Brandt-Williams, S.L. 2001. Handbook of Emergy Evaluation: A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. Folio No. 1 - Introduction and Global Budget. Center for Environmental Policy, Environmental Engineering Sciences, Univ. of Florida, Gainesville, USA, 17 pp. Disponível em: <http://www.ees.ufl.edu/cep/> Acesso em: 10/10/2004.
- Oliveira, M.E.D., Vaughan, B.E., Rykiel Jr., E.J. 2005. Ethanol as Fuel: Energy, Carbon Dioxide Balances, and Ecological Footprint. *BioScience* 55 (7): 593-602.
- Ortega, E., Cavalett, O., Bonifacio, R., Watanabe, M. 2005. Brazilian Soybean Production: Emergy Analysis With an Expanded Scope. *Bulletin of Science, Technology & Society* 25 (4): 323-334.

Ortega, E. 2003. Análise Energética: Uma ferramenta para quantificar a Sustentabilidade dos agroecossistemas. In: Engenharia Ecológica e Agricultura Sustentável. Organizador: Ortega, E. Disponível em: <http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/index.htm>. Acesso em: 15/03/2005.

Ortega, E. 2002. Agenda 21, Rio+10 e as questões de Energia e Desenvolvimento. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/plan-disc/Agenda21-Energia.pdf>. Acesso em: 15/03/2005.

Ortega, E., Watanabe, M., Cavalett, O. 2007. A Produção de Etanol em Micro e Mini-Destilarias. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/MarcelloMello/mini-usina-Ortega.pdf>

Ortega, E., Anami, M., Diniz, G. 2002. Certification of food products using emegy analysis. Proceedings of III International Workshop Advances in Energy Studies, Porto Venere, Itália, 227-237.

Panzzieri, M., Marchettini, N., Hallam, T.G. 2000. Importance of the Bradhyrizobium japonicum symbiosis for the sustainability of a soybean cultivation. Ecological Modelling 135: 301-310.

Pengue, W. 2004. Producción agroexportadora e (in)seguridad alimentaria: El caso de la soja en Argentina. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica 1: 46-55.

Pimentel, D., Patzek, T.W. 2005. Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. Natural Resources Research 14 (1): 65-75.

Pimentel, D., Pimentel, M. 1996. Food, energy and society. University Press of Colorado.

Pimentel, D. 1980. Handbook of energy utilization in agriculture. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Pimentel, D., Warneke, A.F., Teel, W.S., Schwab, K.A., Simcox, N.J., Evert, D.M., Baenisch, K.D., Aaron, M.R. 1988. Food versus biomass fuel: Socioeconomic and environmental impacts in the United States, Brazil, India, and Kenya. Advanced Food Research 32: 185-238.

Pizzigallo, A.C.I., Granai C., Borsa S. 2008. The joint use of LCA and emergy evaluation for the analysis of two Italian wine farms. *Journal of Environmental Management* 86: 396-406.

Prado-Jatar, M.A., Brown M.T. 1997. Interface ecosystems with an oil spill in a Venezuelan tropical savannah, *Ecological Engineering* 8: 49-78.

Pretty, J.N., Ball, A.S., Lang, T. Morison J.I.L. 2005. Farm costs and food miles: An assessment of the full cost of the UK weekly food basket, *Food Policy* 30 (1): 1-19.

Pretty, J.N., Brett, C., Gee, D., Hine, R.E., Mason, C.F., Morison, J.I.L., Raven, H., Rayment, M.D., van der Bijl, G. 2000. An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural Systems*, *Agricultural Systems* 65 (2): 113-136.

Pretty, J.N., Brett, C., Gee, D., Hine, R.E., Mason, C.F., Morison, J.I.L., Rayment, M.D., van der Bijl, G., Dobbs, T. 2001. Policy and Practice: Policy Challenges and Priorities for Internalizing the Externalities of Modern Agriculture. *Journal of Environmental Planning and Management* 44(2): 263-283.

Raugei, M., Bargigli, S., Ulgiati, S., 2005. A multi-criteria life cycle assessment of Molten Carbonate Fuel Cells (MCFC). A comparison to natural gas turbines. *Int. J. Hydrogen Energy* 30 (2): 123–130.

Schlesinger, S., Noronha, S. 2006. O Brasil está nu! O avanço da monocultura de soja, o grão que cresceu demais. *Fase*, 148 pp.

Schlesinger, S., Laschefski, K., Assis, W.F.T., Rodrigues, D. Ortiz, L. 2006. Agronegócio + Agroenergia: Impactos Cumulativos e Tendências Territoriais da Expansão das Monoculturas para a Produção de Bioenergia. Disponível em: [http://boell-latinoamerica.org/download\\_pt/Agronegocio\\_e\\_biocombustiveis\\_PORT.pdf](http://boell-latinoamerica.org/download_pt/Agronegocio_e_biocombustiveis_PORT.pdf)

Schmidt-Bleek, F. 1993. MIPS re-visited. *Fresenius Environ. Bull.* 2, 407–412.

Schnepf, R.D., Dohlman, E., Bolling, C. 2001. Agriculture in Brazil and Argentina: Developments and Prospects for Major Field Crops. Market and Trade Economics Division, Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture (USDA), Agriculture

and Trade Report. WRS-01-3. Disponível em:

<http://www.ers.usda.gov/publications/wrs013/> Acesso em: 06/06/2005.

Sheehan, J, Camobreco, V, Duffield, J, Graboski, M, Shapouri, H. 1998. Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus, Final Report, National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR-580-24089 UC Category 1503, Disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24089.pdf>

Slessor, M. (Ed.). 1974. Energy Analysis Workshop on Methodology and Conventions. IFIAS, Stockholm, Sweden, 89 pp.

Smil, V. 1991. General energetics. John Wiley & Sons, New York, 369 pp.

Spadotto, C.A., Gomes, M.A.F. 2004. Impactos Ambientais de agrotóxicos: monitoramento e avaliação. In: Avaliação e contabilização de impactos ambientais. Romeiro, A.R. (organizador). Campinas, SP: Editora da UNICAMP, São Paulo, SP.

Tavares, C.E.C. 2004. Fatores Críticos à Competitividade da Soja no Paraná e no Mato Grosso. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Disponível em: <http://www.conab.gov.br/download/cas/especiais/Trabalho%20sobre%20Competitividade%20Soja%20MT%20e%20PR.pdf> Acesso em: 01/04/2005.

Triolo, L., Mariani, A., Tomarchio, L. 1984. L'uso dell'energia nella produzione agricola e vegetale in Italia. Bilanci energetici e considerazioni metodologiche. Working paper RT/FARE/84/12, ENEA (Comitato Nazionale per la Ricerca e lo Sviluppo dell'Energia Nucleare e delle Energie Alternative), pp. 115. Roma, Italy.

Ulgiati, S., Raugei, M., Bargigli, S. 2006. Overcoming the inadequacy of single-criterion approaches to Life Cycle Assessment. *Ecological Modelling* 190: 432-442.

Ulgiati, S. 2001. A Comprehensive Energy and Economic Assessment of Biofuels: When "Green" Is Not Enough. *Critical Reviews in Plant Sciences* 20 (1): 71-106.

Ulgiati, S., Bargigli, S., Raugei, M., 2003a. Can a process sustainability be assessed by means of thermodynamic and ecological impact categories? *Ecol. Questions* 3: 153–158.

Ulgiati, S., Bargigli, S., Raugei, M., 2003b. Integrated indicators to assess design, performance and environmental sustainability of energy conversion processes. In:

Proceedings of the International Conference Integrative Approaches Towards Sustainability, Riga, Latvia.

Ulgianti, S., Sciubba, E. 2002. Thermodynamic and environmental assessment of bioethanol production from corn. Benchmark case for a comparison of different system evaluation criteria. Proceedings of III International Workshop Advances in Energy Studies, Portovenere, Itália, 629-647.

Ulgianti, S., Brown, M.T. 2002. Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions. The case of electricity production. Journal of Cleaner Production 10: 335-348.

Ulgianti, S., Brown, M.T. 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. Ecological Modelling, 108: 23-36.

Ulgianti, S., Odum, H.T., Bastianoni, S. 1994. Emergy use, Environmental loading and sustainability. An emergy analysis of Italy. Ecological Modelling 73: 215–268.

UNDP. 1998. Zero tillage in Brazil. In: Sharing Innovative Experiences. UNDP Special Unit for Technical Cooperation among Developing Countries, Vol. 5, 21 p.

USDA, 2005. Oilseeds: World Markets and Trade. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov/oilseeds/circular/2005/05-03/toc.htm> Acesso em : 07/04/2005.

Venturi, P., Venturi, G. 2003. Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems, Biomass and Bioenergy 25(3):235-255.

Yang, H., Shen, J., Hu, S. 2003. Evaluating waste treatment, recycle and reuse in industrial system, an application of the emergy approach. Ecological Modelling 160: 13-21.

Yoshida, Y., Dowaki, K., Matsumura, Y., Matsushashi, R., Li, D., Ishitani, H., Komiyama, H. 2003. Comprehensive comparison of efficiency and CO<sub>2</sub> emissions between biomass energy conversion technologies-position of supercritical water gasification in biomass technologies. Biomass and Bioenergy 25: 257-272.

Werf, H.M.G. van der, Petit, J., Sanders, J. 2005. The environmental impacts of the production of concentrated feed: the case of pig feed in Bretagne. Agricultural Systems 83: 153–177.

West T.O., Marland G. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 91: 217–232.

World Commission on Environment and Development (WCED). 1987. *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford.

Wurbs, J., Nickel, R., Rohn, H., Liedtke, C. 1996. *Materialintensitätsanalysen von Grund-, Werk- und Baustoffen*, Wuppertal Papers Nr. 64, 1996.

WWF. 2006. *Fatos sobre a produção de soja e os Critérios Basel*. Disponível em: [http://assets.panda.org/downloads/sus\\_portug\\_factsheet\\_soja.pdf](http://assets.panda.org/downloads/sus_portug_factsheet_soja.pdf)

WWF. 2003. *Soy Expansion – Losing Forests to Fields*. Disponível em: <http://assets.panda.org/downloads/wwfsoyexpansion.pdf>



## **9. ANEXOS**

---

**9.1 Tabelas de fluxo de massa, energia e emergia para todas as etapas do ciclo de vida da soja consideradas neste trabalho.**

Tabela 34: Fluxos de massa (escala local e global) para as etapas consideradas do ciclo de vida da soja (valores médios por hectare por ano).

Nota	Descrição do fluxo	Unidade	Valor	MIF abiótico	Ref. <sup>a</sup>	Massa abiótica	MIF água	Ref. <sup>a</sup>	Massa água	MIF ar	Ref. <sup>a</sup>	Massa ar	MIF biótico	Ref. <sup>a</sup>	Massa biótica
<b>Fase agrícola</b>															
<i>Inputs renováveis</i>															
1	Sol	J	(*)												
2	Chuva	kg	1,72E+07	0,0	[a]	0,00E+00	1,00	[a]	1,72E+07	0,0	[a]	0,00E+00	0,0	[a]	0,00E+00
3	Calor interno da terra	J	(*)												
4	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese														
	O <sub>2</sub>	kg	1,77E+02												
	N <sub>2</sub> no ar necessário para combustão	kg	5,78E+02												
	Ar e outros gases menores no ar	kg	9,80E+00												
	CO <sub>2</sub> usado na fotossíntese	kg	5,96E+03												
	H <sub>2</sub> O usada na fotossíntese	kg	5,40E+03												
5	N <sub>2</sub> fixado da atmosfera	kg	6,00E+01												
<i>Inputs não renováveis</i>															
6	Perda de solo	kg	1,70E+04	0,66	[a]	1,12E+04	0,30	[a]	5,10E+03	0,0	[a]	0,00E+00	0,04	[a]	6,80E+02
7	Calcário	kg	3,75E+02	1,66	[c]	6,23E+02	9,70	[c]	3,64E+03	0,06	[c]	2,25E+01	0,0	[c]	0,00E+00
8	Herbicidas Inseticidas e agrotóxicos	kg	4,80E+00	1,10	[b]	5,28E+00	0,0	[b]	0,00E+00	0,0	[b]	0,00E+00	0,0	[b]	0,00E+00
9	Sementes Nitrogênio no fertilizante	kg	3,20E+00	1,10	[b]	3,52E+00	0,0	[b]	0,00E+00	0,0	[b]	0,00E+00	0,0	[b]	0,00E+00
10	Sementes Fósforo no fertilizante	kg	6,90E+01	4,62	[d]	3,19E+02	606	[d]	4,18E+05	0,04	[d]	2,76E+00	0,24	[d]	1,66E+01
11	Potássio no fertilizante	kg	0,00E+00	1,10	[b]	0,00E+00	0,0	[b]	0,00E+00	0,0	[b]	0,00E+00	0,0	[b]	0,00E+00
12	Diesel	kg	3,38E+01	3,44	[c]	1,16E+02	23,30	[c]	7,87E+02	1,29	[c]	4,36E+01	0,0	[c]	0,00E+00
13	Eletricidade	kg	6,54E+01	11,32	[c]	7,40E+02	10,60	[c]	6,93E+02	0,07	[c]	4,58E+00	0,0	[c]	0,00E+00
14	Aço no maquinário agrícola	kg	5,46E+01	1,36	[c]	7,43E+01	9,70	[c]	5,30E+02	0,02	[c]	1,04E+00	0,0	[c]	0,00E+00
15	fertilizante orgânico	kWh	(*)	2,09	[e]	7,09E+01	5,86	[e]	1,99E+02	0,37	[e]	1,25E+01	0,0	[e]	0,00E+00
16	Outros <i>inputs</i> orgânicos	kg	2,50E+01	9,32	[c]	2,33E+02	81,90	[c]	2,05E+03	0,77	[c]	1,93E+01	0,0	[c]	0,00E+00
17		kg	0,00E+00												
18		kg	0,00E+00												

19	Construções agrícolas	US\$	(*)												
20	Mão-de-obra local	anos	(*)												
21	Mão-de-obra contratada	anos	(*)												
22	Externalidades	US\$	(*)												
23	Serviços	US\$	(*)												
	<i>Produtos e co-produtos</i>														
24a	Soja (°)	kg.	2,83E+03	4,62	[d]	1,31E+04	6060,38	[d]	1,72E+07	0,04	[d]	1,04E+02	0,24	[d]	6,80E+02
24b	Resíduos no campo (°)	kg	4,25E+03												
	<i>Emissões aéreas</i>														
25a	Água evapotranspirada	kg	1,06E+07												
	Q2 liberado da														
25b	fotossíntese	kg	4,47E+03												
25c	<i>Gases de combustão</i>														
	CO2	kg	1,74E+02												
	H2O	kg	5,39E+01												
	N2 não reagido	kg	5,77E+02												
	Ar não reagido	kg	9,80E+00												
	NOx	kg	2,99E+00												
	SO2	kg	0,00E+00												
	CO	kg	1,21E+00												
	VOC	kg	4,37E-01												
	CH4	kg	0,00E+00												
	Particulados	kg	2,35E-01												
	<i>Emissões líquidas</i>														
26	Água que escorre	kg	6,52E+06												
	<i>Emissões sólidas</i>														
27a	Solo usado (erosão)	kg	1,70E+04												
27b	Maquinário agrícola (aço)	kg	2,50E+01												
	<i>Outras emissões estimadas da plantação de soja</i>														
28a	NO3	kg	3,60E+01												
38b	N2O	kg	7,50E-01												
28c	Fósforo	kg	3,00E+00												
	<i>Entrada-Saída</i>	kg	3,85E+02												

<b>Fase de transporte</b>															
<i>Input de matéria prima</i>															
24a	Soja	kg	2,83E+03	4,62	[d]	1,31E+04	6060,38	[d]	1,72E+07	0,04	[d]	1,04E+02	0,24	[d]	6,80E+02
<i>Inputs renováveis</i>															
29	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese														
	O2	kg	1,38E+01												
	N2 no ar necessário para combustão	kg	4,49E+01												
	Ar e outros gases menores no ar	kg	7,62E-01												
<i>Inputs não renováveis</i>															
30	Aço para maquinário	kg	1,98E+00	107,00	[c]	2,12E+02	927,00	[c]	1,84E+03	102,00	[c]	2,02E+02	0,0	[c]	0,00E+00
31	Diesel	kg	4,25E+00	1,36	[c]	5,78E+00	9,70	[c]	4,12E+01	0,02	[c]	8,07E-02	0,0	[c]	0,00E+00
32	Mão-de-obra	anos	(*)												
33	Serviços	US\$	(*)												
<i>Produtos e co-produtos</i>															
34	Soja transportada	kg	2,83E+03	4,70	[d]	1,33E+04	6061,04	[d]	1,72E+07	0,11	[d]	3,06E+02	0,24	[d]	6,80E+02
<i>Emissões aéreas</i>															
35	Gases de combustão														
	CO2	kg	1,35E+01												
	H2O	kg	4,21E+00												
	N2 não reagido	kg	4,49E+01												
	Ar não reagido	kg	7,62E-01												
	NOx	kg	2,01E-01												
	SO2	kg	0,00E+00												
	CO	kg	1,64E-01												
	VOC	kg	1,70E-02												
	CH4	kg	0,00E+00												
	Particulados	kg	1,83E-02												
<i>Emissões sólidas</i>															
36	Maquinário (aço)	kg	1,98E+00												
	<i>Entrada-Saída</i>	kg	0,00E+00												
<b>Processo de esmagamento</b>															
<i>Input de matéria prima</i>															

34	Soja	kg	2,83E+03	4,70	[d]	1,33E+04	6061,04	[d]	1,72E+07	0,11	[d]	3,06E+02	0,24	[d]	6,80E+02
<i>Inputs renováveis</i>															
37	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese														
	O <sub>2</sub>	kg	1,52E+02												
	N <sub>2</sub> no ar necessário para combustão	kg	4,96E+02												
	Ar e outros gases menores no ar	kg	9,00E+00												
<i>Inputs não renováveis</i>															
38	Aço para maquinário industrial	kg	2,84E-01	9,32	[c]	2,65E+00	81,90	[c]	2,32E+01	0,77	[c]	2,19E-01	0,0	[c]	0,00E+00
39	Cimento	kg	2,76E-01	1,33	[c]	3,67E-01	3,40	[c]	9,38E-01	0,04	[c]	1,21E-02	0,0	[c]	0,00E+00
40	Ferro	kg	1,13E-02	21,58	[c]	2,44E-01	504,90	[c]	5,70E+00	5,08	[c]	5,73E-02	0,0	[c]	0,00E+00
41	Diesel	kg	5,07E+01	1,36	[c]	6,89E+01	9,70	[c]	4,92E+02	0,02	[c]	9,63E-01	0,0	[c]	0,00E+00
42	Eletricidade	kWh	(*)	2,09	[e]	6,24E-02	5,86	[e]	1,75E-01	0,37	[e]	1,10E-02	0,0	[e]	0,00E+00
43	Água	kg.	2,04E+03	0,01	[c]	2,04E+01	1,30	[c]	2,65E+03	0,001	[c]	2,04E+00	0,0	[c]	0,00E+00
44	Hexano	kg	3,40E+00	1,00	[a]	3,40E+00	0,0	[a]	0,00E+00	0,0	[a]	0,00E+00	0,0	[a]	0,00E+00
45	Mão-de-Obra	anos	(*)												
46	Serviços	\$	(*)												
<i>Produtos e co-produtos</i>															
	Total de MI					1,34E+04			1,72E+07			3,09E+02			6,80E+02
47a	Óleo de soja	kg	5,10E+02												
	Sem alocação	1,00E+00		26,29	[d]	1,34E+04	33678,68	[d]	1,72E+07	0,61	[d]	3,09E+02	1,33	[d]	6,80E+02
	Alocação pela massa	1,80E-01		4,73	[d]	2,41E+03	6062,16	[d]	3,09E+06	0,11	[d]	5,56E+01	0,24	[d]	1,22E+02
	Alocação pela energia	3,56E-01		9,35	[d]	4,77E+03	11980,09	[d]	6,11E+06	0,22	[d]	1,10E+02	0,47	[d]	2,42E+02
	Alocação pelo preço	3,78E-01		9,94	[d]	5,07E+03	12740,87	[d]	6,49E+06	0,23	[d]	1,17E+02	0,50	[d]	2,57E+02
47b	Farelo de soja	kg	2,30E+03												
	Sem alocação	1,00E+00		5,82	[d]	1,34E+04	7456,53	[d]	1,72E+07	0,13	[d]	3,09E+02	0,30	[d]	6,80E+02
	Alocação pela massa	8,13E-01		4,73	[d]	1,09E+04	6062,16	[d]	1,40E+07	0,11	[d]	2,51E+02	0,24	[d]	5,53E+02
	Alocação pela energia	6,30E-01		3,67	[d]	8,45E+03	4700,97	[d]	1,08E+07	0,08	[d]	1,95E+02	0,19	[d]	4,29E+02
	Alocação pelo preço	6,07E-01		3,53	[d]	8,13E+03	4525,98	[d]	1,04E+07	0,08	[d]	1,88E+02	0,18	[d]	4,13E+02
47c	Lecitina	kg	1,98E+01												
	Sem alocação	1,00E+00		675,94	[d]	1,34E+04	866023,15	[d]	1,72E+07	15,59	[d]	3,09E+02	34,30	[d]	6,80E+02
	Alocação pela massa	7,00E-03		4,73	[d]	9,38E+01	6062,16	[d]	1,20E+05	0,11	[d]	2,16E+00	0,24	[d]	4,76E+00
	Alocação pela energia	1,38E-02		9,35	[d]	1,85E+02	11980,09	[d]	2,37E+05	0,22	[d]	4,28E+00	0,47	[d]	9,41E+00
	Alocação pelo preço	1,47E-02		9,94	[d]	1,97E+02	12740,87	[d]	2,53E+05	0,23	[d]	4,55E+00	0,50	[d]	1,00E+01

<i>Emissões aéreas</i>														
48	Gases de combustão													
	CO2	kg		1,74E+02										
	H2O	kg		2,85E+01										
	N2 não reagido	kg		4,96E+02										
	Ar não reagido	kg		9,00E+00										
	NOx	kg		4,51E-02										
	SO2	kg		1,46E-02										
	CO	kg		3,83E-02										
	VOC	kg		1,51E-03										
	CH4	kg		1,87E-04										
	Particulados	kg		7,44E-03										
<i>Emissões Líquidas</i>														
49a	Efluentes	kg		2,04E+03										
49b	Produtos químicos	kg		1,32E+00										
<i>Emissões sólidas</i>														
Maquinário industrial														
50a	(aço)	kg		2,84E-01										
50b	Cimento	kg		2,76E-01										
50c	Ferro	kg		1,13E-02										
	<i>Entrada-saída</i>	kg		2,07E+00										
<b>Processo de refino do óleo de soja</b>														
<i>Input de matéria prima</i>														
Óleo de soja														
47a	degomado	kg		5,10E+02										
	Sem alocação		26,29	[d]	1,34E+04	33678,68	[d]	1,72E+07	0,61	[d]	3,09E+02	1,33	[d]	6,80E+02
	Alocação pela massa		4,73	[d]	2,41E+03	6062,16	[d]	3,09E+06	0,11	[d]	5,56E+01	0,24	[d]	1,22E+02
	Alocação pela energia		9,35	[d]	4,77E+03	11980,09	[d]	6,11E+06	0,22	[d]	1,10E+02	0,47	[d]	2,42E+02
	Alocação pelo preço		9,94	[d]	5,07E+03	12740,87	[d]	6,49E+06	0,23	[d]	1,17E+02	0,50	[d]	2,57E+02
<i>Inputs renováveis</i>														
51	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese													
	O2	kg		5,50E+00										
	N2 no ar necessário para combustão	kg		1,80E+01										
	Ar e outros gases	kg		3,26E-01										

menores no ar

*Inputs não renováveis**Aço para maquinário*

52	industrial	kg	2,89E-01	9,32	[c]	2,70E+00	81,90	[c]	2,37E+01	0,77	[c]	2,23E-01	0,0	[c]	0,00E+00
53	Cimento	kg	2,30E-01	1,33	[c]	3,06E-01	3,40	[c]	7,82E-01	0,04	[c]	1,01E-02	0,0	[c]	0,00E+00
54	Ferro	kg	7,13E-03	21,58	[c]	1,54E-01	504,90	[c]	3,60E+00	5,08	[c]	3,62E-02	0,0	[c]	0,00E+00
55	Diesel	kg	1,84E+00	1,36	[c]	2,50E+00	9,70	[c]	1,78E+01	0,02	[c]	3,49E-02	0,0	[c]	0,00E+00
56	Eletricidade	kWh	(*)	2,09	[e]	2,62E-02	5,86	[e]	7,35E-02	0,37	[e]	4,63E-03	0,0	[e]	0,00E+00
57	Água	kg.	4,16E+02	0,01	[c]	4,16E+00	1,30	[c]	5,41E+02	0,001	[c]	4,16E-01	0,0	[c]	0,00E+00
58	Acido fosfórico	kg	2,55E-01	1,00	[a]	2,55E-01	0,0	[a]	0,00E+00	0,0	[a]	0,00E+00	0,0	[a]	0,00E+00
59	Hidróxido de sódio	kg	2,28E+00	2,76	[c]	6,30E+00	90,30	[c]	2,06E+02	1,06	[c]	2,43E+00	0,0	[c]	0,00E+00
60	Terra clarificante	kg	1,78E+00	1,00	[a]	1,78E+00	0,0	[a]	0,00E+00	0,0	[a]	0,00E+00	0,0	[a]	0,00E+00
61	Acido cítrico	kg	3,06E-03	1,00	[a]	3,06E-03	0,0	[a]	0,00E+00	0,0	[a]	0,00E+00	0,0	[a]	0,00E+00
62	Mão-de-Obra	anos	(*)												
63	Serviços	\$	(*)												
<i>Produtos e co-produtos</i>															
64a	Óleo refinado	kg	4,98E+02												
	Sem alocação			26,96	[d]	1,34E+04	34490,77	[d]	1,72E+07	0,63	[d]	3,12E+02	1,37	[d]	6,80E+02
	Alocação pela massa			4,88	[d]	2,43E+03	6209,65	[d]	3,09E+06	0,12	[d]	5,88E+01	0,25	[d]	1,22E+02
	Alocação pela energia			9,61	[d]	4,78E+03	12269,99	[d]	6,11E+06	0,23	[d]	1,13E+02	0,49	[d]	2,42E+02
	Alocação pelo preço			10,22	[d]	5,09E+03	13049,08	[d]	6,50E+06	0,24	[d]	1,20E+02	0,52	[d]	2,57E+02
64b	Impurezas	kg	1,02E+01												
64c	Terra/Óleo	kg	2,34E+00												
64d	Ácidos graxos	kg	1,22E+00												
<i>Emissões aéreas</i>															
65	Gases de combustão														
	CO2	kg	6,30E+00												
	H2O	kg	1,03E+00												
	N2 não reagido	kg	1,80E+01												
	Ar não reagido	kg	3,26E-01												
	NOx	kg	1,63E-03												
	SO2	kg	5,30E-04												
	CO	kg	1,39E-03												
	VOC	kg	5,47E-05												
	CH4	kg	6,77E-06												
	Particulados	kg	2,69E-04												

<i>Emissões líquidas</i>															
66a	Efluentes	kg	4,16E+02												
66b	Produtos químicos	kg	2,31E-01												
<i>Emissões sólidas</i>															
<i>Maquinário industrial</i>															
67a	(aço)	kg	2,89E-01												
67b	Cimento	kg	2,30E-01												
67c	Ferro	kg	7,13E-03												
	<i>Entrada-saída</i>	kg	4,09E+00												
<b>Transporte ferroviário do farelo de soja</b>															
<i>Input de matéria prima</i>															
47b	Farelo de soja	kg	2,30E+03												
	Sem alocação			5,82	[d]	1,34E+04	7456,53	[d]	1,72E+07	0,13	[d]	3,09E+02	0,30	[d]	6,80E+02
	Alocação pela massa			4,73	[d]	1,09E+04	6062,16	[d]	1,40E+07	0,11	[d]	2,51E+02	0,24	[d]	5,53E+02
	Alocação pela energia			3,67	[d]	8,45E+03	4700,97	[d]	1,08E+07	0,08	[d]	1,95E+02	0,19	[d]	4,29E+02
	Alocação pelo preço			3,53	[d]	8,13E+03	4525,98	[d]	1,04E+07	0,08	[d]	1,88E+02	0,18	[d]	4,13E+02
<i>Inputs renováveis</i>															
68	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese														
	O <sub>2</sub>	kg	7,87E+01												
	N <sub>2</sub> no ar necessário para combustão	kg	2,57E+02												
	Ar e outros gases menores no ar	kg	4,36E+00												
<i>Inputs não renováveis</i>															
69	Aço para maquinário	kg	1,92E+00	107,00	[c]	2,05E+02	927,00	[c]	1,78E+03	102,00	[c]	1,96E+02	0,0	[c]	0,00E+00
70	Diesel	kg	2,38E+01	1,36	[c]	3,24E+01	9,70	[c]	2,31E+02	0,02	[c]	4,53E-01	0,0	[c]	0,00E+00
71	Mão-de-obra	anos	(*)												
72	Serviços	US\$	(*)												
<i>Produtos e co-produtos</i>															
73	Farelo de soja transportado	kg	2,30E+03												
	Sem alocação			5,92	[d]	1,36E+04	7457,41	[d]	1,72E+07	0,22	[d]	5,05E+02	0,30	[d]	6,80E+02
	Alocação pela massa			4,83	[d]	1,11E+04	6063,03	[d]	1,40E+07	0,19	[d]	4,47E+02	0,24	[d]	5,53E+02
	Alocação pela energia			3,77	[d]	8,69E+03	4701,84	[d]	1,08E+07	0,17	[d]	3,91E+02	0,19	[d]	4,29E+02
	Alocação pelo preço			3,64	[d]	8,37E+03	4526,85	[d]	1,04E+07	0,17	[d]	3,84E+02	0,18	[d]	4,13E+02

<i>Emissões aéreas</i>															
74	Gases de combustão														
	CO2	kg	7,69E+01												
	H2O	kg	2,37E+01												
	N2 não reagido	kg	2,56E+02												
	Ar não reagido	kg	4,36E+00												
	NOx	kg	2,31E+00												
	SO2	kg	1,60E-02												
	CO	kg	1,88E-01												
	VOC	kg	7,06E-02												
	CH4	kg	3,46E-03												
	N2O	kg	1,82E-03												
	Particulados	kg	4,73E-02												
<i>Emissões sólidas</i>															
75	Maquinário industrial (aço)	kg	1,92E+00												
	<i>Entrada-saída</i>	kg	-5,28E-03												
<b>Transporte naval do farelo de soja</b>															
<i>Input de matéria prima</i>															
73	Farelo de soja	kg	2,30E+03												
	Sem alocação			5,92	[d]	1,36E+04	7457,41	[d]	1,72E+07	0,22	[d]	5,05E+02	0,30	[d]	6,80E+02
	Alocação pela massa			4,83	[d]	1,11E+04	6063,03	[d]	1,40E+07	0,19	[d]	4,47E+02	0,24	[d]	5,53E+02
	Alocação pela energia			3,77	[d]	8,69E+03	4701,84	[d]	1,08E+07	0,17	[d]	3,91E+02	0,19	[d]	4,29E+02
	Alocação pelo preço			3,64	[d]	8,37E+03	4526,85	[d]	1,04E+07	0,17	[d]	3,84E+02	0,18	[d]	4,13E+02
<i>Inputs renováveis</i>															
76	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese														
	O2	kg	6,96E+02		[a]										
	N2 no ar necessário para combustão	kg	2,27E+03		[a]										
	Ar e outros gases menores no ar	kg	3,85E+01		[a]										
<i>Inputs não renováveis</i>															
77	Aço para maquinário	kg	2,17E+01	107,00	[c]	2,32E+03	927,00	[c]	2,01E+04	102,00	[c]	2,21E+03	0,0	[c]	0,00E+00
78	Diesel	kg	2,10E+02	1,36	[c]	2,86E+02	9,70	[c]	2,04E+03	0,02	[c]	4,00E+00	0,0	[c]	0,00E+00
79	Mão-de-obra	anos	(*)												

80	Serviços	US\$	(*)												
	<i>Produtos e co-produtos</i>														
81	Farelo de soja transportado	kg	2,30E+03												
	Sem alocação			7,06	[d]	1,62E+04	7467,03	[d]	1,72E+07	1,18	[d]	2,72E+03	0,30	[d]	6,80E+02
	Alocação pela massa			5,97	[d]	1,37E+04	6072,66	[d]	1,40E+07	1,16	[d]	2,67E+03	0,24	[d]	5,53E+02
	Alocação pela energia			4,91	[d]	1,13E+04	4711,47	[d]	1,08E+07	1,13	[d]	2,61E+03	0,19	[d]	4,29E+02
	Alocação pelo preço			4,77	[d]	1,10E+04	4536,48	[d]	1,04E+07	1,13	[d]	2,60E+03	0,18	[d]	4,13E+02
	<i>Emissões aéreas</i>														
82	Gases de combustão														
	CO2	kg	6,79E+02												
	H2O	kg	2,09E+02												
	N2 não reagido	kg	2,26E+03												
	Ar não reagido	kg	3,85E+01												
	NOx	kg	2,16E+01												
	SO2	kg	1,42E-01												
	CO	kg	1,76E+00												
	VOC	kg	6,62E-01												
	CH4	kg	3,24E-02												
	N2O	kg													
	Particulados	kg	4,43E-01												
	<i>Emissões sólidas</i>														
83	Maquinário industrial (aço)	kg	2,17E+01												
	Entrada-saída	kg	-3,24E-02												
	<b>Transporte rodoviário do farelo de soja</b>														
	<i>Input de matéria prima</i>														
81	Farelo de soja	kg	2,30E+03												
	Sem alocação			7,06	[d]	1,62E+04	7467,03	[d]	1,72E+07	1,18	[d]	2,72E+03	0,30	[d]	6,80E+02
	Alocação pela massa			5,97	[d]	1,37E+04	6072,66	[d]	1,40E+07	1,16	[d]	2,67E+03	0,24	[d]	5,53E+02
	Alocação pela energia			4,91	[d]	1,13E+04	4711,47	[d]	1,08E+07	1,13	[d]	2,61E+03	0,19	[d]	4,29E+02
	Alocação pelo preço			4,77	[d]	1,10E+04	4536,48	[d]	1,04E+07	1,13	[d]	2,60E+03	0,18	[d]	4,13E+02
	<i>Inputs renováveis</i>														
84	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese														

	O2	kg	5,97E+00		[a]										
	N2 no ar necessário para combustão	kg	1,95E+01		[a]										
	Ar e outros gases menores no ar	kg	3,30E-01		[a]										
	<i>Inputs não renováveis</i>														
85	Aço para maquinário	kg	3,44E+00	107,00	[c]	3,68E+02	927,00	[c]	3,19E+03	102,00	[c]	3,51E+02	0,0	[c]	0,00E+00
86	Diesel	kg	1,84E+00	1,36	[c]	2,51E+00	9,70	[c]	1,79E+01	0,02	[c]	3,50E-02	0,0	[c]	0,00E+00
87	Mão-de-obra	anos	(*)												
88	Serviços	US\$	(*)												
	<i>Produtos e co-produtos</i>														
89	Farelo de soja transportado	kg	2,30E+03												
	Sem alocação			7,22	[d]	1,66E+04	7468,42	[d]	1,72E+07	1,34	[d]	3,07E+03	0,30	[d]	6,80E+02
	Alocação pela massa			6,13	[d]	1,41E+04	6074,05	[d]	1,40E+07	1,31	[d]	3,02E+03	0,24	[d]	5,53E+02
	Alocação pela energia			5,07	[d]	1,17E+04	4712,86	[d]	1,09E+07	1,29	[d]	2,96E+03	0,19	[d]	4,29E+02
	Alocação pelo preço			4,93	[d]	1,14E+04	4537,87	[d]	1,04E+07	1,28	[d]	2,95E+03	0,18	[d]	4,13E+02
	<i>Emissões aéreas</i>														
90	Gases de combustão														
	CO2	kg	5,84E+00												
	H2O	kg	1,83E+00												
	N2 não reagido	kg	1,95E+01												
	Ar não reagido	kg	3,30E-01												
	NOx	kg	8,72E-02												
	SO2	kg	0,00E+00												
	CO	kg	7,11E-02												
	VOC	kg	7,37E-03												
	CH4	kg	0,00E+00												
	Particulados	kg	7,92E-03												
	<i>Emissões sólidas</i>														
91	Maquinário industrial (aço)	kg	3,44E+00												
	Entrada-saída	kg	0,00E+00												
	<b>Produção de biodiesel</b>														
	<i>Input de matéria prima</i>														

47a	Óleo de soja degomado	kg	5,10E+02												
	Sem alocação			26,29	[d]	1,34E+04	33678,68	[d]	1,72E+07	0,61	[d]	3,09E+02	1,33	[d]	6,80E+02
	Alocação pela massa			4,73	[d]	2,41E+03	6062,16	[d]	3,09E+06	0,11	[d]	5,56E+01	0,24	[d]	1,22E+02
	Alocação pela energia			9,35	[d]	4,77E+03	11980,09	[d]	6,11E+06	0,22	[d]	1,10E+02	0,47	[d]	2,42E+02
	Alocação pelo preço			9,94	[d]	5,07E+03	12740,87	[d]	6,49E+06	0,23	[d]	1,17E+02	0,50	[d]	2,57E+02
	<i>Inputs renováveis</i>														
92	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese														
	O <sub>2</sub>	kg	8,20E+01		[a]										
	N <sub>2</sub> no ar necessário para combustão	kg	2,68E+02		[a]										
	Ar e outros gases menores no ar	kg	4,86E+00		[a]										
	<i>Inputs não renováveis</i>														
93	Aço para maquinário industrial	kg	1,17E+00	9,32	[c]	1,09E+01	81,90	[c]	9,60E+01	0,77	[c]	9,05E-01	0,0	[c]	0,00E+00
94	Cimento	kg	3,39E-01	1,33	[c]	4,51E-01	3,40	[c]	1,15E+00	0,04	[c]	1,49E-02	0,0	[c]	0,00E+00
95	Ferro	kg	7,04E-03	21,58	[c]	1,52E-01	504,90	[c]	3,55E+00	5,08	[c]	3,57E-02	0,0	[c]	0,00E+00
96	Diesel	kg	2,74E+01	1,36	[c]	3,72E+01	9,70	[c]	2,65E+02	0,02	[c]	5,20E-01	0,0	[c]	0,00E+00
97	Etanol	kg	7,53E+01	1,67	[c]	1,26E+02	4,50	[c]	3,39E+02	3,87	[c]	2,92E+02	0,0	[c]	0,00E+00
98	Catalisador	kg	5,44E+00	1,00	[a]	5,44E+00	0,0	[a]	0,00E+00	0,0	[a]	0,00E+00	0,0	[a]	0,00E+00
99	Eletricidade	kWh	(*)	2,09	[e]	9,38E-01	5,86	[e]	2,63E+00	0,37	[e]	1,66E-01	0,0	[e]	0,00E+00
100	Água	kg	2,60E+02	0,01	[c]	2,60E+00	1,30	[c]	3,38E+02		[c]	2,60E-01	0,30	[c]	7,69E+01
101	Mão-de-obra	anos	(*)												
102	Serviços	\$	(*)												
	<i>Produtos e co-produtos</i>														
103a	Biodiesel	kg	5,99E+02												
	Sem alocação			27,29	[d]	1,36E+04	34491,28	[d]	1,72E+07	1,21	[d]	6,03E+02	1,52	[d]	7,57E+02
	Alocação pela massa			5,21	[d]	2,60E+03	6210,15	[d]	3,09E+06	0,70	[d]	3,49E+02	0,40	[d]	1,99E+02
	Alocação pela energia			9,94	[d]	4,95E+03	12270,50	[d]	6,11E+06	0,81	[d]	4,04E+02	0,64	[d]	3,19E+02
	Alocação pelo preço			10,55	[d]	5,25E+03	13049,59	[d]	6,50E+06	0,82	[d]	4,11E+02	0,67	[d]	3,34E+02
103b	Glicerina	kg	4,42E+01												
103c	Sabão	kg	2,72E+01												
	<i>Emissões aéreas</i>														
104	Gases de combustão														
	CO <sub>2</sub>	kg	9,40E+01												
	H <sub>2</sub> O	kg	1,54E+01												

	N2 não reagido	kg	2,68E+02												
	Ar não reagido	kg	4,86E+00												
	NOx	kg	2,43E-02												
	SO2	kg	7,90E-03												
	CO	kg	2,07E-02												
	VOC	kg	8,15E-04												
	CH4	kg	1,01E-04												
	Particulados	kg	4,01E-03												
	<i>Emissões líquidas</i>														
105a	Efluente tratado	kg	1,36E+02												
105b	Efluente não tratado	kg	1,24E+02												
	<i>Emissões sólidas</i>														
	<i>Maquinário industrial</i>														
106a	(aço)	kg	1,17E+00												
106b	Cimento	kg	3,39E-01												
106c	Ferro	kg	7,04E-03												
106d	Resíduos	kg	8,99E+00												
	<i>Entrada-saída</i>	kg	-8,93E+01												
	<b>Transporte rodoviário do biodiesel</b>														
	<i>Input de matéria prima</i>														
103a	biodiesel	kg	5,99E+02												
	Sem alocação			27,29	[d]	1,36E+04	34491,28	[d]	1,72E+07	1,21	[d]	6,03E+02	1,52	[d]	7,57E+02
	Alocação pela massa			5,21	[d]	2,60E+03	6210,15	[d]	3,09E+06	0,70	[d]	3,49E+02	0,40	[d]	1,99E+02
	Alocação pela energia			9,94	[d]	4,95E+03	12270,50	[d]	6,11E+06	0,81	[d]	4,04E+02	0,64	[d]	3,19E+02
	Alocação pelo preço			10,55	[d]	5,25E+03	13049,59	[d]	6,50E+06	0,82	[d]	4,11E+02	0,67	[d]	3,34E+02
	<i>Inputs renováveis</i>														
107	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese														
	O2	kg	2,92E+00												
	N2 no ar necessário para combustão	kg	9,51E+00												
	Ar e outros gases menores no ar	kg	1,61E-01												
	<i>Inputs não renováveis</i>														
108	Aço para maquinário	kg	4,20E-01	107,00	[c]	4,49E+01	927,00	[c]	3,89E+02	102,00	[c]	4,28E+01	0,0	[c]	0,00E+00
109	Diesel	kg	8,99E-01	1,36	[c]	1,22E+00	9,70	[c]	8,72E+00	0,02	[c]	1,71E-02	0,0	[c]	0,00E+00

110	Mão-de-obra	anos	(*)												
111	Serviços	US\$	(*)												
<i>Produtos e co-produtos</i>															
112	biodiesel	kg	5,99E+02												
	Sem alocação			22,74	[d]	1,36E+04	28641,49	[d]	1,72E+07	1,08	[d]	6,46E+02	1,26	[d]	7,57E+02
	Alocação pela massa			4,41	[d]	2,64E+03	5157,44	[d]	3,09E+06	0,65	[d]	3,92E+02	0,33	[d]	1,99E+02
	Alocação pela energia			8,33	[d]	5,00E+03	10189,82	[d]	6,11E+06	0,74	[d]	4,46E+02	0,53	[d]	3,19E+02
	Alocação pelo preço			8,84	[d]	5,30E+03	10836,76	[d]	6,50E+06	0,76	[d]	4,53E+02	0,56	[d]	3,34E+02
<i>Emissões aéreas</i>															
113	Gases de combustão														
	CO2	kg	2,85E+00												
	H2O	kg	8,92E-01												
	N2 não reagido	kg	9,50E+00												
	Ar não reagido	kg	1,61E-01												
	NOx	kg	4,26E-02												
	SO2	kg	0,00E+00												
	CO	kg	3,47E-02												
	VOC	kg	3,60E-03												
	CH4	kg	0,00E+00												
	Particulados	kg	3,87E-03												
<i>Emissões sólidas</i>															
114	Ferro	kg	4,20E-01												
	<i>Entrada-saída</i>	kg	0,00E+00												
<b>Transporte rodoviário do óleo de soja</b>															
<i>Input de matéria prima</i>															
64a	Óleo de soja	kg	4,98E+02												
	Sem alocação			26,96	[d]	1,34E+04	34490,77	[d]	1,72E+07	0,63	[d]	3,12E+02	1,37	[d]	6,80E+02
	Alocação pela massa			4,88	[d]	2,43E+03	6209,65	[d]	3,09E+06	0,12	[d]	5,88E+01	0,25	[d]	1,22E+02
	Alocação pela energia			9,61	[d]	4,78E+03	12269,99	[d]	6,11E+06	0,23	[d]	1,13E+02	0,49	[d]	2,42E+02
	Alocação pelo preço			10,22	[d]	5,09E+03	13049,08	[d]	6,50E+06	0,24	[d]	1,20E+02	0,52	[d]	2,57E+02
<i>Inputs renováveis</i>															
115	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese														
	O2	kg	2,42E+00		[a]										

	N2 no ar necessário para combustão	kg	7,90E+00	[a]											
	Ar e outros gases menores no ar	kg	1,34E-01	[a]											
	<i>Inputs não renováveis</i>														
116	Aço para maquinário	kg	3,48E-01	107,00	[c]	3,73E+01	927,00	[c]	3,23E+02	102,00	[c]	3,55E+01	0,0	[c]	0,00E+00
117	Diesel	kg	7,47E-01	1,36	[c]	1,02E+00	9,70	[c]	7,24E+00	0,02	[c]	1,42E-02	0,0	[c]	0,00E+00
118	Mão-de-obra	anos	(*)												
119	Serviços	US\$	(*)												
	<i>Produtos e co-produtos</i>														
120	óleo de soja	kg	4,98E+02												
	Sem alocação			27,03	[d]	1,35E+04	34491,43	[d]	1,72E+07	0,70	[d]	3,48E+02	1,37	[d]	6,80E+02
	Alocação pela massa			4,96	[d]	2,47E+03	6210,31	[d]	3,09E+06	0,19	[d]	9,44E+01	0,25	[d]	1,22E+02
	Alocação pela energia			9,69	[d]	4,82E+03	12270,65	[d]	6,11E+06	0,30	[d]	1,49E+02	0,49	[d]	2,42E+02
	Alocação pelo preço			10,30	[d]	5,13E+03	13049,74	[d]	6,50E+06	0,31	[d]	1,56E+02	0,52	[d]	2,57E+02
	<i>Emissões aéreas</i>														
121	Gases de combustão														
	CO2	kg	2,37E+00												
	H2O	kg	7,40E-01												
	N2 não reagido	kg	7,89E+00												
	Ar não reagido	kg	1,34E-01												
	NOx	kg	3,53E-02												
	SO2	kg	0,00E+00												
	CO	kg	2,88E-02												
	VOC	kg	2,99E-03												
	CH4	kg	0,00E+00												
	Particulados	kg	3,21E-03												
	<i>Emissões sólidas</i>														
122	Ferro	kg	3,48E-01												
	<i>Entrada-saída</i>														
		kg	0,00E+00												

(°): Base úmida

(\*): Sem massa significativa associada a este item na escala local de análise

<sup>a</sup>Referências para os Fatores de Intensidade de Materiais (MIF):

[a] Por definição.

[b] Estimado de Ulgiati, 2001.

[c] Wurbs et al., 1996.

[d] Calculados neste trabalho.  
[e] Hinterberger e Stiller, 1998.

Tabela 35: Fluxos de energia para todas as etapas consideradas do ciclo de vida da soja (valores médios por hectare por ano).

Nota	Descrição do fluxo	Unidade	Valor	kg Petróleo equivalente por unidade	Ref. para a quantidade de petróleo equivalente <sup>a</sup>	Demanda global de petróleo	Demanda global de energia	Emissões globais de CO <sub>2</sub>
<b>Fase agrícola</b>								
<i>Inputs renováveis</i>								
1	Sol	J	(*)					
2	Chuva	kg	(*)					
3	Calor interno da terra	J	(*)					
4	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese							
	O <sub>2</sub>	kg	(*)					
	N <sub>2</sub> no ar necessário para combustão	kg	(*)					
	Ar e outros gases menores no ar	kg	(*)					
	CO <sub>2</sub> usado na fotossíntese	kg	(*)					
	H <sub>2</sub> O usada na fotossíntese	kg	(*)					
5	N <sub>2</sub> fixado da atmosfera	kg	(*)					
<i>Inputs não renováveis</i>								
6	Perda de solo	kg	1,70E+04					2,30E+02 <sup>b</sup>
7	Calcário	kg	3,75E+02	0,15	[iii]	5,64E+01	2,36E+09	1,80E+02
8	Herbicidas Inseticidas e agrotóxicos	kg	4,80E+00	2,17	[i]	1,04E+01	4,37E+08	3,32E+01
9	Sementes Nitrogênio no fertilizante	kg	3,20E+00	1,27	[i]	4,05E+00	1,70E+08	1,29E+01
10	Sementes	kg	6,90E+01	0,09	[iv]	6,21E+00	2,60E+08	1,98E+01
11	Fósforo no fertilizante	kg	0,00E+00	1,77	[i]	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
12	Potássio no fertilizante	kg	3,38E+01	0,31	[i]	1,05E+01	4,39E+08	3,34E+01
13	Diesel	kg	6,54E+01	0,22	[i]	1,41E+01	5,88E+08	4,48E+01
14	Eletricidade	J	5,46E+01	1,10	[i]	6,00E+01	2,51E+09	1,91E+02
15	Aço no maquinário agrícola	J	1,22E+08	6,97E-08	[i]	8,53E+00	3,57E+08	2,72E+01
16	Fertilizante orgânico	kg	2,50E+01	1,65	[i]	4,12E+01	1,73E+09	1,31E+02
17	Outros inputs orgânicos	kg	0,00E+00					
18	Construções agrícolas	kg	0,00E+00					
19	Mão-de-obra local	US\$	(*)					
20	Mão-de-obra contratada	anos	(*)					
21	Externalidades	anos	(*)					
22	Serviços	US\$	(*)					
<i>Produtos e co-produtos</i>								
24a	Soja (°)	kg	2,83E+03	0,07	[iv]	2,11E+02	8,85E+09	9,03E+02
	Soja (°)	J	6,40E+10					
24b	Resíduos no campo (°)	kg	4,25E+03					
	Resíduos no campo (°)	J	3,14E+10					
<b>Fase de transporte</b>								
<i>Input de matéria prima</i>								
24a	Soja	kg	2,83E+03	0,07	[iv]	2,11E+02	8,85E+09	9,03E+02
<i>Inputs renováveis</i>								

29	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese							
	O2	kg	(*)					
	N2 no ar necessário para combustão	kg	(*)					
	Ar e outros gases menores no ar	kg	(*)					
	<i>Inputs não renováveis</i>							
30	Aço para maquinário	kg	1,98E+00	1,65	[i]	3,27E+00	1,37E+08	1,04E+01
31	Diesel	kg	4,25E+00	1,10	[i]	4,67E+00	1,95E+08	1,49E+01
32	Mão-de-obra	anos	(*)					
33	Serviços	US\$	(*)					
	<i>Produtos e co-produtos</i>							
34	Soja transportada	kg	2,83E+03	0,08	[iv]	2,19E+02	9,18E+09	9,28E+02
	<b>Processo de esmagamento</b>							
	<i>Input de matéria prima</i>							
34	Soja	kg	2,83E+03	0,08	[iv]	2,19E+02	9,18E+09	9,28E+02
	<i>Inputs renováveis</i>							
37	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese							
	O2	kg	(*)					
	N2 no ar necessário para combustão	kg	(*)					
	Ar e outros gases menores no ar	kg	(*)					
	<i>Inputs não renováveis</i>							
38	Aço para maquinário industrial	kg	2,84E-01	1,65	[i]	4,68E-01	1,96E+07	1,49E+00
39	Cimento	kg	2,76E-01	0,07	[i]	1,98E-02	8,28E+05	6,30E-02
40	Ferro	kg	1,13E-02	0,02	[iii]	1,78E-04	7,45E+03	5,67E-04
41	Diesel	kg	5,07E+01	1,10	[i]	5,57E+01	2,33E+09	1,77E+02
42	Eletricidade	J	3,05E+08	6,97E-08	[i]	2,12E+01	8,89E+08	6,76E+01
43	Água	kg	2,04E+03	1,43E-04	[v]	2,91E-01	1,22E+07	9,28E-01
44	Hexano	kg	3,40E+00	n.a.				
45	Mão-de-Obra	anos	(*)					
46	Serviços	\$	(*)					
	<i>Produtos e co-produtos</i>							
	Total de MI da soja				Total	2,97E+02	1,24E+10	1,18E+03
47a	Óleo de soja	kg	5,10E+02					
	Sem alocação	1,00		0,58	[iv]	2,97E+02	1,24E+10	1,18E+03
	Alocação pela massa	0,18		0,10	[iv]	5,35E+01	2,24E+09	2,12E+02
	Alocação pela energia	0,36		0,21	[iv]	1,06E+02	4,42E+09	4,18E+02
	Alocação pelo preço	0,38		0,22	[iv]	1,12E+02	4,70E+09	4,45E+02
47b	Farelo de soja	kg	2,30E+03					
	Sem alocação	1,00		0,13	[iv]	2,97E+02	1,24E+10	1,18E+03
	Alocação pela massa	0,81		0,10	[iv]	2,42E+02	1,01E+10	9,56E+02
	Alocação pela energia	0,63		0,08	[iv]	1,87E+02	7,84E+09	7,41E+02
	Alocação pelo preço	0,61		0,08	[iv]	1,80E+02	7,55E+09	7,13E+02
47c	Lecitina	kg	1,98E+01					
	Sem alocação	1,00		14,99	[iv]	2,97E+02	1,24E+10	1,18E+03
	Alocação pela massa	0,01		0,10	[iv]	2,08E+00	8,71E+07	8,23E+00
	Alocação pela energia	0,01		0,21	[iv]	4,11E+00	1,72E+08	1,63E+01
	Alocação pelo preço	0,01		0,22	[iv]	4,37E+00	1,83E+08	1,73E+01

**Processo de refino do óleo de soja***Input de matéria prima*

47a	Óleo de soja degomado	kg	5,10E+02					
	Sem alocação		0,58	[iv]	2,97E+02	1,24E+10	1,18E+03	
	Alocação pela massa		0,10	[iv]	5,35E+01	2,24E+09	2,12E+02	
	Alocação pela energia		0,21	[iv]	1,06E+02	4,42E+09	4,18E+02	
	Alocação pelo preço		0,22	[iv]	1,12E+02	4,70E+09	4,45E+02	
	<i>Inputs renováveis</i>							
51	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese							
	O2	kg	(*)					
	N2 no ar necessário para combustão	kg	(*)					
	Ar e outros gases menores no ar	kg	(*)					
	<i>Inputs não renováveis</i>							
52	Aço para maquinário industrial	kg	2,89E-01	1,65	[i]	4,77E-01	2,00E+07	1,52E+00
53	Cimento	kg	2,30E-01	0,07	[i]	1,65E-02	6,90E+05	5,25E-02
54	Ferro	kg	7,13E-03	0,02	[iii]	1,12E-04	4,70E+03	3,58E-04
55	Diesel	kg	1,84E+00	1,10	[i]	2,02E+00	8,44E+07	6,42E+00
56	Eletricidade	J	2,30E+07	6,97E-08	[i]	1,60E+00	6,72E+07	5,11E+00
57	Água	kg	4,16E+02	1,43E-04	[v]	5,96E-02	2,49E+06	1,90E-01
58	Acido fosfórico	kg	2,55E-01	0,09	[iii]	2,31E-02	9,69E+05	7,37E-02
59	Hidróxido de sódio	kg	2,28E+00	0,32	[iii]	7,37E-01	3,08E+07	2,35E+00
60	Terra clarificante	kg	1,78E+00	0,05	[iii]	8,78E-02	3,68E+06	2,80E-01
61	Acido cítrico	kg	3,06E-03	n.a.				
62	Mão-de-Obra	anos	(*)					
63	Serviços	\$	(*)					
	<i>Produtos e co-produtos</i>							
64a	Óleo refinado	kg	4,98E+02					
	Sem alocação		0,61	[iv]	3,02E+02	1,26E+10	1,19E+03	
	Alocação pela massa		0,12	[iv]	5,85E+01	2,45E+09	2,28E+02	
	Alocação pela energia		0,22	[iv]	1,11E+02	4,63E+09	4,34E+02	
	Alocação pelo preço		0,24	[iv]	1,17E+02	4,91E+09	4,61E+02	
64b	Impurezas	kg	1,02E+01					
64c	Terra/Óleo	kg	2,34E+00					
64d	Ácidos graxos	kg	1,22E+00					
	<b>Transporte ferroviário do farelo de soja</b>							
	<i>Input de matéria prima</i>							
47b	Farelo de soja transportado	kg	2,30E+03					
	Sem alocação		0,13	[iv]	2,97E+02	1,24E+10	1,18E+03	
	Alocação pela massa		0,10	[iv]	2,42E+02	1,01E+10	9,56E+02	
	Alocação pela energia		0,08	[iv]	1,87E+02	7,84E+09	7,41E+02	
	Alocação pelo preço		0,08	[iv]	1,80E+02	7,55E+09	7,13E+02	
	<i>Inputs renováveis</i>							
68	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese							
	O2	kg	(*)					
	N2 no ar necessário para combustão	kg	(*)					
	Ar e outros gases menores no ar	kg	(*)					
	<i>Inputs não renováveis</i>							
69	Aço para maquinário	kg	1,92E+00	1,65	[i]	3,16E+00	1,32E+08	1,01E+01
70	Diesel	kg	2,38E+01	1,10	[i]	2,62E+01	1,10E+09	8,34E+01
71	Mão-de-obra	anos	(*)					

72	Serviços	US\$	(*)					
	<i>Produtos e co-produtos</i>							
73	Farelo de soja transportado	kg	2,30E+03					
	Sem alocação			0,14	[iv]	3,26E+02	1,37E+10	1,27E+03
	Alocação pela massa			0,12	[iv]	2,71E+02	1,13E+10	1,05E+03
	Alocação pela energia			0,09	[iv]	2,17E+02	9,07E+09	8,35E+02
	Alocação pelo preço			0,09	[iv]	2,10E+02	8,78E+09	8,07E+02
	<b>Transporte naval do farelo de soja</b>							
	<i>Input de matéria prima</i>							
73	Farelo de soja transportado	kg	2,30E+03					
	Sem alocação			0,14	[iv]	3,26E+02	1,37E+10	1,27E+03
	Alocação pela massa			0,12	[iv]	2,71E+02	1,13E+10	1,05E+03
	Alocação pela energia			0,09	[iv]	2,17E+02	9,07E+09	8,35E+02
	Alocação pelo preço			0,09	[iv]	2,10E+02	8,78E+09	8,07E+02
	<i>Inputs renováveis</i>							
76	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese							
	O2	kg	(*)					
	N2 no ar necessário para combustão	kg	(*)					
	Ar e outros gases menores no ar	kg	(*)					
	<i>Inputs não renováveis</i>							
77	Aço para maquinário	kg	2,17E+01	1,65	[i]	3,58E+01	1,50E+09	1,14E+02
78	Diesel	kg	2,10E+02	1,10	[i]	2,31E+02	9,68E+09	7,36E+02
79	Mão-de-obra	anos	(*)					
80	Serviços	US\$	(*)					
	<i>Produtos e co-produtos</i>							
81	Farelo de soja transportado	kg	2,30E+03					
	Sem alocação			0,26	[iv]	5,93E+02	2,48E+10	2,12E+03
	Alocação pela massa			0,23	[iv]	5,38E+02	2,25E+10	1,90E+03
	Alocação pela energia			0,21	[iv]	4,84E+02	2,02E+10	1,68E+03
	Alocação pelo preço			0,21	[iv]	4,77E+02	2,00E+10	1,66E+03
	<b>Transporte rodoviário do farelo de soja</b>							
	<i>Input de matéria prima</i>							
81	Farelo de soja	kg	2,30E+03					
	Sem alocação			0,26	[iv]	5,93E+02	2,48E+10	2,12E+03
	Alocação pela massa			0,23	[iv]	5,38E+02	2,25E+10	1,90E+03
	Alocação pela energia			0,21	[iv]	4,84E+02	2,02E+10	1,68E+03
	Alocação pelo preço			0,21	[iv]	4,77E+02	2,00E+10	1,66E+03
	<i>Inputs renováveis</i>							
84	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese							
	O2	kg	(*)					
	N2 no ar necessário para combustão	kg	(*)					
	Ar e outros gases menores no ar	kg	(*)					
	<i>Inputs não renováveis</i>							
85	Aço para maquinário	kg	3,44E+00	1,65	[i]	5,67E+00	2,37E+08	1,80E+01
86	Diesel	kg	1,84E+00	1,10	[i]	2,02E+00	8,47E+07	6,45E+00
87	Mão-de-obra	anos	(*)					
88	Serviços	US\$	(*)					

<i>Produtos e co-produtos</i>								
89	Farelo de soja Transportado	kg	2,30E+03					
	Sem alocação		0,26	[iv]	6,01E+02	2,52E+10	2,14E+03	
	Alocação pela massa		0,24	[iv]	5,46E+02	2,28E+10	1,92E+03	
	Alocação pela energia		0,21	[iv]	4,91E+02	2,06E+10	1,71E+03	
	Alocação pelo preço		0,21	[iv]	4,84E+02	2,03E+10	1,68E+03	
<b>Produção de biodiesel</b>								
<i>Input de matéria prima</i>								
47a	Óleo de soja degomado	kg	5,10E+02					
	Sem alocação		0,58	[iv]	2,97E+02	1,24E+10	1,18E+03	
	Alocação pela massa		0,10	[iv]	5,35E+01	2,24E+09	2,12E+02	
	Alocação pela energia		0,21	[iv]	1,06E+02	4,42E+09	4,18E+02	
	Alocação pelo preço		0,22	[iv]	1,12E+02	4,70E+09	4,45E+02	
<i>Inputs renováveis</i>								
92	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese							
	O2	kg	(*)					
	N2 no ar necessário para combustão	kg	(*)					
	Ar e outros gases menores no ar	kg	(*)					
<i>Inputs não renováveis</i>								
93	Aço para maquinário industrial	kg	1,17E+00	1,65	[i]	1,93E+00	8,08E+07	6,15E+00
94	Cimento	kg	3,39E-01	0,07	[i]	2,43E-02	1,02E+06	7,74E-02
95	Ferro	kg	7,04E-03	0,02	[iii]	1,11E-04	4,64E+03	3,53E-04
96	Diesel	kg	2,74E+01	1,10	[i]	3,01E+01	1,26E+09	9,57E+01
97	Etanol	kg	7,53E+01	0,60	[vi]	4,52E+01	1,89E+09	1,44E+02
98	Catalizador	kg	5,44E+00	n.a.				
99	Eletricidade	J	1,62E+06	7,17E-08	[i]	1,16E-01	4,85E+06	3,69E-01
100	Água	kg	2,60E+02	1,43E-04	[v]	3,72E-02	1,56E+06	1,19E-01
101	Mão-de-obra	anos	(*)					
102	Serviços	\$	(*)					
<i>Produtos e co-produtos</i>								
103	Biodiesel	kg	5,99E+02					
	Sem alocação		0,62	[iv]	3,74E+02	1,57E+10	1,42E+03	
	Alocação pela massa		0,22	[iv]	1,31E+02	5,48E+09	4,58E+02	
	Alocação pela energia		0,31	[iv]	1,83E+02	7,66E+09	6,65E+02	
	Alocação pelo preço		0,32	[iv]	1,90E+02	7,94E+09	6,91E+02	
	Glicerina	kg	4,42E+01					
	Sabão	kg	2,72E+01					
<b>Transporte rodoviário biodiesel</b>								
<i>Input de matéria prima</i>								
103	Biodiesel	kg	5,99E+02					
	Sem alocação		0,62	[iv]	3,74E+02	1,57E+10	1,42E+03	
	Alocação pela massa		0,22	[iv]	1,31E+02	5,48E+09	4,58E+02	
	Alocação pela energia		0,31	[iv]	1,83E+02	7,66E+09	6,65E+02	
	Alocação pelo preço		0,32	[iv]	1,90E+02	7,94E+09	6,91E+02	
<i>Inputs renováveis</i>								
107	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese							
	O2	kg	(*)					
	N2 no ar necessário	kg	(*)					

	para combustão							
	Ar e outros gases menores no ar	kg	(*)					
	<i>Inputs não renováveis</i>							
108	Aço para maquinário	kg	4,20E-01	1,65	[i]	6,92E-01	2,90E+07	2,20E+00
109	Diesel	kg	8,99E-01	1,10	[i]	9,89E-01	4,14E+07	3,15E+00
110	Mão-de-obra	anos	(*)					
111	Serviços	US\$	(*)					
	<i>Produtos e co-produtos</i>							
112	Biodiesel Transportado	kg	5,99E+02					
	Sem alocação			0,63	[iv]	3,76E+02	1,57E+10	1,43E+03
	Alocação pela massa			0,22	[iv]	1,33E+02	5,55E+09	4,63E+02
	Alocação pela energia			0,31	[iv]	1,85E+02	7,73E+09	6,70E+02
	Alocação pelo preço			0,32	[iv]	1,91E+02	8,01E+09	6,96E+02
	<b>Transporte rodoviário óleo de soja</b>							
	<i>Input de matéria prima</i>							
64a	Óleo de soja	kg	4,98E+02					
	Sem alocação			0,61	[iv]	3,02E+02	1,26E+10	1,19E+03
	Alocação pela massa			0,12	[iv]	5,85E+01	2,45E+09	2,28E+02
	Alocação pela energia			0,22	[iv]	1,11E+02	4,63E+09	4,34E+02
	Alocação pelo preço			0,24	[iv]	1,17E+02	4,91E+09	4,61E+02
	<i>Inputs renováveis</i>							
115	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese							
	O2	kg	(*)					
	N2 no ar necessário para combustão	kg	(*)					
	Ar e outros gases menores no ar	kg	(*)					
	<i>Inputs não renováveis</i>							
116	Aço para maquinário	kg	3,48E-01	1,65	[i]	5,75E-01	2,41E+07	1,83E+00
117	Diesel	kg	7,47E-01	1,10	[i]	8,21E-01	3,44E+07	2,62E+00
118	Mão-de-obra	anos	(*)					
119	Serviços	US\$	(*)					
	<i>Produtos e co-produtos</i>							
120	Óleo de soja Transportado	kg	4,98E+02					
	Sem alocação			0,61	[iv]	3,03E+02	1,27E+10	1,20E+03
	Alocação pela massa			0,12	[iv]	5,99E+01	2,51E+09	2,32E+02
	Alocação pela energia			0,23	[iv]	1,12E+02	4,69E+09	4,39E+02
	Alocação pelo preço			0,24	[iv]	1,19E+02	4,97E+09	4,65E+02

(°): Base úmida

(\*): Sem energia significativa associada a este item na escala local de análise

n.a.: Valor não disponível

<sup>a</sup>Referências para quantidades de petróleo equivalente por unidade de input:

[i] Biondi et al., 1989.

[ii] Por definição.

[iii] Boustead e Hancock, 1979.

[iv] Calculados neste trabalho.

[v] Smil, 1991.

[vi] Estimados a partir de Ulgiati, 2001.

<sup>b</sup>Para a perda de solo considerou-se a emissão de 0,0135 kg de CO<sub>2</sub> por kg de solo perdido por erosão de acordo com Ulgiati (2001).

Tabela 36: Fluxos de energia para todas as etapas consideradas do ciclo de vida da soja (valores médios por hectare por ano).

Nota	Descrição do Fluxo	Unidade	Valor	seJ unidade <sup>-1</sup>	Ref. <sup>a</sup>	Fluxo de energia
<b>Fase agrícola</b>						
<i>Inputs renováveis</i>						
1	Sol	J	5,10E+10	1,00E+00	[1]	5,10E+10
2	Chuva	J	5,25E+10	3,06E+04	[2]	1,61E+15
3	Calor interno da terra	J	3,00E+10	1,01E+04	[3]	3,04E+14
4	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese					
	O2	kg	1,77E+02			
	N2 no ar necessário para combustão	kg	5,78E+02			
	Ar e outros gases menores no ar	kg	9,80E+00			
	CO2 usado na fotossíntese	kg	5,96E+03			
	H2O usada na fotossíntese	kg	5,40E+03			
5	N2 fixado da atmosfera	kg	6,00E+01	6,38E+12	[4]	3,83E+14
<i>Inputs não renováveis</i>						
6	Perda de solo	J	4,61E+09	1,24E+05	[2]	5,72E+14
7	Calcário	J	2,29E+08	2,72E+06	[2]	6,23E+14
8	Herbicidas	kg	4,80E+00	2,48E+13	[2]	1,19E+14
9	Inseticidas e pesticidas	kg	3,20E+00	2,48E+13	[2]	7,94E+13
10	Sementes	kg	6,90E+01	2,73E+12	[5]	1,88E+14
11	Nitrogênio no fertilizante	kg	0,00E+00	6,38E+12	[4]	0,00E+00
12	Fósforo no fertilizante	kg	3,38E+01	6,55E+12	[2]	2,21E+14
13	Potássio no fertilizante	kg	6,54E+01	2,92E+12	[2]	1,91E+14
14	Diesel	J	2,43E+09	1,11E+05	[2]	2,68E+14
15	Eletricidade	J	1,22E+08	2,77E+05	[3]	3,39E+13
16	Aço no maquinário agrícola	kg	2,50E+01	1,13E+13	[2]	2,83E+14
17	Fertilizante orgânico	kg	0,00E+00	1,27E+11	[6]	0,00E+00
18	Outros inputs orgânicos	kg	0,00E+00	1,27E+11	[3]	0,00E+00
19	Construções agrícolas	US\$	4,74E+01	3,70E+12	[8]	1,75E+14
20	Mão-de-obra local	yrs	2,60E-03	1,07E+16	[2]	2,79E+13
21	Mão-de-obra contratada	yrs	2,60E-03	1,07E+16	[2]	2,79E+13
22	Externalidades	US\$	3,45E+02	3,70E+12	[8]	1,28E+15
23	Serviços	US\$	1,50E+01	3,70E+12	[8]	5,56E+13
<i>Produtos e co-produtos</i>						
24a	Soja (°)	kg	2,83E+03	2,27E+12	[5]	6,44E+15
	Soja (°)	J	6,40E+10	1,01E+05	[5]	6,44E+15
24b	Resíduos no campo (°)	kg	4,25E+03			
<b>Fase de transporte</b>						
<i>Inputs renováveis</i>						
29	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese					
	O2	kg	1,38E+01			
	N2 no ar necessário para combustão	kg	4,49E+01			
	Ar e outros gases menores no ar	kg	7,62E-01			
<i>Inputs não renováveis</i>						
30	Aço para maquinário	kg	1,98E+00	1,13E+13	[2]	2,24E+13
31	Diesel	J	1,89E+08	1,11E+05	[2]	2,09E+13

32	Mão-de-obra	yrs	5,16E-04	1,07E+16	[2]	5,53E+12
33	Serviços	US\$	2,33E+00	3,70E+12	[8]	8,62E+12
<i>Produtos e co-produtos</i>						
34	Soja transportada	kg	2,83E+03	2,29E+12	[5]	6,49E+15
		J	6,40E+10	1,01E+05	[5]	6,49E+15

**Processo de esmagamento***Inputs renováveis*

37 Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese

O<sub>2</sub> kg 1,52E+02N<sub>2</sub> no ar necessário para combustão kg 4,96E+02

Ar e outros gases menores no ar kg 9,00E+00

*Inputs não renováveis*

38	Aço para maquinário industrial	kg	2,84E-01	1,13E+13	[2]	3,21E+12
39	Cimento	kg	2,76E-01	3,47E+12	[2]	9,57E+11
40	Ferro	kg	1,13E-02	1,13E+13	[2]	1,28E+11
41	Diesel	J	2,25E+09	1,11E+05	[2]	2,49E+14
42	Eletricidade	J	3,05E+08	2,77E+05	[3]	8,45E+13
43	Água	J	1,01E+07	4,28E+05	[9]	4,31E+12
44	Hexano	kg	3,40E+00	6,08E+12	[3]	2,06E+13
45	Mão-de-Obra	anos	2,97E-04	1,07E+16	[2]	3,18E+12
46	Serviços	US\$	2,97E+00	3,70E+12	[8]	1,10E+13
<i>Produtos e co-produtos</i>						
47a	Óleo de soja degomado	kg	5,10E+02	1,35E+13	[5]	6,87E+15
		J	2,02E+10	3,40E+05	[5]	6,87E+15
47b	farelo de soja	kg	2,30E+03	2,98E+12	[5]	6,87E+15
		J	3,58E+10	1,92E+05	[5]	6,87E+15
47c	Leticina	kg	1,98E+01	3,47E+14	[5]	6,87E+15
		J	7,85E+08	8,75E+06	[5]	6,87E+15

**Refino do óleo de soja***Inputs renováveis*

51 Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese

O<sub>2</sub> kg 5,50E+00N<sub>2</sub> no ar necessário para combustão kg 1,80E+01

Ar e outros gases menores no ar kg 3,26E-01

*Inputs não renováveis*

52	Aço para maquinário industrial	kg	2,89E-01	1,13E+13	[2]	3,27E+12
53	Cimento	kg	2,30E-01	3,47E+12	[2]	7,98E+11
54	Ferro	kg	7,13E-03	1,13E+13	[2]	8,06E+10
55	Diesel	J	8,16E+07	1,11E+05	[2]	9,02E+12
56	Eletricidade	J	2,30E+07	2,77E+05	[3]	6,38E+12
57	Água	J	2,06E+06	4,28E+05	[9]	8,81E+11
58	Acido fosfórico	kg	2,55E-01	6,08E+12	[3]	1,55E+12
59	Hidróxido de sódio	kg	2,28E+00	6,08E+12	[3]	1,39E+13
60	Terra clarificante	kg	1,78E+00	1,68E+12	[3]	3,00E+12
61	Ácido cítrico	kg	3,06E-03	6,08E+12	[3]	1,86E+10
62	Mão-de-Obra	anos	3,40E-04	1,07E+16	[2]	3,64E+12
63	Serviços	US\$	1,74E+00	3,70E+12	[8]	6,44E+12
<i>Produtos e co-produtos</i>						
64a	Óleo refinado	kg	4,98E+02	1,39E+13	[5]	6,92E+15
		J	1,97E+10	3,51E+05	[5]	6,92E+15

64b	Impurezas	kg	1,02E+01			
64c	Terra/Óleo	kg	2,34E+00			
64d	Ácidos graxos	kg	1,22E+00			
<b>Transporte ferroviário</b>						
<i>Inputs renováveis</i>						
68	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese					
	O2	kg	7,87E+01			
	N2 no ar necessário para combustão	kg	2,57E+02			
	Ar e outros gases menores no ar	kg	4,36E+00			
<i>Inputs não renováveis</i>						
69	Aço para maquinário	kg	1,92E+00	1,13E+13	[2]	2,17E+13
70	Diesel	J	1,06E+09	1,11E+05	[2]	1,17E+14
71	Mão-de-obra	ysr	1,44E-04	1,07E+16	[2]	1,54E+12
72	Serviços	US\$	9,02E+01	3,70E+12	[8]	3,34E+14
<i>Produtos e co-produtos</i>						
73	Farelo de soja transportado	kg	2,30E+03	3,19E+12	[5]	7,35E+15
		J	3,58E+10	2,05E+05	[5]	7,35E+15
<b>Trasporte marítimo</b>						
<i>Inputs renováveis</i>						
76	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese					
	O2	kg	6,96E+02			
	N2 no ar necessário para combustão	kg	2,27E+03			
	Ar e outros gases menores no ar	kg	3,85E+01			
<i>Inputs não renováveis</i>						
77	Aço para maquinário	kg	2,17E+01	1,13E+13	[2]	2,45E+14
78	Diesel	J	9,35E+09	1,11E+05	[2]	1,03E+15
79	Mão-de-obra	ysr	4,47E-04	1,07E+16	[2]	4,79E+12
80	Serviços	US\$	2,67E+01	3,70E+12	[8]	9,88E+13
<i>Produtos e co-produtos</i>						
81	Farelo de soja transportado	kg	2,30E+03	3,79E+12	[5]	8,73E+15
		J	3,58E+10	2,44E+05	[5]	8,73E+15
<b>Transporte do terrestre do farelo</b>						
<i>Inputs renováveis</i>						
84	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese					
	O2	kg	5,97E+00			
	N2 no ar necessário para combustão	kg	1,95E+01			
	Ar e outros gases menores no ar	kg	3,30E-01			
<i>Inputs não renováveis</i>						
85	Aço para maquinário	kg	3,44E+00	1,13E+13	[2]	3,89E+13
86	Diesel	J	8,19E+07	1,11E+05	[2]	9,06E+12
87	Mão-de-obra	ysr	4,20E-04	1,07E+16	[2]	4,50E+12
88	Serviços	US\$	1,89E+00	3,70E+12	[8]	7,01E+12
<i>Produtos e co-produtos</i>						
89	Farelo de soja transportado	kg	2,30E+03	3,82E+12	[5]	8,79E+15
		J	3,58E+10	2,45E+05	[5]	8,79E+15
<b>Produção de biodiesel</b>						
<i>Inputs renováveis</i>						
92	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese					

	O2	kg	8,20E+01			
	N2 no ar necessário para combustão	kg	2,68E+02			
	Ar e outros gases menores no ar	kg	4,86E+00			
	<i>Inputs não renováveis</i>					
93	Aço para maquinário industrial	kg	1,17E+00	1,13E+13	[2]	1,32E+13
94	Cimento	kg	3,39E-01	3,47E+12	[2]	1,18E+12
95	Ferro	kg	7,04E-03	1,13E+13	[2]	7,95E+10
96	Diesel	J	1,22E+09	1,11E+05	[2]	1,35E+14
97	Etanol	J	1,53E+09	1,89E+05	[7]	2,89E+14
98	Catalisador	kg	5,44E+00	2,48E+13	[2]	1,35E+14
99	Elettricidade	J	1,62E+06	2,77E+05	[3]	4,49E+11
100	Água	J	1,29E+06	4,28E+05	[9]	5,51E+11
101	Mão-de-obra	yrs	1,80E-04	1,07E+16	[2]	1,93E+12
102	Serviços	US\$	4,32E+00	3,70E+12	[8]	1,60E+13
	<i>Produtos e co-produtos</i>					
103	Biodiesel	kg	5,99E+02	1,24E+13	[5]	7,46E+15
		J	1,92E+10	3,89E+05	[5]	7,46E+15
	Glicerina	kg	4,42E+01			
	Sabão	kg	2,72E+01			
	<b>Transporte do biodiesel</b>					
	<i>Inputs renováveis</i>					
107	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese					
	O2	kg	2,92E+00			
	N2 no ar necessário para combustão	kg	9,51E+00			
	Ar e outros gases menores no ar	kg	1,61E-01			
	<i>Inputs não renováveis</i>					
108	Aço para maquinário	kg	4,20E-01	1,13E+13	[2]	4,74E+12
109	Diesel	J	4,00E+07	1,11E+05	[2]	4,42E+12
110	Mão-de-obra	yrs	1,09E-04	1,07E+16	[2]	1,17E+12
111	Serviços	US\$	4,93E-01	3,70E+12	[8]	1,83E+12
	<i>Produtos e co-produtos</i>					
112	Biodiesel transportado	kg	5,99E+02	1,25E+13	[5]	7,48E+15
		J	1,92E+10	3,90E+05	[5]	7,48E+15
	<b>Transporte do óleo de soja</b>					
	<i>Inputs renováveis</i>					
115	Componentes gratuitos do ar para combustão e fotossíntese					
	O2	kg	2,42E+00			
	N2 no ar necessário para combustão	kg	7,90E+00			
	Ar e outros gases menores no ar	kg	1,34E-01			
	<i>Inputs não renováveis</i>					
116	Aço para maquinário	kg	3,48E-01	1,13E+13	[2]	3,94E+12
117	Diesel	J	3,32E+07	1,11E+05	[2]	3,67E+12
118	Mão-de-obra	yrs	9,07E-05	1,07E+16	[2]	9,72E+11
119	Serviços	US\$	4,10E-01	3,70E+12	[8]	1,52E+12
	<i>Produtos e co-produtos</i>					
120	Óleo de soja transportado	kg	4,98E+02	1,39E+13	[5]	6,93E+15
		J	1,97E+10	3,51E+05	[5]	6,93E+15

(°): Base úmida

<sup>a</sup>Referências para valores de seJ unidade<sup>-1</sup>:

[1] Definição.

- [2] Brown e Ulgiati, 2004.
- [3] Odum, 1996.
- [4] Ortega et al., 2005.
- [5] Calculado neste trabalho.
- [6] Bastianoni et al., 2001.
- [7] Estimado a partir de Ulgiati, 2001.
- [8] Coelho et al., 2003.
- [9] Bastianoni e Marchettini, 2000.

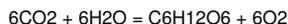
## 9.2 Notas de cálculo para as Tabelas 34, 35 e 36 (em inglês).

<b>AGRICULTURAL PHASE</b>			
1	<b>Sun</b>		
	Insolation	1,67E+03	watt-hora/m2/yr
	Albedo	1,50E-01	
	Conversion	3,60E+03	J/Wh
	Insolation energy	5,10E+06	J/m2/yr
	Cropped area	1,00E+04	m2/ha
	Energy (J/yr)=(land area)(insolation)		
	Insolation energy	5,10E+10	J/ha/yr
2	<b>Rain</b>		
	Precipitation (Brazilian average 9 samples)	1,72E+03	mm/yr or L/m2/yr
	Cropped area	1,00E+04	m2/ha
	Density of water	1,00E+00	kg/L
	Mass of rain	1,72E+07	kg/ha/yr
	Fraction of water that is evapotranspired	6,20E-01	
	Mass of rain evapotranspirated	1,06E+07	kg/ha/yr
	Free energy of water = (Evapotranspired water)(Gibbs free energy of water)		
	Gibbs free energy of water	4,94E+03	J/kg
	Energy of rain	5,25E+10	J/ha/yr
3	<b>Deep heat</b>		
	Heat flow through earth crust contributing to uplift replacing erosion.		
	Average heat flow per area	3,00E+06	J/m2/yr
	Land area	1,00E+04	m2/ha
	Energy (J/yr) = (land area)(heat flow per area)	3,00E+10	J/yr
4	<b>Free air components for combustion and photosynthesis</b>		
4a	<b>O2 for combustion of fuels</b>		
	Fuels (approximate raw formula assumed to be nCH1.5 for diesel and gasoline) react with oxygen to yield CO2, H2O vapours, and other combustion gases. Emissions from each fuel combustion are estimated below in the footnotes.		
	Oxygen demand for diesel combustion	1,77E+02	kg O2
4b	<b>N2 for combustion of fuels</b>		
	O2 in air is always coupled to N2 (and minor fractions of other gases), in a proportion 21%-79% mol/mol . Pumping in oxygen from air requires that N2, Ar, etc. are also supplied to the combustion process.		
	N2 pumped through in the combustion of diesel	5,78E+02	kg N2
4c	<b>Ar for combustion of fuels</b>		
	Ar pumped through in the combustion of diesel	9,80E+00	kg Ar

**Photosynthesis related inputs (CO2 and H2O)**

Assuming biomass (soybean + soybean residues) has a average raw formula  $nC_6H_{12}O_6$ .

Photosynthetic reaction is:



$$6 * (44 \text{ g } CO_2) + 6 * (18 \text{ g } H_2O) = 180 \text{ g biomass} + 6 * (32 \text{ g } O_2)$$

$$256 \text{ g } CO_2 + 108 \text{ g } H_2O = 180 \text{ g biomass} + 192 \text{ g } O_2$$

O<sub>2</sub>

Therefore, producing 1 gram of dry biomass requires :

CO <sub>2</sub> demand per kg dry biomass produced	1,42E+00	kg CO <sub>2</sub> / kg dry biomass
H <sub>2</sub> O demand per kg dry biomass produced	6,00E-01	kg H <sub>2</sub> O/kg dry biomass

These figures translate into a stoichiometric demand for photosynthesis:

CO <sub>2</sub> demand per kg wet soybean produced	1,25E+00	kg CO <sub>2</sub> / kg wet soybean
CO <sub>2</sub> demand per kg wet residues produced	5,69E-01	kg CO <sub>2</sub> / kg wet residues
H <sub>2</sub> O demand per kg wet soybean produced	6,48E-01	kg H <sub>2</sub> O/kg wet soybean
H <sub>2</sub> O demand per kg wet residues produced	8,40E-01	kg H <sub>2</sub> O/kg wet residues

4d	Total CO <sub>2</sub> used for photosynthesis	5,96E+03	kg CO <sub>2</sub>
4e	Total H <sub>2</sub> O used for photosynthesis	5,40E+03	kg H <sub>2</sub> O

**5 Nitrogen fixed from atmosphere**

kg of N fixed from atmosphere	6,00E+01	kg of N/ha/yr
-------------------------------	----------	---------------

Other estimates: 100-600 kg/ha/yr; (Martens, 1995) Disponível em:<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/Texto%20-%20Livro%20ANDA%2003.pdf> Other estimates: 115 kg/ha/yr (Coppens, 2003)

**6 Soil loss**

Soil loss (eroded)	1,70E+04	kg/ha/yr
--------------------	----------	----------

<http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C17-EAnaliseAl-JM.pdf> (pg 9) Others estimates:(Pimentel and Pimentel, 1996, 13-17 ton/ha/yr;) Other estimates: 20000-40000 kg/ha/yr (Pimentel and Pimentel, 1996) USA; Soil formation average 1000 kg/ha/yr Other estimates: 20000 kg/ha/yr (Cordeiro, 2000); Other estimates: 25000 kg/ha/yr IAC (Brazilian average) [http://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/prog\\_projetos/agricultura/agr\\_soja/agr\\_soja\\_a\\_problemas/agr\\_soja\\_problemas\\_erosao/index.cfm](http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/prog_projetos/agricultura/agr_soja/agr_soja_a_problemas/agr_soja_problemas_erosao/index.cfm) Other estimates: 8000 kg/ha/yr; WWF, 2003 (average soybean cerrado) [http://assets.panda.org/downloads/sus\\_portug\\_factsheet\\_soja.pdf](http://assets.panda.org/downloads/sus_portug_factsheet_soja.pdf) Other estimates: Annual soil loss of 2 – 10 tonnes per ha on 0 – 2 % slopes and 10 – 18 tonnes per ha on 2 – 6 % slopes for zero tillage (i.e. herbicide method) in Brazil; (UNDP, 1998)

Organic matter in topsoil used up = (total mass of topsoil)(% organic)

Ratio of the organic matter in the soil	4,00%	
Organic matter in topsoil used up	6,80E+02	kg/ha/yr
Water content in organic matter	7,00E-01	
Dry organic matter lost with erosion	2,04E+02	kg/ha/yr
Energy content of dry organic matter	5,40E+03	Kcal/kg

Organic matter in soil is reported in the range 3-6% of total soil weigh (Odum,1996)

Estimative from this work

Average value

	Energy = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)			
	Energy loss	4,61E+09	J/ha/yr	
<b>7</b>	<b>Limestone</b>			
	Mass of limestone used	3,75E+02	kg/ha/yr	Estimated from field work Other estimates: 350 kg/ha/yr lime (Pimentel and Pimentel, 1996) soy in USA Other estimates: 50 kg/ha/yr (Cederberg and Flysjö, 2004) soy in Brazil Other estimates: 50 kg/ha/yr (Pimentel and Patzek, 2005) soy in USA Other estimates: 150 kg/ha/yr of CaO (Werf et al., 2005) soy Other estimates: 1000 kg/ha/yr (Coppens, 2003) soy in Brazil
	Higher heating value	6,11E+05	kg/ha/yr	Odum, 1996
	Total energy demand	2,29E+08	J/ha/yr	
<b>8</b>	<b>Herbicides</b>			
	Mass of herbicides used	4,80E+00	kg/ha/yr	From field work Other estimates: 5 kg/ha/yr (Pimentel and Pimentel, 1996) soy in USA Other estimates: 1,5 kg/ha/yr (Cederberg and Flysjö, 2004) soy in Brazil Other estimates: 1,3 kg/ha/yr (Pimentel and Patzek, 2005) soy in USA Other estimates: 4,3 kg/ha/yr (Coppens, 2003) soy in Brazil
<b>9</b>	<b>Pesticides</b> (includes pesticides and fungicides)			
	Mass of pesticides used	3,20E+00	kg/ha/yr	From field work Other estimates: 1,5 of active ingredient kg/ha/yr (Werf et al., 2005) soy Other estimates: 3,0 kg/ha/yr (Coppens, 2003) soy in Brazil
<b>10</b>	<b>Seeds</b>			
	Mass of seeds used	6,90E+01	kg/ha/yr	From field work Other estimates: 69,3 kg/ha/yr (Pimentel and Patzek, 2005) soy in USA Other estimates: 50 kg/ha/yr (Cederberg and Flysjö, 2004) soy in Brazil Other estimates: 70 kg/ha/yr (Coppens, 2003) soy in Brazil
<b>11</b>	<b>Nitrogen fertilizer</b>			
	Total NPK fertilizer used	3,94E+02	kg/ha/yr	From field work
	% N	0%		
	N = (Total fertilizer)(%N)(28 gmol N/132 gmol DAP)			Other estimates: 4 kg/ha/yr; (Pimentel and Pimentel, 1996) soy in USA Other estimates: 3,7 kg/ha/yr (Pimentel and Patzek, 2005) soy in USA Other estimates: 0 kg/ha/yr (Werf et al., 2005) soy Other estimates: 0 kg/ha/yr (Coppens, 2003) soy in Brazil Other estimates: 8 kg/ha/yr (Cederberg and Flysjö, 2004) soy in Brazil
	Annual N consumption		kg N/ha	
<b>12</b>	<b>Phosphate fertilizer</b>			
	Total NPK fertilizer used	3,94E+02	kg/ha/yr	From field work

	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20%		
	P = (Total fertilizer)(%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(30 g/mol P/70 g/mol P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )			Other estimates: 18 kg/ha/yr of phosphorus (Pimentel and Pimentel, 1996) soy in USA Other estimates: 37,8 kg/ha/yr of phosphorus (Pimentel and Patzek, 2005) soy in USA Other estimates: 32 kg/ha/yr of P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Werf et al., 2005) soy Other estimates: 13 kg/ha/yr (Coppens, 2003) soy in Brazil Other estimates: 31 kg/ha/yr (Cederberg and Flysjö, 2004) soy in Brazil
	Annual P consumption	3,38E+01	kg P/ha	
13	<b>Potash fertilizer</b>			
	Total NPK fertilizer used	3,94E+02	kg/ha/yr	From field work
	% K <sub>2</sub> O	20%		
	K = (Total fertilizer)(%K <sub>2</sub> O)(78 g/mol K/94 g/mol K <sub>2</sub> O)			Other estimates: 47 kg/ha/yr of potassium (Pimentel and Pimentel, 1996) soy in USA Other estimates: 14,8 kg/ha/yr of potassium (Pimentel and Patzek, 2005) soy in USA Other estimates: 39 kg/ha/yr of K <sub>2</sub> O (Werf et al., 2005) soy Other estimates: 25 kg/ha/yr (Coppens, 2003) soy in Brazil Other estimates: 57 kg/ha/yr (Cederberg and Flysjö, 2004) soy in Brazil
	Annual K consumption	6,54E+01	kg K/ha	
14	<b>Fuels</b> (includes diesel, gasoline, lubricants)			
	Volume used for farm machinery	6,50E+01	L/ha/yr	(Cederberg and Flysjö, 2004) soy in Brazil Other estimates: 38,8+35,7(gasoline) L/ha/yr; (Pimentel and Patzek, 2005) soy in USA Other estimates: 63 L/ha/yr; (Coppens, 2003) Other estimates: 79 L/ha/yr; (Werf et al., 2005) soy
	Density of diesel	8,40E-01	kg/L	(Coppens, 2003)
	Mass used for farm machinery	5,46E+01	kg/ha/yr	
	Higher heating value	4,45E+07	J/kg	(Boustead and Hancock, 1979)
	Total energy demand	2,43E+09	J/ha/yr	
	According to Corinair (2002) Working Group data, diesel heavy duty vehicles >16 t release:			
	CO	2,22E-02	kg CO/kg fuel	
	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1,5</sub> )	4,52E-02	kg NO <sub>x</sub> /kg fuel	
	SO <sub>2</sub>		kg SO <sub>2</sub> /kg fuel	
	VOC (as CH <sub>1,5</sub> )	8,00E-03	kg VOC/kg fuel	
	Particulates	4,30E-03	kg part/kg fuel	
	Sulphur content in fuel (calculated from the assumption of a 100% reaction yield)			kg S/kg fuel
	Miscellaneous matter in fuel	4,30E-03	kg part/kg fuel	
	Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>1,5</sub> )	9,96E-01	kgCH <sub>1,5</sub> /kg fuel	
	Total	1,00E+00	kg fuel	
	Converting grams into moles, figures become:			
	CO	7,93E-04	kmol/kg fuel	

	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	1,19E-03	kmol/kg fuel	
	SO <sub>2</sub>		kmol/kg fuel	
	VOC (as CH <sub>1.5</sub> )	5,93E-04	kmol/kg fuel	
	Particulates		not applicable	
	Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>1.5</sub> )	7,38E-02	mol/kg fuel	
	Sulphur content in fuel (calculated from the assumption of a 100% reaction yield)		mol/kg fuel	
	Diesel raw formula is assumed as CH <sub>1.5</sub> .			
	Burning one g of fuel requires, on average:			
	O <sub>2</sub> required per kg fuel burnt:	3,24E+00	kg O <sub>2</sub> /kg fuel	
	Air requirement to supply the oxygen	1,40E+01	kg air/kg fuel	
	N <sub>2</sub> in air flowing in	1,06E+01	kg N <sub>2</sub> /kg fuel	
	Ar in air flowing in	1,79E-01	kg Ar/kg fuel	
	CO <sub>2</sub> released per kg fuel burnt	3,18E+00	kg CO <sub>2</sub> /kg fuel	
	H <sub>2</sub> O released per kg fuel burnt	9,88E-01	kg H <sub>2</sub> O/kg fuel	
	N <sub>2</sub> required per kg fuel burnt	1,67E-02	kg N <sub>2</sub> /kg fuel	
	N <sub>2</sub> flowing out without reacting	1,06E+01	kg N <sub>2</sub> /kg fuel	
	Ar flowing out without reacting	1,79E-01	kg Ar/kg fuel	
	NO <sub>x</sub> released per kg of fuel burnt	5,47E-02	kg NO <sub>x</sub> /kg fuel	
	SO <sub>2</sub> released per kg of fuel burnt		kg SO <sub>2</sub> /kg fuel	
	VOC (as CH <sub>1.5</sub> ) released per kg fuel burnt	8,00E-03	kg VOC/kg fuel	
	CO released per kg fuel burnt	2,22E-02	kg CO/kg fuel	
	<b>Total fuel used</b>	5,46E+01	kg fuel	
	O <sub>2</sub> required	1,77E+02	kg O <sub>2</sub>	
	N <sub>2</sub> required	5,78E+02	kg N <sub>2</sub>	
	Ar required	9,80E+00	kg Ar	
	CO <sub>2</sub> emissions	1,74E+02	kg CO <sub>2</sub>	
	N <sub>2</sub> flowing out without reacting	5,77E+02	kg N <sub>2</sub>	
	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> equiv.) emissions	2,99E+00	kg NO <sub>1.5</sub>	
	SO <sub>2</sub> emissions		kg SO <sub>2</sub>	
	VOC released	4,37E-01	kg VOC	
	H <sub>2</sub> O released	5,39E+01	kg H <sub>2</sub> O	
	CO released	1,21E+00	kg CO	
	Particulates	2,35E-01	kg particulates	
	<b>Check</b>			
	Mass of reactants=	8,10E+02	kg	
	Mass of products=	8,10E+02	kg	
	unbalance (products/reactants)	0,00%		
15	<b>Electricity</b>			
	Electricity used general	3,40E+01	kWh/ha/yr	From field work Other estimates:10 kWh/ha/yr; (Pimentel and Patzek, 2005) soy in USA; (Pimentel and Pimentel, 1996) soy in USA

	Conversion	3,60E+06	J/kWh	
	Total energy demand	1,22E+08	J/ha/yr	
16	<b>Steel</b> (assuming 10 year life span)			
	Steel for agricultural machinery	2,50E+01	kg/ha/yr	Average value Other estimates: 55 kg/ha/yr; (Pimentel et al.1995) soy in USA; Other estimates: 20 kg/ha/yr; (Pimentel and Patzek, 2005) soy in USA; (Pimentel and Pimentel, 1996) soy in USA Other estimates: 23 kg/ha/yr; (Werf et al., 2005) soy Other estimates: 13 kg/ha/yr; (Triolo et al.,1984, p.35) Other estimates: 46,4 kg/ha/yr; (Biondi et al., 1989, pp.101-105) (Biondi et al., 1989, p.68)
	Embodied energy machinery	8,00E+07	J/kg mach.	
	Total energy demand	2,00E+09	J/ha/yr	
17	<b>Organic fertilizer</b>			
	Total organic fertilizer used		kg/ha/yr	
	Higher heating value	1,79E+07	J/kg	Estimated from: (Domalski et al., 1986) pg 72
	Total energy demand		J/ha/yr	
18	<b>Other organic inputs</b>			
	Total organic fertilizer used		kg/ha/yr	
	Higher heating value	1,79E+07	J/kg	Estimated from: (Domalski et al., 1986) pg 72
	Total energy demand		J/ha/yr	
19	<b>Farm buildings</b>			
	Buildings area	9,00E-02	m2/hr/yr	(Biondi et al., 1989); pg 135; Soybean in Italia
	Cost per m2	5,26E+02	US\$/m2	From field work
	Buildings cost	4,74E+01	US\$/ha/yr	
20	<b>Local labor</b>			
	Total applied labor	1,00E+01	h/ha/yr	From field work Other estimates: 25 h/ha/yr; (Biondi et al., 1989) pp.101-105) Other estimates: 38,4 h/ha/yr; (Schlesinger et al., 2006) Other estimates: 10 h/ha/yr; (Pimentel and Pimentel, 1996) soy in USA Other estimates: 7,1 h/ha/yr; (Pimentel and Patzek, 2005) USA Other estimates: 5 h/ha/yr; Gelder and Dros, 2005 Other estimates: 10 h/ha/yr; WWF, 2006
	working days per year (8 hours/day)	1,25E+00	day/ha/yr	
	working years (240 work yrs/year)	5,21E-03	year/ha/yr	
	Labor cost	9,41E-01	US\$/h	From field work
	Total labor cost	9,41E+00	US\$/ha/yr	
21	<b>Extra labor</b>			
	Total applied labor	5,00E+00	h/ha/yr	From field work
	working days per year (8 hours/day)	6,25E-01	day/ha/yr	
	working years (240 work yrs/year)	2,60E-03	year/ha/yr	

	Labor cost	9,41E-01	US\$/h	From field work
	Total labor cost	4,70E+00	US\$/ha/yr	
22	<b>Externalities</b>			
	Externalities	345,00	US\$/ha/yr	(Ortega et al., 2005) Other estimates: 0,07 US\$/kg or 198 US\$/ha/yr (Pretty et al. 2005)
23	<b>Production cost and annual services</b>			
	Cost of production per hectare	498,00	US\$/ha/yr	Average value
	Cost of production per ton	175,85	US\$/t	
		122,73	US\$/t	Other estimates: 123 US\$/t; <a href="http://www.choicesmagazine.org/2006-2/tilling/2006-2-11.htm">http://www.choicesmagazine.org/2006-2/tilling/2006-2-11.htm</a>
		119,05	US\$/t	Other estimates: South 119 US\$/t; <a href="http://www.choicesmagazine.org/2006-2/tilling/2006-2-11.htm">http://www.choicesmagazine.org/2006-2/tilling/2006-2-11.htm</a>
		256,97	US\$/t	Other estimates: 2006/2007 harvest, South 257 US\$/t; <a href="http://www.pr.gov.br/seab/">http://www.pr.gov.br/seab/</a>
		193,04	US\$/t	Other estimates: 2006/2007 harvest, Central 193 US\$/t; <a href="http://www.cpao.embrapa.br/publicacoes/ficha.php?tipo=COT&amp;num=123&amp;ano=2006">http://www.cpao.embrapa.br/publicacoes/ficha.php?tipo=COT&amp;num=123&amp;ano=2006</a>
		174,55	US\$/t	Other estimates: 165 US\$/t; Agriannual, 2007 soja PR
		165,73	US\$/t	Other estimates: 156 US\$/t; Agriannual, 2007 soja MT
		209,06	US\$/t	Other estimates: <a href="http://www.cpao.embrapa.br/publicacoes/ficha.php?tipo=COT&amp;num=123&amp;ano=2006">http://www.cpao.embrapa.br/publicacoes/ficha.php?tipo=COT&amp;num=123&amp;ano=2006</a>
		177,31	US\$/t	Average value
	Taxes (2.3% of sells)	15,01	US\$/ha/yr	
24	<b>Agricultural phase output</b>			
24a	Average soybean production	2,83E+03	kg/ha/a	Average value Other estimates: 2850 kg/ha/yr; Agriannual, 2007 (PR and MT) Other estimates: 2668 kg/ha/yr; (Pimentel and Patzek, 2005) soy in USA Other estimates: 2820 kg/ha/yr; (Faostat: <a href="http://www.fao.org/es/ess/tcf.asp">http://www.fao.org/es/ess/tcf.asp</a> ) soy in Brazil in 2003 Other estimates: 3000 kg/ha/yr; (Cederberg and Flysjö, 2004) soy in Brazil Other estimates: 2398 kg/ha/yr; Brazilian average according Embrapa ( <a href="http://atlas.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/0/e16fad79206a378803256cb4005d20db?OpenDocument">http://atlas.sct.embrapa.br/pab/pab.nsf/0/e16fad79206a378803256cb4005d20db?OpenDocument</a> ) Other estimates: 2240 kg/ha/yr; (Coppens, 2003)
	Fraction moisture in soybean, at harvest time	1,20E-01		FAO <a href="http://www.fao.org/es/ess/tcf.asp">http://www.fao.org/es/ess/tcf.asp</a>
	Higher heating value of residues	2,26E+07	J/kg w.m.	(Our previous calculations)
	Total energy	6,40E+10	J/ha/a	
	Average soybean market price	0,2305	US\$/kg	Average value from: Agromensal – ESALQ/BM&F ( <a href="http://www.cepea.esalq.usp.br/agromensal/2003/06_junho/soja.htm#_II_-Séries">http://www.cepea.esalq.usp.br/agromensal/2003/06_junho/soja.htm#_II_-Séries</a> ) Other estimates: 0,23 US\$/kg Agriannual, 2007 soja PR Other estimates: 0,20 US\$/kg Agriannual, 2007 soja MT
	Gross income per ha	652,78	US\$/ha/yr	

24b	<b>Total residues in field</b>	4,25E+03	kg/ha/a	From field work
	Fraction moisture in residues, at harvest time	6,00E-01		(Our previous calculations)
	Residues dry matter	1,70E+03	kg/ha/yr d.m.	
	Higher heating value of residues	1,85E+07	J/kg d.m.	
	Gross energy content of wet residues	3,14E+10	J/yr	
25	<b>Airborne emissions</b>			
25a	Evapotranspired water	1,06E+07	kg/ha/yr	See above
25b	<b>O2 Released from photosynthetic reactions</b>			See above
	See above calculations about photosynthesis.			
	O2 release per gram dry biomass produced	1,07E+00	kg O2/kg dry biomass	
	Total O2 released from photosynthesis	4,47E+03	kg	
25c	Flue gases from combustion			
	CO2	1,74E+02	kg CO2	See above
	H2O	5,39E+01	kg H2O	
	N2 unreacted	5,77E+02	kg N2	
	Ar unreacted	9,80E+00	kg Ar	
	NOx	2,99E+00	kg NO1.5	
	SO2		kg SO2	
	CO	1,21E+00	kg CO	
	VOC	4,37E-01	kg VOC	
	CH4		kg CH4	
	Particulates	2,35E-01	kg particulates	
26	<b>Liquid emissions</b>			
	Mass of rain	1,72E+07	kg/ha/yr	See above
	Fraction of water that is evapotranspired	62,00%		
	Mass of rain evapotranspired	1,06E+07	kg/ha/yr	
	Water runoff	6,52E+06	kg/ha/yr	
27	<b>Solid emissions</b>			See above
27a	Topsoil used up	6,80E+02	kg/ha/yr	
27b	Agricultural machinery (steel)	2,50E+01	kg/ha/yr	
28	<b>Other emissions estimated from soybean crop</b>			
28a	NO3	3,60E+01	kg/ha/yr	(Cederberg and Flysjö, 2004)
28b	N2O	7,50E-01	kg/ha/yr	Other estimates: 1,7 kg/ha/yr (Cederberg and Flysjö, 2004) Other estimates: 40 kg/ha/yr of NO3-N; (Werf et al., 2005) soy
28c	Phosphorus	3,00E+00	kg/ha/yr	(Cederberg and Flysjö, 2004)

**TRUCK TRANSPORT FROM FARM TO INDUSTRY**

29	<b>Free air components for combustion processes</b>			
29a	<b>O2 for combustion of fuels</b>			
	Fuels (approximate raw formula assumed to be nCH1.5 for diesel and gasoline, and CH0.8 for coal) react with oxygen			

to yield CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O vapours, and other combustion gases. Emissions from each fuel combustion are estimated below in the footnotes.

	Oxygen demand for diesel combustion	1,38E+01	kg O <sub>2</sub>	
29b	<b>N<sub>2</sub> for combustion of fuels</b>			
	O <sub>2</sub> in air is always coupled to N <sub>2</sub> (and minor fractions of other gases), in a proportion 21%-79% mol/mol .			
	Pumping in oxygen from air requires that N <sub>2</sub> , Ar, etc. are also supplied to the combustion process.			
	N <sub>2</sub> pumped through in the combustion of diesel	4,49E+01	kg N <sub>2</sub>	
29c	<b>Ar for combustion of fuels</b>			
	Ar pumped through in the combustion of diesel	7,62E-01	kg Ar	
30	<b>Steel for transport in heavy truck</b>			
	Average soybean production	2,83E+03	kg/ha/yr	
	Average loading of the heavy truck	2,00E+04	kg/trip	From field work
	Number of trips	1,42E-01	trip/ha/yr	
	Distance per trip (round way)	3,00E+02	km/trip	Two times average distance estimated from Cederberg and Flysjö, 2004
	Total km allocated to transport	4,25E+01	km/ha/yr	
	Average km run by the truck in its life	3,00E+05	km/truck	Our assumption
	Fraction this transport is of total truck km	1,42E-04	truck/ha/yr	
	Weight of an average truck	1,40E+04	kg	Considering a loading factor of 70% from Cederberg and Flysjö, 2004
	Fraction of truck allocated to 1 ha of soybean	1,98E+00	kg/ha/yr	Other estimates:12 kg/ha/yr; (Ulgiati, 2001)
	Embodied energy machinery	8,00E+07	J/kg mach.	(Biondi et al., 1989) p.68
	Total energy demand	1,59E+08	J/ha/yr	
31	<b>Fuel</b>			
	Distance per trip (round way)	3,00E+02	km/trip	Estimated from Cederberg and Flysjö, 2004
	Diesel demand per km	1,00E-01	kg/km	(Corinair, 2002)
	Mass of diesel oil used	3,00E+01	kg/trip	
	Energy used per ton km	1,57E+00	MJ/ton km	Other estimates: 1.7 MJ/ton km; GEMIS database ( <a href="http://www.oeko.de/service/gemis/en/data.htm">http://www.oeko.de/service/gemis/en/data.htm</a> ) Other estimates: 0,405 MJ/ton km; (Cederberg and Flysjö, 2004) Other estimates: 3,5 MJ/ton km; (Pimentel, 1980) Other estimates: 1,1 MJ/ton km; (Coppens, 2003)
	Higher Heating Value of diesel	4,45E+07	J/kg	Ulgiati, 2001
	Energy demand per trip	1,33E+09	J/trip	
	Number of trips	1,42E-01	trip/ha/yr	
	Mass of diesel oil used	4,25E+00	kg/ha/yr	
	Total energy demand	1,89E+08	J/ha/yr	
	According to CORINAIR (2002) Working Group data, p.54, diesel heavy duty vehicles in the range 3.5-16 t release:			
	CO	3,86E-02	kg CO/kg fuel	
	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	3,91E-02	kg NO <sub>x</sub> /kg fuel	
	SO <sub>2</sub>		kg SO <sub>2</sub> /kg fuel	
	VOC (as CH <sub>1.5</sub> )	4,00E-03	kg VOC/kg fuel	
	Particulates	4,30E-03	kg part/kg fuel	

Sulphur content in fuel (calculated from the assumption of a 100% reaction yield)		kg S/kg fuel
Miscellaneous matter in fuel	4,30E-03	kg part/kg fuel
Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>1.5</sub> )	9,96E-01	kgCH <sub>1.5</sub> /kg fuel
Total	1,00E+00	kg fuel
Converting grams into moles, figures become:		
CO	1,38E-03	kmol/kg fuel
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	1,03E-03	kmol/kg fuel
SO <sub>2</sub>		kmol/kg fuel
VOC (as CH <sub>1.5</sub> )	2,96E-04	kmol/kg fuel
Particulates		not applicable
Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>1.5</sub> )	7,38E-02	mol/kg fuel
Sulphur content in fuel (calculated from the assumption of a 100% reaction yield)		mol/kg fuel
Diesel raw formula is assumed as CH <sub>1.5</sub> .		
Burning one g of fuel requires, on average:		
O <sub>2</sub> required per g fuel burnt:	3,24E+00	kg O <sub>2</sub> /kg fuel
Air requirement to supply the oxygen	1,40E+01	kg air/kg fuel
N <sub>2</sub> in air flowing in	1,06E+01	kg N <sub>2</sub> /kg fuel
Ar in air flowing in	1,79E-01	kg Ar/kg fuel
CO <sub>2</sub> released per kg fuel burnt	3,17E+00	kg CO <sub>2</sub> /kg fuel
H <sub>2</sub> O released per kg fuel burnt	9,92E-01	kg H <sub>2</sub> O/kg fuel
N <sub>2</sub> required per kg fuel burnt	1,44E-02	kg N <sub>2</sub> /kg fuel
N <sub>2</sub> flowing out without reacting	1,06E+01	kg N <sub>2</sub> /kg fuel
Ar flowing out without reacting	1,79E-01	kg Ar/kg fuel
NO <sub>x</sub> released per kg of fuel burnt	4,73E-02	kg NO <sub>x</sub> /kg fuel
SO <sub>2</sub> released per kg of fuel burnt		kg SO <sub>2</sub> /kg fuel
VOC (as CH <sub>1.5</sub> ) released perkg fuel burnt	4,00E-03	kg VOC/kg fuel
CO released per kg fuel burnt	3,86E-02	kg CO/kg fuel
Total fuel used	4,25E+00	kg fuel
O <sub>2</sub> required	1,38E+01	kg O <sub>2</sub>
N <sub>2</sub> required	4,49E+01	kg N <sub>2</sub>
Ar required	7,62E-01	kg Ar
CO <sub>2</sub> emissions	1,35E+01	kg CO <sub>2</sub>
N <sub>2</sub> flowing out without reacting	4,49E+01	kg N <sub>2</sub>
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> equiv.) emissions	2,01E-01	kg NO <sub>1.5</sub>
SO <sub>2</sub> emissions		kg SO <sub>2</sub>
VOC released	1,70E-02	kg VOC
H <sub>2</sub> O released	4,21E+00	kg H <sub>2</sub> O
CO released	1,64E-01	kg CO
Particulates	1,83E-02	kg particulates

	<b>Check</b>			
	Mass of reactants=	6,30E+01	kg	
	Mass of products=	6,30E+01	kg	
	unbalance (products/reactants)	0,00%		
32	<b>Labor</b>			
	Labor per trip	7,00E+00	h/trip	From field work Other estimates:10h/trip; <a href="http://log.esalq.usp.br/home/pt/seminario.php?show=2007&amp;PHPSESSID=a620a9f72696cb56617ed90775fa074e">http://log.esalq.usp.br/home/pt/seminario.php?show=2007&amp;PHPSESSID=a620a9f72696cb56617ed90775fa074e</a>
	Number of trips	1,42E-01	trip/ha/yr	
	Total labor applied	9,91E-01	h/ha/yr	
	Working days per year (8 hours/day)	1,24E-01	day/ha/yr	
	Working years (240 work yrs/year)	5,16E-04	year/ha/yr	
	Labor cost	6,72	US\$/h	Estimated from field work (Personal communication)
	Total labor cost	6,66	US\$/ha/yr	
33	<b>Production cost and annual services</b>			
33a	Cost of the truck	86000,00	US\$/truck	Estimated from field work (Personal communication)
	Fraction this transport is of total truck km	1,42E-04	truck/ha/yr	
	Cost of truck allocated to this transport	12,18	US\$/ha/yr	
33b	Mass of diesel oil used	3,00E+01	kg/trip	
	Density	8,40E-01	kg/L	See above
	Number of trips	1,42E-01	trip/ha/yr	
	Diesel price	0,79	US\$/L	From field work
	Total diesel cost	3,99	US\$/ha/yr	
33c	Fees	10,00	US\$/trip	
	Number of trips	1,42E-01	trip/ha/yr	
	Total fees cost	1,42	US\$/ha/yr	
33d	Labor	6,66	US\$/ha/yr	
33e	Total transport cost per ha	24,25	US\$/ha/yr	
	Total transport cost per ton	8,56	US\$/t	Other estimates: Central 44,46; <a href="http://www.choicesmagazine.org/2006-2/tilling/2006-2-11.htm">http://www.choicesmagazine.org/2006-2/tilling/2006-2-11.htm</a> Other estimates: South 25,72; <a href="http://www.choicesmagazine.org/2006-2/tilling/2006-2-11.htm">http://www.choicesmagazine.org/2006-2/tilling/2006-2-11.htm</a>
	Taxes (35% of labor cost)	2,33	US\$/ha/yr	
34	<b>Products and by-products of transport phase</b>			
	Soybean transported	2,83E+03	kg	See above
35	<b>Airborne emissions</b>			See above
	CO2	1,35E+01	kg CO2	
	H2O	4,21E+00	kg H2O	
	N2 unreacted	4,49E+01	kg N2	
	Ar unreacted	7,62E-01	kg Ar	

	NOx	2,01E-01	kg NO1.5	
	SO2		kg SO2	
	CO	1,64E-01	kg CO	
	VOC	1,70E-02	kg VOC	
	CH4		kg CH4	
	Particulates	1,83E-02	kg particulates	
36	<b>Solid emissions</b>			
	Industrial machinery (steel)	1,98E+00	kg	See above
<b>CRUSHING PROCESS PHASE</b>				
37	<b>Free air components for combustion processes</b>			
37a	<b>O2 for combustion of fuels</b>			
	Fuels (approximate raw formula assumed to be nCH1.5 for diesel and gasoline) react with oxygen to yield CO2, H2O vapours, and other combustion gases. Emissions from each fuel combustion are estimated below in the footnotes.			
	Oxygen demand for diesel combustion	1,52E+02	kg O2	
37b	<b>N2 for combustion of fuels</b>			
	O2 in air is always coupled to N2 (and minor fractions of other gases), in a proportion 21%-79% mol/mol. Pumping in oxygen from air requires that N2, Ar, etc. are also supplied to the combustion process.			
	N2 pumped through in the combustion of diesel	4,96E+02	kg N2	
37c	<b>Ar for combustion of fuels</b>			
	Ar pumped through in the combustion of diesel	9,00E+00	kg Ar	
38	<b>Steel for plant machinery</b>			
	Mass allocated per kg soybean processed per year	1,00E-04	kg/kg	(Dorsa, 2000)
	Average soybean production	2,83E+03	kg/ha/yr	
	Total allocated per year	2,84E-01	kg steel/ha/yr	Other estimates:44,1 kg/ha/yr; (Pimentel et al., 1988, pp.198)
39	<b>Cement in plant construction</b>			
	Constructed area	3,00E+03	m2	(Dorsa, 2000)
	Perimeter of the constructed area	2,19E+02	m	
	Height of the wall	3,00E+00	m	Our assumption
	Walls area	6,57E+02	m2	
	Total constructed area = (Floor area) + (Walls area)			
	Total constructed area	3,66E+03	m2	
	Mean thickness of cement	2,00E-01	m	Our assumption
	Volume of cement	7,31E+02	m3	
	Density of cement	2,40E+03	kg/m3	(McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology) <a href="http://hypertextbook.com/facts/1999/KatrinaJones.shtml">http://hypertextbook.com/facts/1999/KatrinaJones.shtml</a>
	Mass of cement	1,76E+06	kg	
	Life span	3,00E+01	yr	
	Mass of cement per year	5,85E+04	kg/yr	
	Annual soybean processing capacity of the plant	6,00E+08	kg	
	Total cement allocated per kg soybean	9,74E-05	kg/kg	

	Average soybean production	2,83E+03	kg/ha/yr	
	Total allocated per year	2,76E-01	kg /ha/yr	
<b>40</b>	<b>Iron in plant construction</b>			
40a	Iron reinforcement in concrete (floor and wall)	3,50E+01	kg/m3	(Björklund et al., 2001)
	Volume of cement	7,31E+02	m3	(See above)
	Mass of iron in floor and wall	2,56E+04	kg	
40b	Iron sheet in roof, 1.25mm thick	1,00E+01	kg/m2	(Björklund et al., 2001)
	Roof area	3,00E+03	m2	
	Mass of iron in roof	3,00E+04	kg	
40c	Total mass of iron	5,56E+04	kg	
	Life span	3,00E+01	yr	
	Mass of iron per year	1,85E+03	kg/yr	
	Annual soybean processing capacity of the plant	6,00E+08	kg	
	Total iron allocated per kg soybean	3,09E-06	kg/kg	
	Average soybean production	3,66E+03	kg/ha/yr	
	Total allocated per year	1,13E-02	kg /ha/yr	
<b>41</b>	<b>Fuel</b>			
	Total diesel needed per kg soybean	1,79E-02	kg/kg	(Dorsa, 2000)
	Average soybean production	2,83E+03	kg/ha/yr	
	Mass of diesel used	5,07E+01	kg/ha/yr	
	Higher Heating Value of diesel	4,45E+07	J/kg	(Boustead and Hancock, 1979)]
	Total per ha per year	2,25E+09	J/ha/yr	
		7,96E+02	MJ/ton	Other estimates: 973 MJ/ton (Cederberg and Flysjö, 2004)
	According to EPA (1996) diesel oil combustion in a industrial boiler releases:			
	CO	1,70E-02	g CO/MJ fuel	
	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	2,00E-02	g NO <sub>1.5</sub> /MJ fuel	
	SO <sub>2</sub>	6,50E-03	g SO <sub>2</sub> /MJ fuel	
	N <sub>2</sub> O	3,70E-04	g N <sub>2</sub> O/MJ fuel	
	VOC (as CH <sub>0.8</sub> )	6,70E-04	g VOC/MJ fuel	
	CH <sub>4</sub>	8,30E-05	g CH <sub>4</sub> /MJ fuel	
	Ash (as CH <sub>0.8</sub> )	3,30E-03	g part/MJ fuel	
	Based on the HHV of diesel used, these figures translate into			
	CO	7,56E-04	kg CO/kg fuel	
	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	8,89E-04	kg NOx/kg fuel	
	SO <sub>2</sub>	2,89E-04	kg SO2/kg fuel	
	N <sub>2</sub> O	1,64E-05	kg N2O/kg fuel	
	VOC (as CH <sub>0.8</sub> )	2,98E-05	kg VOC/kg fuel	
	CH <sub>4</sub>	3,69E-06	kg CH4/kg fuel	
	Ash released	1,47E-04	kg part/kg fuel	
	Sulphur content in fuel (calculated from the assumption of a 100% reaction yield)			
		1,44E-04	kg S/kg fuel	

Miscellaneous matter in fuel	1,47E-04	kg part/kg fuel
Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>0,8</sub> )	1,00E+00	kgCH1.5/kg fuel
	1,00E+00	kg fuel
Converting grams into moles, figures become:		
CO	2,70E-05	kmol/kg fuel
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1,5</sub> )	2,34E-05	kmol/kg fuel
SO <sub>2</sub>	4,52E-06	kmol/kg fuel
N <sub>2</sub> O	3,74E-07	kmol/kg fuel
VOC (as CH <sub>0,8</sub> )	2,33E-06	kmol/kg fuel
CH <sub>4</sub>	2,31E-07	kmol/kg fuel
Ash released	not applicable	
Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>0,8</sub> )	7,81E-02	kmol/kg fuel
Sulphur content per gram of fuel (assuming 100% reaction yield)	4,52E-06	kmol/kg fuel
CO <sub>2</sub> released, based on reaction stoichiometry and above data	7,81E-02	kmol/kg fuel
=	3,44E+00	kg CO2/kg fuel
Burning 1 kg of fuel requires, on average:		
O <sub>2</sub> required per g fuel burnt:	3,00E+00	kg O2/kg fuel
w/w % O2 in air	2,31E-01	
Air requirement to supply the oxygen	1,30E+01	kg air/kg fuel
w/w % N2 in air	7,55E-01	
N <sub>2</sub> in air flowing in	9,78E+00	kg N2/kg fuel
w/w % Ar gases in air	1,37E-02	
Ar in air flowing in	1,78E-01	kg Ar/kg fuel
H <sub>2</sub> O released per g fuel burnt	5,62E-01	kg H2O/kg fuel
N <sub>2</sub> required per g fuel burnt	3,38E-04	kg N2/ kg fuel
N <sub>2</sub> flowing out without reacting	9,78E+00	kg N2/kg fuel
Ar flowing out without reacting	1,78E-01	kg Ar/kg fuel
NO <sub>1,5</sub> released per g of fuel burnt	8,89E-04	kg NO1.5/ kg fuel
SO <sub>2</sub> released per g of fuel burnt	2,89E-04	kg SO2/ kg fuel
N <sub>2</sub> O released per g of fuel burnt	1,64E-05	kg N2O/ kg fuel
VOC (as CH <sub>0,8</sub> ) released per g fuel burnt	2,98E-05	kg VOC/ kg fuel
CH <sub>4</sub> released per gram fuel burnt	3,69E-06	kg CH4/kg fuel
CO released per g fuel burnt	7,56E-04	kg CO/kg fuel
CO <sub>2</sub> released per g fuel burnt	3,44E+00	kg CO2/kg fuel
Mass of diesel used	5,07E+01	kg/ha/yr
Flows to and from the combustion process will therefore be:		
O <sub>2</sub> required	1,52E+02	kg O2
N <sub>2</sub> required	4,96E+02	kg N2

	Ar required	9,00E+00	kg Ar	
	CO <sub>2</sub> emissions	1,74E+02	kg CO <sub>2</sub>	
	N <sub>2</sub> flowing out without reacting	4,96E+02	kg N <sub>2</sub>	
	Ar flowing out without reacting	9,00E+00	kg Ar	
	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> equiv.) emissions	4,51E-02	kg NO <sub>1.5</sub>	
	SO <sub>2</sub> emissions	1,46E-02	kg SO <sub>2</sub>	
	N <sub>2</sub> O emissions	8,34E-04	kg N <sub>2</sub> O	
	VOC released	1,51E-03	kg VOC	
	CH <sub>4</sub> released	1,87E-04	kg CH <sub>4</sub>	
	H <sub>2</sub> O released	2,85E+01	kg H <sub>2</sub> O	
	CO released	3,83E-02	kg CO	
	Particulates	7,44E-03	kg particulates	
	<b>Check</b>			
	Mass of reactants=	7,08E+02	kg	
	Mass of products=	7,08E+02	kg	
	Unbalance (products/reactants)	0,00%		
42	<b>Electricity</b>			
	Energy used per kg of soybean	2,99E-02	kWh/kg	(Dorsa, 2000)
	Average soybean production	2,83E+03	kg/ha/yr	
	Total per ha per year	8,47E+01	kWh/ha/yr	
	Total per ton	2,99E+01	kWh/ton	
				Other estimates: 46 kWh/ton (Cederberg, 1998)
				Other estimates:392 kWh/ha/yr; (Ulgiati, 2001) ethanol production from corn
	Conversion	3,60E+06	J/kWh	
	Total energy demand	3,05E+08	J/ha/yr	
43	<b>Water</b>			
	Water demand per kg of soybean	7,19E-04	m <sup>3</sup> /kg	(Dorsa, 2000)
	Conversion	1,00E+03	kg/m <sup>3</sup>	
	Average soybean production	2,83E+03	kg/ha/yr	
	Total water demand	2,04E+03	kg/ha/yr	
				Other estimates:76000 L/ha/yr; (Ulgiati, 2001) ethanol production from corn
	Free energy of water = (Evapotranspired water)(Gibbs free energy of water)			
	Gibbs free energy of water	4,94E+03	J/kg	
	Energy of water	1,01E+07	J/ha/yr	
44	<b>Hexane</b>			
	Hexane demand per ton of soybean	1,20E-03	kg/kg	(Dorsa, 2000)
	Hexane demand per kg of soybean	1,20E+00	kg/ton	
				Other estimates: 0,4 kg/ton (Cederberg and Flysjö, 2004); 0.02 % is assumed to be an average emission to air.
	Average soybean production	2,83E+03	kg/ha/yr	
	Total per ha per year	3,40E+00	kg/ha/yr	
	Higher Heating Value of hexane	4,48E+07	J/kg	<a href="http://www.chrismanual.com/H/HXA.pdf#search=%22hexane%20j%2Fkg%22">http://www.chrismanual.com/H/HXA.pdf#search=%22hexane%20j%2Fkg%22</a>
	Total energy demand	1,52E+08	J/ha/yr	

45	<b>Labor</b>			
	Total applied labor per kg of soybean	2,01E-04	h/kg	(Dorsa, 2000)
	Average soybean production	2,83E+03	kg/ha/yr	
	Total per ha per year	5,70E-01	h/ha/yr	
	working days per year (8 hours/day)	7,13E-02	day/ha/yr	
	working years (240 work day/year)	2,97E-04	year/ha/yr	
46	<b>Production cost and annual services</b>			
	Buildings and equipments per kg of soy	0,060	US\$/kg	(Dorsa, 2000)
	Average life span	3,00E+01	years	
	Buildings and equipments	0,002	US\$/kg	
	Operation costs per kg of soy	0,014	US\$/kg	(Dorsa, 2000)
	Labor cost	0,003	US\$/kg	(Dorsa, 2000)
	Total cost	0,016	US\$/kg	
	Average soybean production	2,83E+03	kg/ha/yr	
	Total per ha per year	46,553	US\$/ha/yr	
	<b>Taxes (35% of labor cost)</b>	2,97	US\$/ha/yr	
47	<b>Crushing phase output</b>			
47a	Average soybean production	2,83E+03	kg/ha/yr	
47b	Fraction of meal (+hulls)	81,30%		FAO <a href="http://www.fao.org/es/ess/tcf.asp">http://www.fao.org/es/ess/tcf.asp</a>
	Mass of meal	2,30E+03	kg/ha/yr	
	Higher Heating Value of soy flour	1,55E+07	J/kg	(Domalski et al., 1986)
	Total energy	3,58E+10	J/ha/yr	
47c	Fraction of oil	18,00%		FAO (16-20%) <a href="http://www.fao.org/es/ess/tcf.asp">http://www.fao.org/es/ess/tcf.asp</a>
	Mass of oil	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Higher Heating Value of soy oil	3,96E+07	J/kg	(Domalski et al., 1986)
	Total energy	2,02E+10	J/ha/yr	
47d	Fraction of lecithin gross	0,70%		FAO <a href="http://www.fao.org/es/ess/tcf.asp">http://www.fao.org/es/ess/tcf.asp</a>
	Mass of lecithin gross	1,98E+01	kg/ha/yr	
	Higher Heating Value of soy oil	3,96E+07	J/kg	Our estimative from Domalski et al., 1986
	Total energy	7,85E+08	J/ha/yr	
	Total	100,00%		
48	<b>Airborne emissions</b>			See above
	CO2	1,74E+02	kg CO2	
	H2O	2,85E+01	kg H2O	
	N2 unreacted	4,96E+02	kg N2	
	Ar unreacted	9,00E+00	kg Ar	
	NOx	4,51E-02	kg NO1.5	
	SO2	1,46E-02	kg SO2	
	CO	3,83E-02	kg CO	
	VOC	1,51E-03	kg VOC	
	CH4	1,87E-04	kg CH4	
	Particulates	7,44E-03	kg particulates	

49	<b>Liquid emissions</b>			
	Process water output	2,04E+03	kg/ha/yr	See above
49b	Average suspended solids	1,00E+02	mg/L	(Dorsa, 2000)
	Oil	5,00E+01	mg/L	(Dorsa, 2000)
	Average BOD <sub>5</sub>	5,00E+02	mg/L	(Dorsa, 2000)
	Therefore, total annual values are:			
	Total suspended solids	2,04E-01	kg/ha/yr	From unit emissions and actual production
	Oil	1,02E-01	kg/ha/yr	From unit emissions and actual production
	Total BOD <sub>5</sub>	1,02E+00	kg/ha/yr	From unit emissions and actual production
50	<b>Solid emissions</b>			See above
50a	Industrial machinery (steel)	2,84E-01	kg	
50b	Cement	2,76E-01	kg	
50c	Iron	1,13E-02	kg	
<b>REFINING PROCESS PHASE</b>				
	<b>Mass of oil per ha per year</b>	5,10E+02	kg/ha/yr	See above
51	<b>Free air components for combustion processes</b>			
51a	<b>O<sub>2</sub> for combustion of fuels</b>			
	Fuels (approximate raw formula assumed to be nCH <sub>1.5</sub> for diesel and gasoline) react with oxygen to yield CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O vapours, and other combustion gases. Emissions from each fuel combustion are estimated below in the footnotes.			
	Oxygen demand for diesel combustion	5,50E+00	kg O <sub>2</sub>	
51b	<b>N<sub>2</sub> for combustion of fuels</b>			
	O <sub>2</sub> in air is always coupled to N <sub>2</sub> (and minor fractions of other gases), in a proportion 21%-79% mol/mol . Pumping in oxygen from air requires that N <sub>2</sub> , Ar, etc. are also supplied to the combustion process.			
	N <sub>2</sub> pumped through in the combustion of diesel	1,80E+01	kg N <sub>2</sub>	
51c	<b>Ar for combustion of fuels</b>			
	Ar pumped through in the combustion of diesel	3,26E-01	kg Ar	
52	<b>Steel for plant machinery</b>			
	Steel per kg oil	5,68E-04	kg/kg	(Dorsa, 2000)
	Average oil production	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Total allocated per year	2,89E-01	kg steel/ha/yr	
53	<b>Cement in plant construction</b>			
	Constructed area	2,00E+03	m <sup>2</sup>	(Dorsa, 2000)
	Perimeter of the constructed area	1,79E+02	m	
	Height of the wall	3,00E+00	m	Our assumption
	Wall area	5,37E+02	m <sup>2</sup>	

Total constructed area = (Floor area) + (Walls area)			
	Total constructed area	2,54E+03	m <sup>2</sup>
	Mean thickness of cement	2,00E-01	m
	Volume of cement	5,07E+02	m <sup>3</sup>
			(McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology) <a href="http://hypertextbook.com/facts/1999/KatrinaJones.shtml">http://hypertextbook.com/facts/1999/KatrinaJones.shtml</a>
	Density of cement	2,40E+03	kg/m <sup>3</sup>
	Mass of cement	1,22E+06	kg
	Life span	3,00E+01	yr
	Mass of cement per year	4,06E+04	kg/tr
	Annual oil processing capacity of the plant	9,00E+07	kg
	Total cement allocated per kg oil	4,51E-04	kg/kg
	Average oil production	5,10E+02	kg/ha/yr
	Total allocated per year	2,30E-01	kg /ha/yr
<b>54</b>	<b>Iron in plant construction</b>		
a	Iron reinforcement in concrete (floor and wall)	3,50E+01	kg/m <sup>3</sup>
	Volume of cement	5,07E+02	m <sup>3</sup>
	Mass of iron in floor and wall	1,78E+04	kg
			(Björklund et al., 2001) (see above)
b	Iron sheet in roof, 1.25mm thick	1,00E+01	kg/m <sup>2</sup>
	Roof area	2,00E+03	m <sup>2</sup>
	Mass of iron in roof	2,00E+04	kg
			(Björklund et al., 2001)
c	Total mass of iron	3,78E+04	kg
	Life span	3,00E+01	yr
	Mass of iron per year	1,26E+03	kg/yr
	Annual oil processing capacity of the plant	9,00E+07	kg
	Total iron allocated per kg oil	1,40E-05	kg/kg
	Average oil production	5,10E+02	kg/ha/yr
	Total allocated per year	7,13E-03	kg /ha/yr
<b>55</b>	<b>Fuel</b>		
	Total diesel needed per kg oil	3,60E-03	kg/kg
	Average oil production	5,10E+02	kg/ha/yr
	Total per ha per year	1,84E+00	kg/ha/yr
	Higher Heating Value of diesel	4,45E+07	J/kg
	Total energy demand	8,16E+07	J/ha/yr
			(Dorsa, 2000)
	According to EPA (1996) diesel oil combustion releases:		
	CO	1,70E-02	g CO/MJ fuel
	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	2,00E-02	g NO <sub>1.5</sub> /MJ fuel
	SO <sub>2</sub>	6,50E-03	g SO <sub>2</sub> /MJ fuel
	N <sub>2</sub> O	3,70E-04	g N <sub>2</sub> O/MJ fuel
	VOC (as CH <sub>0.8</sub> )	6,70E-04	g VOC/MJ fuel
	CH <sub>4</sub>	8,30E-05	g CH <sub>4</sub> /MJ fuel
	Ash (as CH <sub>0.8</sub> )	3,30E-03	g part/MJ fuel
	Based on the HHV of coal used, these figures translate into		
	CO	7,56E-04	kg CO/kg fuel

NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	8,89E-04	kg NOx/kg fuel
SO <sub>2</sub>	2,89E-04	kg SO <sub>2</sub> /kg fuel
N <sub>2</sub> O	1,64E-05	kg N <sub>2</sub> O/kg fuel
VOC (as CH <sub>0.8</sub> )	2,98E-05	kg VOC/kg fuel
CH <sub>4</sub>	3,69E-06	kg CH <sub>4</sub> /kg fuel
Ash released	1,47E-04	kg part/kg fuel
Sulphur content in fuel (calculated from the assumption of a 100% reaction yield)		
	1,44E-04	kg S/kg fuel
Miscellaneous matter in fuel	1,47E-04	kg part/kg fuel
Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>0.8</sub> )	1,00E+00	kgCH1.5/kg fuel
	1,00E+00	kg fuel
Converting grams into moles, figures become:		
CO	2,70E-05	kmol/kg fuel
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	2,34E-05	kmol/kg fuel
SO <sub>2</sub>	4,52E-06	kmol/kg fuel
N <sub>2</sub> O	3,74E-07	kmol/kg fuel
VOC (as CH <sub>0.8</sub> )	2,33E-06	kmol/kg fuel
CH <sub>4</sub>	2,31E-07	kmol/kg fuel
Ash released	not applicable	
Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>0.8</sub> )	7,81E-02	kmol/kg fuel
Sulphur content per gram of fuel (assuming 100% reaction yield)	4,52E-06	kmol/kg fuel
CO <sub>2</sub> released, based on reaction stoichiometry and above data	7,81E-02	kmol/kg fuel
=	3,44E+00	kg CO <sub>2</sub> /kg fuel
Burning 1 kg of fuel requires, on average:		
O <sub>2</sub> required per g fuel burnt:	3,00E+00	kg O <sub>2</sub> /kg fuel
w/w % O <sub>2</sub> in air	2,31E-01	
Air requirement to supply the oxygen	1,30E+01	kg air/kg fuel
w/w % N <sub>2</sub> in air	7,55E-01	
N <sub>2</sub> in air flowing in	9,78E+00	kg N <sub>2</sub> /kg fuel
w/w % Ar gases in air	1,37E-02	
Ar in air flowing in	1,78E-01	kg Ar/kg fuel
H <sub>2</sub> O released per g fuel burnt	5,62E-01	kg H <sub>2</sub> O/kg fuel
N <sub>2</sub> required per g fuel burnt	3,38E-04	kg N <sub>2</sub> / kg fuel
N <sub>2</sub> flowing out without reacting	9,78E+00	kg N <sub>2</sub> /kg fuel
Ar flowing out without reacting	1,78E-01	kg Ar/kg fuel
NO <sub>1.5</sub> released per g of fuel burnt	8,89E-04	kg NO <sub>1.5</sub> / kg fuel
SO <sub>2</sub> released per g of fuel burnt	2,89E-04	kg SO <sub>2</sub> / kg fuel
N <sub>2</sub> O released per g of fuel burnt	1,64E-05	kg N <sub>2</sub> O/ kg fuel
VOC (as CH <sub>0.8</sub> ) released per g fuel burnt	2,98E-05	kg VOC/ kg fuel

	CH <sub>4</sub> released per gram fuel burnt	3,69E-06	kg CH <sub>4</sub> /kg fuel	
	CO released per g fuel burnt	7,56E-04	kg CO/kg fuel	
	CO <sub>2</sub> released per g fuel burnt	3,44E+00	kg CO <sub>2</sub> /kg fuel	
	Mass of diesel used	1,84E+00	kg/ha/yr	
	Flows to and from the combustion process will therefore be:			
	O <sub>2</sub> required	5,50E+00	kg O <sub>2</sub>	
	N <sub>2</sub> required	1,80E+01	kg N <sub>2</sub>	
	Ar required	3,26E-01	kg Ar	
	CO <sub>2</sub> emissions	6,30E+00	kg CO <sub>2</sub>	
	N <sub>2</sub> flowing out without reacting	1,80E+01	kg N <sub>2</sub>	
	Ar flowing out without reacting	3,26E-01	kg Ar	
	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> equiv.) emissions	1,63E-03	kg NO <sub>1.5</sub>	
	SO <sub>2</sub> emissions	5,30E-04	kg SO <sub>2</sub>	
	N <sub>2</sub> O emissions	3,02E-05	kg N <sub>2</sub> O	
	VOC released	5,47E-05	kg VOC	
	CH <sub>4</sub> released	6,77E-06	kg CH <sub>4</sub>	
	H <sub>2</sub> O released	1,03E+00	kg H <sub>2</sub> O	
	CO released	1,39E-03	kg CO	
	Particulates	2,69E-04	kg particulates	
	<b>Check</b>			
	Mass of reactants=	2,56E+01	kg	
	Mass of products=	2,56E+01	kg	
	unbalance (products/reactants)	0,00%		
56	<b>Electricity</b>			
	Energy used per kg of oil	1,26E-02	kWh/kg	(Dorsa, 2000)
	Average oil production	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Total per ha per year	6,40E+00	kWh/ha/yr	
	Conversion	3,60E+06	J/kWh	
	Total energy demand	2,30E+07	J/ha/yr	
57	<b>Water</b>			
	Water demand per kg of oil	8,17E-04	m <sup>3</sup> /kg	(Dorsa, 2000)
	Conversion	1,00E+03	kg/m <sup>3</sup>	
	Average oil production	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Total water demand	4,16E+02	kg/ha/yr	
	Free energy of water = (Evapotranspired water)(Gibbs free energy of water)			
	Gibbs free energy of water	4,94E+03	J/kg	(Odum, 1996)
	Energy of water	2,06E+06	J/ha/yr	
58	<b>Phosphoric acid</b>			
	Phosphoric acid demand per kg of oil	5,00E-04	kg/kg	(Dorsa, 2000)
	Average oil production	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Total per ha per year	2,55E-01	kg/ha/yr	
59	<b>Sodium hydroxide</b>			

	Caustic soda demand per kg of oil	4,48E-03	kg/kg	(Dorsa, 2000)
	Average oil production	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Total per ha per year	2,28E+00	kg/ha/yr	
60	<b>Diatomaceous earth</b>			
	Diatomaceous earth demand per kg of oil	3,50E-03	kg/kg	(Dorsa, 2000)
	Average oil production	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Total per ha per year	1,78E+00	kg/ha/yr	
61	<b>Citric acid</b>			
	Citric acid demand per kg of oil	6,00E-06	kg/kg	(Dorsa, 2000)
	Average oil production	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Total per ha per year	3,06E-03	kg/ha/yr	
62	<b>Labor</b>			
	Total applied labor per kg of oil	1,28E-03	h/kg	(Dorsa, 2000)
	Average oil production	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Total per ha per year	6,52E-01	h/ha/yr	
	working days per year (8 hours/day)	8,16E-02	day/ha/yr	
	working years (240 work day/year)	3,40E-04	year/ha/yr	
63	<b>Production cost and annual services</b>			
a	Buildings and equipments per kg of oil	0,103	US\$/kg	(Dorsa, 2000)
	Average life span	3,00E+01	years	
b	Buildings and equipments	0,003	US\$/kg	
c	Operation costs per kg of oil	0,006	US\$/kg	(Dorsa, 2000)
d	Losses in the process	0,015	US\$/kg	(Dorsa, 2000)
e	Recuperation of co-products	0,012	US\$/kg	(Dorsa, 2000)
f	Labor cost	0,010	US\$/kg	(Dorsa, 2000)
g	Total cost	0,022	US\$/kg	
	Average oil production	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Total per ha per year	11,25	US\$/ha/yr	
	Taxes (35% of labor cost)	1,74	US\$/ha/yr	
64	<b>Refining phase output</b>			
	Mass of oil per ha per year	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Process loses	1,20E+01	kg/ha/yr	
a	Total refined oil	4,98E+02	kg/ha/yr	
	Higher Heating Value of soy oil	3,96E+07	J/kg	(Domalski et al., 1986)
	Total energy	1,97E+10	J/ha/yr	
b	Dregs	1,02E+01	kg/ha/yr	
c	Earth/oil	2,34E+00	kg/ha/yr	
d	Fat acid	1,22E+00	kg/ha/yr	
65	<b>Airborne emissions</b>			
	CO2	6,30E+00	kg CO2	
	H2O	1,03E+00	kg H2O	
	N2 unreacted	1,80E+01	kg N2	

	Ar unreacted	3,26E-01	kg Ar	
	NOx	1,63E-03	kg NO1.5	
	SO2	5,30E-04	kg SO2	
	CO	1,39E-03	kg CO	
	VOC	5,47E-05	kg VOC	
	CH4	6,77E-06	kg CH4	
	Particulates	2,69E-04	kg particulates	
<b>66</b>	<b>Liquid emissions</b>			
	Process water output	4,16E+02	kg/ha/yr	
	Average suspended solids	5,00E+00	mg/L	(Dorsa, 2000)
	Oil	5,00E+01	mg/L	(Dorsa, 2000)
	Average BOD5	5,00E+02	mg/L	(Dorsa, 2000)
<b>b</b>	Therefore, total annual values are:			
	Total suspended solids	2,08E-03	kg/ha/yr	From unit emissions and actual production
	Oil	2,08E-02	kg/ha/yr	From unit emissions and actual production
	Total BOD <sub>5</sub>	2,08E-01	kg/ha/yr	From unit emissions and actual production
<b>67</b>	<b>Solid emissions</b>			
<b>a</b>	Industrial machinery (steel)	2,89E-01	kg	
<b>b</b>	Cement	2,30E-01	kg	
<b>c</b>	Iron	7,13E-03	kg	
<b>TRAIN TRANSPORT FROM INDUSTRY TO THE EXPORTATION PORT</b>				
<b>68</b>	<b>Free air components for combustion processes</b>			
<b>a</b>	<b>O2 for combustion of fuels</b>			
	Fuels (approximate raw formula assumed to be nCH1.5 for diesel and gasoline, and CH0.8 for coal) react with oxygen to yield CO2, H2O vapours, and other combustion gases. Emissions from each fuel combustion are estimated below in the footnotes.			
	Oxygen demand for diesel combustion	7,87E+01	kg O2	
<b>b</b>	<b>N2 for combustion of fuels</b>			
	O2 in air is always coupled to N2 (and minor fractions of other gases), in a proportion 21%-79% mol/mol . Pumping in oxygen from air requires that N2, Ar, etc. are also supplied to the combustion process.			
	N2 pumped through in the combustion of diesel	2,57E+02	kg N2	
<b>c</b>	<b>Ar for combustion of fuels</b>			
	Ar pumped through in the combustion of diesel	4,36E+00	kg Ar	
<b>69</b>	<b>Steel in train</b>			
	Average meal production	2,30E+03	kg/ha/yr	
	Average loading factor of the train	80%		Vale do Rio Doce Company (website AHITAR: www.ahitar.gov.br)
	Mass of the train allocated to 1 ha of soybean	1,84E+03	kg/ha/yr	
	Life span of the train	2,00E+01	years	

Mass of the train used per year	9,21E+01	kg/ha/yr	
Total km allocated to train transport	2,00E+03	km	Two times average distance from Mato Grosso State to Santos port
			Other estimates: 600 km (Coppens, 2003)
Average velocity of the train	6,00E+01	km/h	Our assumption
Time of the trip	4,00E+01	h	(We assume +20% for loading operations)
Fraction annual time is used to this transport	2,08E-02		
Mass of the train allocated to this transport	1,92E+00	kg/ha/yr	
Embodied energy machinery	8,00E+07	J/kg mach.	(Biondi et al., 1989, p.68)
Total energy demand	1,53E+08	J/ha/yr	

70

**Fuel**

Energy allocated per ton per km	2,30E-01	MJ/ton km	(Cederberg and Flysjö, 2004) Other estimates: 0,1 MJ/ton km; (Pimentel, 1980) Average distance from Mato Grosso State to Santos port
Total km allocated to train transport	2,00E+03	km	
Average meal production	2,30E+00	ton/ha/yr	
Energy allocated	1,06E+09	J/ha/yr	
Higher Heating Value of diesel	4,45E+07	J/kg	(Boustead and Hancock, 1979)
Mass of diesel oil used	2,38E+01	kg/ha/yr	

From GREET Version 1.6 (draft). Developed by Michael Wang. Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, October 2001.

Emissions from a locomotive. <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/153.pdf>

CO	7,89E-03	kg CO/kg fuel
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	8,01E-02	kg NO <sub>x</sub> /kg fuel
SO <sub>2</sub>	6,73E-04	kg SO <sub>2</sub> /kg fuel
VOC (as CH <sub>1.5</sub> )	2,97E-03	kg VOC/kg fuel
Particulates	1,99E-03	kg part/kg fuel
CH <sub>4</sub>	1,45E-04	kg CH <sub>4</sub> /kg fuel
N <sub>2</sub> O	7,62E-05	kg N <sub>2</sub> O/kg fuel
<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>3,04E+00</b>	<b>kg CO<sub>2</sub>/kg fuel</b>

Sulphur content in fuel (calculated from the assumption of a 100% reaction yield)	3,36E-04	kg S/kg fuel
Miscellaneous matter in fuel	1,99E-03	kg part/kg fuel
Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>1.5</sub> )	9,98E-01	kgCH <sub>1.5</sub> /kg fuel
Total	1,00E+00	kg fuel

Converting grams into moles, figures become:

CO	2,82E-04	kmol/kg fuel
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	2,11E-03	kmol/kg fuel
SO <sub>2</sub>	1,05E-05	kmol/kg fuel
VOC (as CH <sub>1.5</sub> )	2,20E-04	kmol/kg fuel
Particulates		not applicable

Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>1.5</sub> )	7,39E-02	mol/kg fuel
Sulphur content in fuel (calculated from the assumption of a 100% reaction yield)	1,05E-05	mol/kg fuel
Diesel raw formula is assumed as CH <sub>1.5</sub> .		

Burning one g of fuel requires, on average:

	O <sub>2</sub> required per g fuel burnt:	3,31E+00	kg O <sub>2</sub> /kg fuel	
	Air requirement to supply the oxygen	1,43E+01	kg air/kg fuel	
	N <sub>2</sub> in air flowing in	1,08E+01	kg N <sub>2</sub> /kg fuel	
	Ar in air flowing in	1,83E-01	kg Ar/kg fuel	
	CO <sub>2</sub> released per kg fuel burnt	3,23E+00	kg CO <sub>2</sub> /kg fuel	
	H <sub>2</sub> O released per kg fuel burnt	9,95E-01	kg H <sub>2</sub> O/kg fuel	
	N <sub>2</sub> required per kg fuel burnt	2,95E-02	kg N <sub>2</sub> /kg fuel	
	N <sub>2</sub> flowing out without reacting	1,08E+01	kg N <sub>2</sub> /kg fuel	
	Ar flowing out without reacting	1,83E-01	kg Ar/kg fuel	
	NO <sub>x</sub> released per kg of fuel burnt	9,69E-02	kg NO <sub>x</sub> /kg fuel	
	SO <sub>2</sub> released per kg of fuel burnt	6,73E-04	kg SO <sub>2</sub> /kg fuel	
	VOC (as CH <sub>1.5</sub> ) released perkg fuel burnt	2,97E-03	kg VOC/kg fuel	
	CO released per kg fuel burnt	7,89E-03	kg CO/kg fuel	
	CH <sub>4</sub> released perkg fuel burnt	1,45E-04	kg CH <sub>4</sub> /kg fuel	
	N <sub>2</sub> O released per kg fuel burnt	7,62E-05	kg N <sub>2</sub> O/kg fuel	
	<b>Total fuel used</b>	<b>2,38E+01</b>	<b>kg fuel</b>	
	O <sub>2</sub> required	7,87E+01	kg O <sub>2</sub>	
	N <sub>2</sub> required	2,57E+02	kg N <sub>2</sub>	
	Ar required	4,36E+00	kg Ar	
	CO <sub>2</sub> emissions	7,69E+01	kg CO <sub>2</sub>	
	N <sub>2</sub> flowing out without reacting	2,56E+02	kg N <sub>2</sub>	
	Ar flowing out without reacting	4,36E+00	kg Ar	
	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> equiv.) emissions	2,31E+00	kg NO <sub>1.5</sub>	
	SO <sub>2</sub> emissions	1,60E-02	kg SO <sub>2</sub>	
	VOC released	7,06E-02	kg VOC	
	H <sub>2</sub> O released	2,37E+01	kg H <sub>2</sub> O	
	CO released	1,88E-01	kg CO	
	Particulates	4,73E-02	kg particulates	
	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>3,46E-03</b>	<b>kg CH<sub>4</sub></b>	
	<b>N<sub>2</sub>O</b>	<b>1,82E-03</b>	<b>kg N<sub>2</sub>O</b>	
	<b>Check</b>			
	Mass of reactants=	3,59E+02	kg	
	Mass of products=	3,59E+02	kg	
	unbalance (products/reactants)			
71	<b>Train transport labor</b>			
	Total applied labor	2,76E-01	h/ha/yr	Our estimative from field work
	working days per year (8 hours/day)	3,45E-02	day/ha/yr	
	working years (240 work yrs/year)	1,44E-04	year/ha/yr	
72	<b>Production cost and annual services</b>			
	Trasnport cost	0,04	US\$/t km	Vale do Rio Doçe Company (website AHITAR: www.ahitar.gov.br)
	Total km allocated to train transport	2,00E+03	km	Average distance from Mato Grosso State to Santos port
	Cost per ton	88,00	US\$/t	Vale do Rio Doçe Company (website

AHITAR: [www.ahitar.gov.br](http://www.ahitar.gov.br))

	Average meal production	2,30E+03	kg/ha/yr	
	Total cost of train transport	202,61	US\$/ha/yr	
	Taxes (ICMS 16% of the value)	90,16	US\$/ha/yr	
73	<b>Products and by-products of train transport phase</b>			
	Soybean transported	2,30E+03	kg	
	Higher Heating Value of soy flour	1,55E+07	J/kg	See above
	Total energy	3,58E+10	J	
74	<b>Airborne emissions</b>			See above
	CO <sub>2</sub>	7,69E+01	kg CO <sub>2</sub>	
	H <sub>2</sub> O	2,37E+01	kg H <sub>2</sub> O	
	N <sub>2</sub> unreacted	2,56E+02	kg N <sub>2</sub>	
	Ar unreacted	4,36E+00	kg Ar	
	NO <sub>x</sub>	2,31E+00	kg NO <sub>1.5</sub>	
	SO <sub>2</sub>	1,60E-02	kg SO <sub>2</sub>	
	CO	1,88E-01	kg CO	
	VOC	7,06E-02	kg VOC	
	CH <sub>4</sub>	3,46E-03	kg CH <sub>4</sub>	
	N <sub>2</sub> O	1,82E-03	kg N <sub>2</sub> O	
	Particulates	4,73E-02	kg particulates	
75	<b>Solid emissions</b>			
	Train (steel)	1,92E+00	kg	See above

**FREIGHTER TRANSPORT FROM BRAZIL TO EUROPE**76 **Free air components for combustion processes**a **O<sub>2</sub> for combustion of fuels**

Fuels (approximate raw formula assumed to be nCH<sub>1.5</sub> for diesel and gasoline, and CH<sub>0.8</sub> for coal) react with oxygen to yield CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O vapours, and other combustion gases. Emissions from each fuel combustion are estimated below in the footnotes.

Oxygen demand for diesel combustion	6,96E+02	kg O <sub>2</sub>
-------------------------------------	----------	-------------------

b **N<sub>2</sub> for combustion of fuels**

O<sub>2</sub> in air is always coupled to N<sub>2</sub> (and minor fractions of other gases), in a proportion 21%-79% mol/mol .

Pumping in oxygen from air requires that N<sub>2</sub>, Ar, etc. are also supplied to the combustion process.

N <sub>2</sub> pumped through in the combustion of diesel	2,27E+03	kg N <sub>2</sub>
---	----------	-------------------

c **Ar for combustion of fuels**

Ar pumped through in the combustion of diesel	3,85E+01	kg Ar
---	----------	-------

77 **Steel in freighter**

Average meal production	2,30E+03	kg/ha/yr
-------------------------	----------	----------

Average loading factor of the freighter	30%	
---	-----	--

(Cederberg and Flysjö, 2004)  
Other estimates: 26%  
(<http://www.boatnerd.com/pictures/fleet/maritimetrader.htm>)

Other estimates: 14%  
(<http://www.ibiblio.org/maritime/Scheepvaartnieuws/Pdf/scheepvaartnieuws/2002/september/037-25-09-2002.PDF>)

Mass of the freighter allocated to 1 ha of soybean	6,91E+02	kg/ha/yr
Life span of the freighter	2,00E+01	years
Mass of the freighter	3,45E+01	kg/ha/yr
Total km allocated to freighter transport	2,01E+04	km
Average velocity of the freighter	2,00E+01	km/h
Time of the trip	1,21E+03	h
Fraction annual time is used to this transport	6,29E-01	
Mass of the freighter allocated to this transport	2,17E+01	kg/ha/yr
Embodied energy machinery	8,00E+07	J/kg mach.
Total energy demand	1,74E+09	J/ha/yr

Two times average distance from Santos port to Rotterdam  
(<http://www.distances.com/distance.php>)  
Estimated from:  
<http://www.distances.com/distance.php>  
(We assume +20% for loading operations)

(Biondi et al., 1989, p.68)

78

**Fuel**

Energy allocated per ton per km	2,02E-01	MJ/(t km)
Distance from Santos port from Rotterdam	2,01E+04	km
Average meal production	2,30E+00	ton/ha/yr
Energy content	9,35E+09	J/ha/yr
Higher Heating Value of diesel	4,45E+07	J/kg
Mass of diesel oil used	2,10E+02	kg/ha/yr

(Cederberg and Flysjö, 2004)  
Other estimates: 0,2 MJ/ton km;  
(Coppens, 2003)

See above

(Boustead and Hancock, 1979)

From GREET Version 1.6 (draft). Developed by Michael Wang. Center for Transportation Research, Argonne National Laboratory, October 2001.

Emissions from a freighter. <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/153.pdf>

CO	8,38E-03	kg CO/kg fuel
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	8,50E-02	kg NO <sub>x</sub> /kg fuel
SO <sub>2</sub>	6,73E-04	kg SO <sub>2</sub> /kg fuel
VOC (as CH <sub>1.5</sub> )	3,15E-03	kg VOC/kg fuel
Particulates	2,11E-03	kg part/kg fuel
CH <sub>4</sub>	1,54E-04	kg CH <sub>4</sub> /kg fuel
N <sub>2</sub> O		kg N <sub>2</sub> O/kg fuel
CO <sub>2</sub>	3,04E+00	kg CO <sub>2</sub> /kg fuel

Sulphur content in fuel (calculated from the assumption of a 100% reaction yield)	3,36E-04	kg S/kg fuel
Miscellaneous matter in fuel	2,11E-03	kg part/kg fuel
Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>1.5</sub> )	9,98E-01	kgCH <sub>1.5</sub> /kg fuel
Total	1,00E+00	kg fuel

Converting grams into moles, figures become:

CO	2,99E-04	kmol/kg fuel
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	2,24E-03	kmol/kg fuel
SO <sub>2</sub>	1,05E-05	kmol/kg fuel
VOC (as CH <sub>1.5</sub> )	2,33E-04	kmol/kg fuel
Particulates		not applicable

Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>1.5</sub> )	7,39E-02	mol/kg fuel
Sulphur content in fuel (calculated from the		

	assumption of a 100% reaction yield)	1,05E-05	mol/kg fuel	
	Diesel raw formula is assumed as CH <sub>1.5</sub> .			
	Burning one g of fuel requires, on average:			
	O <sub>2</sub> required per g fuel burnt:	3,31E+00	kg O <sub>2</sub> /kg fuel	
	Air requirement to supply the oxygen	1,43E+01	kg air/kg fuel	
	N <sub>2</sub> in air flowing in	1,08E+01	kg N <sub>2</sub> /kg fuel	
	Ar in air flowing in	1,83E-01	kg Ar/kg fuel	
	CO <sub>2</sub> released per kg fuel burnt	3,23E+00	kg CO <sub>2</sub> /kg fuel	
	H <sub>2</sub> O released per kg fuel burnt	9,94E-01	kg H <sub>2</sub> O/kg fuel	
	N <sub>2</sub> required per kg fuel burnt	3,13E-02	kg N <sub>2</sub> /kg fuel	
	N <sub>2</sub> flowing out without reacting	1,08E+01	kg N <sub>2</sub> /kg fuel	
	Ar flowing out without reacting	1,83E-01	kg Ar/kg fuel	
	NO <sub>x</sub> released per kg of fuel burnt	1,03E-01	kg NO <sub>x</sub> /kg fuel	
	SO <sub>2</sub> released per kg of fuel burnt	6,73E-04	kg SO <sub>2</sub> /kg fuel	
	VOC (as CH <sub>1.5</sub> ) released per kg fuel burnt	3,15E-03	kg VOC/kg fuel	
	CO released per kg fuel burnt	8,38E-03	kg CO/kg fuel	
	CH <sub>4</sub> released per kg fuel burnt	1,54E-04	kg CH <sub>4</sub> /kg fuel	
	N <sub>2</sub> O released per kg fuel burnt		kg N <sub>2</sub> O/kg fuel	
	Total fuel used	2,10E+02	kg fuel	
	O <sub>2</sub> required	6,96E+02	kg O <sub>2</sub>	
	N <sub>2</sub> required	2,27E+03	kg N <sub>2</sub>	
	Ar required	3,85E+01	kg Ar	
	CO <sub>2</sub> emissions	6,79E+02	kg CO <sub>2</sub>	
	N <sub>2</sub> flowing out without reacting	2,26E+03	kg N <sub>2</sub>	
	Ar flowing out without reacting	3,85E+01	kg Ar	
	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> equiv.) emissions	2,16E+01	kg NO <sub>1.5</sub>	
	SO <sub>2</sub> emissions	1,42E-01	kg SO <sub>2</sub>	
	VOC released	6,62E-01	kg VOC	
	H <sub>2</sub> O released	2,09E+02	kg H <sub>2</sub> O	
	CO released	1,76E+00	kg CO	
	Particulates	4,43E-01	kg particulates	
	CH <sub>4</sub>	3,24E-02	kg CH <sub>4</sub>	
	N <sub>2</sub> O		kg N <sub>2</sub> O	
	<b>Check</b>			
	Mass of reactants=	3,18E+03	kg	
	Mass of products=	3,18E+03	kg	
	unbalance (products/reactants)			
79	<b>Freighter transport labor</b>			
	Total applied labor	8,59E-01	h/ha/yr	Estimated from: www.portodesantos.com.br
	working days per year (8 hours/day)	1,07E-01	day/ha/yr	
	working years (240 work yrs/year)	4,47E-04	year/ha/yr	
80	<b>Production cost and annual services</b>			

	Freight transport cost	28,90	US\$/t	Vale do Rio Doçe Company (website AHITAR: <a href="http://www.ahitar.gov.br">www.ahitar.gov.br</a> ) Other estimates: Central 27,56; <a href="http://www.choicesmagazine.org/2006-2/tilling/2006-2-11.htm">http://www.choicesmagazine.org/2006-2/tilling/2006-2-11.htm</a> Other estimates: South 22,05; <a href="http://www.choicesmagazine.org/2006-2/tilling/2006-2-11.htm">http://www.choicesmagazine.org/2006-2/tilling/2006-2-11.htm</a>
	Average meal production	2,30E+03	kg/ha/yr	
	Total cost of freighter transport	66,54	US\$/ha/yr	
	Port operations cost	11,60	US\$/t	Vale do Rio Doçe Company (website AHITAR: <a href="http://www.ahitar.gov.br">www.ahitar.gov.br</a> )
	Average meal production	2,30E+03	kg/ha/yr	
	Total port cost cost	26,71	US\$/ha/yr	
	Total cost	93,25	US\$/ha/yr	
		40,50	US\$/ton	
81	<b>Products and by-products of freighter transport phase</b>			
	Soy meal transported	2,30E+03	kg	
	Higher Heating Value of soy flour	1,55E+07	J/kg	See above
	Total energy	3,58E+10	J	
82	<b>Airborne emissions</b>			See above
	CO2	6,79E+02	kg CO2	
	H2O	2,09E+02	kg H2O	
	N2 unreacted	2,26E+03	kg N2	
	Ar unreacted	3,85E+01	kg Ar	
	NOx	2,16E+01	kg NO1.5	
	SO2	1,42E-01	kg SO2	
	CO	1,76E+00	kg CO	
	VOC	6,62E-01	kg VOC	
	CH4	3,24E-02	kg CH4	
	N2O		kg N2O	
	Particulates	4,43E-01	kg particulates	
83	<b>Solid emissions</b>			
	Freighter (steel)	2,17E+01	kg	See above

**TRUCK TRANSPORT FROM PORT TO FEED INDUSTRY**

84	<b>Free air components for combustion processes</b>			
84a	<b>O2 for combustion of fuels</b>			
	Fuels (approximate raw formula assumed to be nCH1.5 for diesel and gasoline, and CH0.8 for coal) react with oxygen to yield CO2, H2O vapours, and other combustion gases. Emissions from each fuel combustion are estimated below in the footnotes.			
	Oxygen demand for diesel combustion	5,97E+00	kg O2	
84b	<b>N2 for combustion of fuels</b>			
	O2 in air is always coupled to N2 (and minor fractions of other gases), in a proportion 21%-79% mol/mol . Pumping in oxygen from air requires that N2, Ar, etc. are also supplied to the combustion process.			

	N2 pumped through in the combustion of diesel	1,95E+01	kg N2	
84c	<b>Ar for combustion of fuels</b>			
	Ar pumped through in the combustion of diesel	3,30E-01	kg Ar	
85	<b>Steel for transport in heavy truck</b>			
	Soy meal transported	2,30E+03	kg/ha/yr	
	Average loading of the heavy truck	2,00E+04	kg/trip	Our assumption from field work
	Number of trips	1,15E-01	trip/ha/yr	
	Distance per trip (round way)	3,20E+02	km/trip	Two times average distance estimated from: Coppens, 2003
	Total km allocated to transport	3,68E+01	km/ha/yr	
	Average km run by the truck in its life	1,50E+05	km/truck	Our assumption from field work
	Fraction this transport is of total truck km	2,46E-04	truck/ha/yr	
	Loading factor	70%		(Cederberg and Flysjö, 2004)
	Weight of an average truck	1,40E+04	kg	
	Fraction of truck allocated to 1 ha of soybean	3,44E+00	kg/ha/yr	
				Other estimates:12 kg/ha/yr (Ulgiati, 2001) corn in italy
	Embodied energy machinery	8,00E+07	J/kg mach.	(Biondi et al., 1989) p.68
	Total energy demand	2,75E+08	J/ha/yr	
86	<b>Fuel</b>			
	Distance per trip (round way)	1,60E+02	km/trip	(Coppens, 2003)
	Diesel demand per km	1,00E-01	kg/km	(Corinair, 2002)
	Mass of diesel oil used	1,60E+01	kg/trip	
	Higher Heating Value of diesel	4,45E+07	J/kg	(Boustead and Hancock, 1979)
	Energy demand per trip	7,11E+08	J/trip	
	Number of trips	1,15E-01	trip/ha/yr	
	Mass of diesel oil used	1,84E+00	kg/ha/yr	
	Total energy demand	8,19E+07	J/ha/yr	
	According to CORINAIR (1992) Working Group data, p.54, diesel heavy duty vehicles in the range 3.5-16 t release:			
	CO	3,86E-02	kg CO/kg fuel	
	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	3,91E-02	kg NOx/kg fuel	
	SO <sub>2</sub>		kg SO2/kg fuel	
	VOC (as CH <sub>1.5</sub> )	4,00E-03	kg VOC/kg fuel	
	Particulates	4,30E-03	kg part/kg fuel	
	Sulphur content in fuel (calculated from the assumption of a 100% reaction yield)			
			kg S/kg fuel	
	Miscellaneous matter in fuel	4,30E-03	kg part/kg fuel	
	Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>1.5</sub> )	9,96E-01	kgCH1.5/kg fuel	
	Total	1,00E+00	kg fuel	
	Converting grams into moles, figures become:			
	CO	1,38E-03	kmol/kg fuel	
	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	1,03E-03	kmol/kg fuel	
	SO <sub>2</sub>		kmol/kg fuel	
	VOC (as CH <sub>1.5</sub> )	2,96E-04	kmol/kg fuel	
	Particulates		not applicable	

Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>1.5</sub> )	7,38E-02	mol/kg fuel	
Sulphur content in fuel (calculated from the assumption of a 100% reaction yield)		mol/kg fuel	
Diesel raw formula is assumed as CH <sub>1.5</sub> .			
Burning one g of fuel requires, on average:			
O <sub>2</sub> required per g fuel burnt:	3,24E+00	kg O <sub>2</sub> /kg fuel	
Air requirement to supply the oxygen	1,40E+01	kg air/kg fuel	
N <sub>2</sub> in air flowing in	1,06E+01	kg N <sub>2</sub> /kg fuel	
Ar in air flowing in	1,79E-01	kg Ar/kg fuel	
CO <sub>2</sub> released per kg fuel burnt	3,17E+00	kg CO <sub>2</sub> /kg fuel	
H <sub>2</sub> O released per kg fuel burnt	9,92E-01	kg H <sub>2</sub> O/kg fuel	
N <sub>2</sub> required per kg fuel burnt	1,44E-02	kg N <sub>2</sub> /kg fuel	
N <sub>2</sub> flowing out without reacting	1,06E+01	kg N <sub>2</sub> /kg fuel	
Ar flowing out without reacting	1,79E-01	kg Ar/kg fuel	
NO <sub>x</sub> released per kg of fuel burnt	4,73E-02	kg NO <sub>x</sub> /kg fuel	
SO <sub>2</sub> released per kg of fuel burnt		kg SO <sub>2</sub> /kg fuel	
VOC (as CH <sub>1.5</sub> ) released per kg fuel burnt	4,00E-03	kg VOC/kg fuel	
CO released per kg fuel burnt	3,86E-02	kg CO/kg fuel	
Total fuel used	1,84E+00	kg fuel	
O <sub>2</sub> required	5,97E+00	kg O <sub>2</sub>	
N <sub>2</sub> required	1,95E+01	kg N <sub>2</sub>	
Ar required	3,30E-01	kg Ar	
CO <sub>2</sub> emissions	5,84E+00	kg CO <sub>2</sub>	
N <sub>2</sub> flowing out without reacting	1,95E+01	kg N <sub>2</sub>	
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> equiv.) emissions	8,72E-02	kg NO <sub>1.5</sub>	
SO <sub>2</sub> emissions		kg SO <sub>2</sub>	
VOC released	7,37E-03	kg VOC	
H <sub>2</sub> O released	1,83E+00	kg H <sub>2</sub> O	
CO released	7,11E-02	kg CO	
Particulates	7,92E-03	kg particulates	
<b>Check</b>			
Mass of reactants=	2,73E+01	kg	
Mass of products=	2,73E+01	kg	
unbalance (products/reactants)	0,00%		

87

<b>Labor</b>			
Labor per trip	7,00E+00	h/trip	Our assumption from field work
Number of trips	1,15E-01	trip/ha/yr	
Total labor applied	8,06E-01	h/ha/yr	
working days per year (8 hours/day)	1,01E-01	day/ha/yr	
working years (240 work yrs/year)	4,20E-04	year/ha/yr	
Labor cost	6,72	US\$/h	Our assumption from field work
Total labor cost	5,41	US\$/ha/yr	

88	<b>Production cost and annual services</b>			
88a	Cost of the truck	80000,00	US\$/truck	Our assumption from field work
	Fraction this transport is of total truck km	2,46E-04	truck/ha/yr	
	Cost of truck allocated to this transport	19,65	US\$/ha/yr	
88b	Mass of diesel oil used	1,60E+01	kg/trip	
	Density	8,40E-01	kg/L	See above
	Number of trips	1,15E-01	trip/ha/yr	
	Diesel price	0,68	US\$/L	Our assumption from field work
	Total diesel cost	1,49	US\$/ha/yr	
88d	Labor	5,41	US\$/ha/yr	
88e	Total transport cost	26,55	US\$/ha/yr	
	Taxes (35% of labor cost)	1,89	US\$/ha/yr	
89	<b>Products and by-products of transport phase</b>			
	soy meal transported	2,30E+03	kg	
	Higher Heating Value of soy flour	1,55E+07	J/kg	See above
	Total energy	3,58E+10	J	
90	<b>Airborne emissions</b>			See above
	CO2	5,84E+00	kg CO2	
	H2O	1,83E+00	kg H2O	
	N2 unreacted	1,95E+01	kg N2	
	Ar unreacted	3,30E-01	kg Ar	
	NOx	8,72E-02	kg NO1.5	
	SO2		kg SO2	
	CO	7,11E-02	kg CO	
	VOC	7,37E-03	kg VOC	
	CH4		kg CH4	
	Particulates	7,92E-03	kg particulates	
91	<b>Solid emissions</b>			
	Industrial machinery (steel)	3,44E+00	kg	See above

**BIODIESEL CONVERSION**

92	<b>Free air components for combustion processes</b>			
92a	<b>O2 for combustion of fuels</b>			
	Fuels (approximate raw formula assumed to be nCH1.5 for diesel and gasoline) react with oxygen to yield CO2, H2O vapours, and other combustion gases. Emissions from each fuel combustion are estimated below in the footnotes.			
	Oxygen demand for diesel combustion	8,20E+01	kg O2	
92b	<b>N2 for combustion of fuels</b>			
	O2 in air is always coupled to N2 (and minor fractions of other gases), in a proportion 21%-79% mol/mol.			

	Pumping in oxygen from air requires that N <sub>2</sub> , Ar, etc. are also supplied to the combustion process.		
	N <sub>2</sub> pumped through in the combustion of diesel	2,68E+02	kg N <sub>2</sub>
92c	<b>Ar for combustion of fuels</b>		
	Ar pumped through in the combustion of diesel	4,86E+00	kg Ar
93	<b>Steel for plant machinery</b>		
	Total steel allocated per kg soy oil per year	2,30E-03	kg/kg oil (Fortenbery, 2005)
	Soy oil processed	5,10E+02	kg/ha/yr
	Total allocated per year	1,17E+00	kg steel/ha/yr
	Embodied energy machinery	8,00E+07	J/kg mach. (Biondi et al., 1989, p.68)
	Total energy demand	9,37E+07	J/ha/yr
94	<b>Cement in plant construction</b>		
	Constructed area	4,18E+02	m <sup>2</sup> (Fortenbery, 2005)
	Perimeter of the constructed area	8,18E+01	m
	Height of the wall	1,22E+01	m Our assumption
	Walls area	9,97E+02	m <sup>2</sup>
	Total constructed area = (Floor area) + (Walls area)		
	Total constructed area	1,42E+03	m <sup>2</sup>
	Mean thickness of cement	2,00E-01	m Our assumption
	Volume of cement	2,83E+02	m <sup>3</sup>
	Density of cement	2,40E+03	kg/m <sup>3</sup> (McGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology) <a href="http://hypertextbook.com/facts/1999/KatrinaJones.shtml">http://hypertextbook.com/facts/1999/KatrinaJones.shtml</a>
	Mass of cement	6,79E+05	kg
	Life span	3,00E+01	yr
	Mass of cement per year	2,26E+04	kg/yr
	Soy oil capacity of the biodiesel plant	3,40E+07	kg/yr
	Total cement allocated per kg soy oil	6,66E-04	kg/kg oil
	Soy oil processed	5,10E+02	kg/ha/yr
	Total allocated per year	3,39E-01	kg/ha/yr
95	<b>Iron in plant construction</b>		
95a	Iron reinforcement in concrete (floor and wall)	3,50E+01	kg/m <sup>3</sup> (Björklund et al., 2001)
	Volume of cement	2,83E+02	m <sup>3</sup> (See above)
	Mass of iron in floor and wall	9,91E+03	kg
95b	Iron sheet in roof, 1.25mm thick	1,00E+01	kg/m <sup>2</sup> (Björklund et al., 2001)
	Roof area	4,18E+02	m <sup>2</sup>
	Mass of iron in roof	4,18E+03	kg
95c	Total mass of iron	1,41E+04	kg
	Life span	3,00E+01	yr
	Mass of iron per year	4,70E+02	kg/yr
	Soy oil capacity of the biodiesel plant	3,40E+07	kg/yr
	Total iron allocated per kg soy oil	1,38E-05	kg/kg of oil
	Soy oil processed	5,10E+02	kg/ha/yr
	Total allocated per year	7,04E-03	kg/ha/yr

96

**Fuel**

Total diesel needed per kg soy oil processed	5,37E-02	kg/kg oil	(Fortenbery, 2005)
Soy oil processed	5,10E+02	kg/ha/yr	
Mass of diesel used	2,74E+01	kg/ha/yr	
Higher Heating Value of diesel	4,45E+07	J/kg	(Boustead and Hancock, 1979)]
Total allocated per year	1,22E+09	J/ha/yr	
	2,39E+03	MJ/ton	

According to EPA (1996) diesel oil combustion in a industrial boiler releases:

CO	1,70E-02	g CO/MJ fuel
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	2,00E-02	g NO <sub>1.5</sub> /MJ fuel
SO <sub>2</sub>	6,50E-03	g SO <sub>2</sub> /MJ fuel
N <sub>2</sub> O	3,70E-04	g N <sub>2</sub> O/MJ fuel
VOC (as CH <sub>0.8</sub> )	6,70E-04	g VOC/MJ fuel
CH <sub>4</sub>	8,30E-05	g CH <sub>4</sub> /MJ fuel
Ash (as CH <sub>0.8</sub> )	3,30E-03	g part/MJ fuel

Based on the HHV of diesel used, these figures translate into

CO	7,56E-04	kg CO/kg fuel
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	8,89E-04	kg NO <sub>x</sub> /kg fuel
SO <sub>2</sub>	2,89E-04	kg SO <sub>2</sub> /kg fuel
N <sub>2</sub> O	1,64E-05	kg N <sub>2</sub> O/kg fuel
VOC (as CH <sub>0.8</sub> )	2,98E-05	kg VOC/kg fuel
CH <sub>4</sub>	3,69E-06	kg CH <sub>4</sub> /kg fuel
Ash released	1,47E-04	kg part/kg fuel

Sulphur content in fuel (calculated from the

assumption of a 100% reaction yield)	1,44E-04	kg S/kg fuel
Miscellaneous matter in fuel	1,47E-04	kg part/kg fuel
Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>0.8</sub> )	1,00E+00	kgCH <sub>1.5</sub> /kg fuel
	1,00E+00	kg fuel

Converting grams into moles, figures become:

CO	2,70E-05	kmol/kg fuel
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	2,34E-05	kmol/kg fuel
SO <sub>2</sub>	4,52E-06	kmol/kg fuel
N <sub>2</sub> O	3,74E-07	kmol/kg fuel
VOC (as CH <sub>0.8</sub> )	2,33E-06	kmol/kg fuel
CH <sub>4</sub>	2,31E-07	kmol/kg fuel
Ash released	not applicable	

Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>0.8</sub> )	7,81E-02	kmol/kg fuel
Sulphur content per gram of fuel (assuming 100% reaction yield)	4,52E-06	kmol/kg fuel

CO <sub>2</sub> released, based on reaction stoichiometry and above data	7,81E-02	kmol/kg fuel
---	----------	--------------

=	3,44E+00	kg CO2/kg fuel
Burning 1 kg of fuel requires, on average:		
O <sub>2</sub> required per g fuel burnt:	3,00E+00	kg O2/kg fuel
w/w % O2 in air	2,31E-01	
Air requirement to supply the oxygen	1,30E+01	kg air/kg fuel
w/w % N2 in air	7,55E-01	
N <sub>2</sub> in air flowing in	9,78E+00	kg N2/kg fuel
w/w % Ar gases in air	1,37E-02	
Ar in air flowing in	1,78E-01	kg Ar/kg fuel
H <sub>2</sub> O released per g fuel burnt	5,62E-01	kg H2O/kg fuel
N <sub>2</sub> required per g fuel burnt	3,38E-04	kg N2/ kg fuel
N <sub>2</sub> flowing out without reacting	9,78E+00	kg N2/kg fuel
Ar flowing out without reacting	1,78E-01	kg Ar/kg fuel
NO <sub>1.5</sub> released per g of fuel burnt	8,89E-04	kg NO1.5/ kg fuel
SO <sub>2</sub> released per g of fuel burnt	2,89E-04	kg SO2/ kg fuel
N <sub>2</sub> O released per g of fuel burnt	1,64E-05	kg N2O/ kg fuel
VOC (as CH <sub>0.8</sub> ) released per g fuel burnt	2,98E-05	kg VOC/ kg fuel
CH <sub>4</sub> released per gram fuel burnt	3,69E-06	kg CH4/kg fuel
CO released per g fuel burnt	7,56E-04	kg CO/kg fuel
CO <sub>2</sub> released per g fuel burnt	3,44E+00	kg CO2/kg fuel
Mass of diesel used	2,74E+01	kg/ha/yr
Flows to and from the combustion process will therefore be:		
O <sub>2</sub> required	8,20E+01	kg O2
N <sub>2</sub> required	2,68E+02	kg N2
Ar required	4,86E+00	kg Ar
CO <sub>2</sub> emissions	9,40E+01	kg CO2
N <sub>2</sub> flowing out without reacting	2,68E+02	kg N2
Ar flowing out without reacting	4,86E+00	kg Ar
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> equiv.) emissions	2,43E-02	kg NO1.5
SO <sub>2</sub> emissions	7,90E-03	kg SO2
N <sub>2</sub> O emissions	4,50E-04	kg N2O
VOC released	8,15E-04	kg VOC
CH <sub>4</sub> released	1,01E-04	kg CH4
H <sub>2</sub> O released	1,54E+01	kg H2O
CO released	2,07E-02	kg CO
Particulates	4,01E-03	kg particulates
<b>Check</b>		
Mass of reactants=	3,82E+02	kg
Mass of products=	3,82E+02	kg
unbalance (products/reactants)	0,00%	

	Methanol demand per kg of soy oil	1,87E-01	L/kg oil	(Fortenbery, 2005)
	Soy oil processed	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Methanol demand	9,54E+01	L/ha/yr	
	Methanol density	7,90E-01	kg/L	( <a href="http://www.autoindustry.co.uk/articles/01-06-06">http://www.autoindustry.co.uk/articles/01-06-06</a> )
	Mathanol mass	7,53E+01	kg/ha/yr	
	Higher Heating Value of methanol	1,60E+07	J/L	( <a href="http://www.autoindustry.co.uk/articles/01-06-06">http://www.autoindustry.co.uk/articles/01-06-06</a> )
	Energy content	1,53E+09	J/ha/yr	
98	<b>Catalyst</b>			
	Catalyst demand per kg of soy oil	1,07E-02	L/kg oil	(Fortenbery, 2005)
	Soy oil processed	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Total catalyst demand	5,44E+00	kg/ha/yr	
	Higher Heating Value of catalyst		J/kg	
	Energy content		J/ha/yr	
99	<b>Electricity</b>			
	Energy used per kg of soy oil	8,82E-04	kWh/kg oil	(Fortenbery, 2005)
	Soy oil processed	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Total per ha per year	4,50E-01	kWh/ha/yr	
	Total per ton	8,82E-01	kWh/ton	
				Other estimates: 46 kWh/ton (Cederberg , 1998)
				Other estimates:392 kWh/ha/yr; (Ulgiati, 2001) ethanol production from corn
	Conversion	3,60E+06	J/kWh	
	Total energy demand	1,62E+06	J/ha/yr	
100	<b>Water</b>			
	Water demand per kg of soy oil	5,11E-01	m3/kg oil	(Fortenbery, 2005)
	Soy oil processed	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Total water demand	2,60E+02	kg/ha/yr	
				Other estimates:76000 L/ha/yr; (Ulgiati, 2001) ethanol production from corn
	Free energy of water = (Evapotranspired water)(Gibbs free energy of water)			
	Gibbs free energy of water	4,94E+03	J/kg	
	Energy of water	1,29E+06	J/ha/yr	
101	<b>Labor</b>			
	Total applied labor per kg of soy oil	6,77E-04	h/kg oil	(Fortenbery, 2005)
	Soy oil processed	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Total allocated per ha per yr	3,45E-01	h/ha/yr	
	working days per year (8 hours/day)	4,32E-02	day/ha/yr	
	working years (240 work day/year)	1,80E-04	year/ha/yr	
102	<b>Production cost and annual services</b>			
	Total cost per kg of soy oil	0,053	US\$/kg oil	(Fortenbery, 2005)
	Soy oil processed	5,10E+02	kg/ha/yr	
	Total allocated per ha per yr	26,99	US\$/ha/yr	
	Taxes (ICMS 16%)	4,32	US\$/ha/yr	
103	<b>Biodiesel process output</b>			

	Soy oil processed	5,10E+02	kg oil/ha/yr	
103a	Biodiesel volume produced	6,81E+02	L/ha/yr	(Fortenbery, 2005)
	Biodiesel density	8,80E-01	kg/L	<a href="http://www.autoindustry.co.uk/articles/01-06-06">http://www.autoindustry.co.uk/articles/01-06-06</a> Other estimates: 0,92; (Pimentel and Patzek, 2005)
	Biodiesel mass	5,99E+02	kg/ha/yr	
	Higher Heating Value of biodiesel	3,20E+07	J/kg	<a href="http://www.autoindustry.co.uk/articles/01-06-06">http://www.autoindustry.co.uk/articles/01-06-06</a>
	Total energy	1,92E+10	J/ha/yr	
	Mass fraction	90,5%		
103b	Glicerín	4,42E+01	kg/ha/yr	(Fortenbery, 2005)
	Higher Heating Value of glicerín		J/kg	(Domalski et al., 1986)
	Total energy		J/ha/yr	
	Mass fraction	5,9%		
103c	Soap stock	2,72E+01	kg/ha/yr	(Fortenbery, 2005)
	Higher Heating Value of soap stock		J/kg	(Domalski et al., 1986)
	Total energy		J/ha/yr	
	Mass fraction	3,6%		
104	<b>Airborne emissions per ha per yer</b>			See above
	CO2	9,40E+01	kg CO2	
	H2O	1,54E+01	kg H2O	
	N2 unreacted	2,68E+02	kg N2	
	Ar unreacted	4,86E+00	kg Ar	
	NOx	2,43E-02	kg NO1.5	
	SO2	7,90E-03	kg SO2	
	CO	2,07E-02	kg CO	
	VOC	8,15E-04	kg VOC	
	CH4	1,01E-04	kg CH4	
	Particulates	4,01E-03	kg particulates	
105	<b>Liquid emissions</b>			See above
	Waste water trated	1,36E+02	kg/ha/yr	
	Waste water disposed	1,24E+02	kg/ha/yr	
106	<b>Solid emissions</b>			See above
a	Industrial machinery (steel)	1,17E+00	kg/ha/yr	
b	Cement	3,39E-01	kg/ha/yr	
c	Iron	7,04E-03	kg/ha/yr	
d	Waste disposal	8,99E+00	kg/ha/yr	

**BIODIESEL TRUCK TRANSPORT**107 **Free air components for combustion processes**107a **O2 for combustion of fuels**

Fuels (approximate raw formula assumed to be nCH1.5 for diesel and gasoline, and CH0.8 for coal) react with oxygen to yield CO2, H2O vapours, and other combustion gases. Emissions from each fuel combustion are estimated

	below in the footnotes.			
	Oxygen demand for diesel combustion	2,92E+00	kg O2	
107b	<b>N2 for combustion of fuels</b>			
	O2 in air is always coupled to N2 (and minor fractions of other gases), in a proportion 21%-79% mol/mol .			
	Pumping in oxygen from air requires that N2, Ar, etc. are also supplied to the combustion process.			
	N2 pumped through in the combustion of diesel	9,51E+00	kg N2	
107c	<b>Ar for combustion of fuels</b>			
	Ar pumped through in the combustion of diesel	1,61E-01	kg Ar	
108	<b>Steel for transport in heavy truck</b>			
	Average soy oil production	5,99E+02	kg/ha/yr	
	Average loading of the heavy truck	2,00E+04	kg/trip	Our estimative from field work
	Number of trips	3,00E-02	trip/ha/yr	
	Distance per trip (round way)	3,00E+02	km/trip	Two times average distance estimated from: Coppens, 2003
	Total km allocated to transport	8,99E+00	km/ha/yr	
	Average km run by the truck in its life	3,00E+05	km/truck	Our estimative from field work
	Fraction this transport is of total truck km	3,00E-05	truck/ha/yr	
	Weight of an average truck	1,40E+04	kg	Considering a loading factor of 70% from (Cederberg and Flysjö, 2004)
	Fraction of truck allocated to 1 ha of soybean	4,20E-01	kg/ha/yr	Other estimates:12 kg/ha/yr; (Ulgiati, 2001)
	Embodied energy machinery	8,00E+07	J/kg mach.	(Biondi et al., 1989) p.68
	Total energy demand	3,36E+07	J/ha/yr	
109	<b>Fuel</b>			
	Distance per trip (round way)	3,00E+02	km/trip	Estimated from Cederberg and Flysjö, 2004
	Diesel demand per km	1,00E-01	kg/km	Corinair, 2002
	Mass of diesel oil used	3,00E+01	kg/trip	
	Energy used per ton km	7,42E+00	MJ/ton km	Other estimates: 1.7 MJ/ton km; GEMIS database ( <a href="http://www.oeko.de/service/gemis/en/data.htm">http://www.oeko.de/service/gemis/en/data.htm</a> )
				Other estimates: 0,405 MJ/ton km; (Cederberg and Flysjö, 2004)
				Other estimates: 3,5 MJ/ton km; (Pimentel, 1980)
				Other estimates: 1,1 MJ/ton km; (Coppens, 2003)
	Higher Heating Value of diesel	4,45E+07	J/kg	(Boustead and Hancock, 1979)
	Energy demand per trip	1,33E+09	J/trip	
	Number of trips	3,00E-02	trip/ha/yr	
	Mass of diesel oil used	8,99E-01	kg/ha/yr	
	Total energy demand	4,00E+07	J/ha/yr	
	According to CORINAIR (2002) Working Group data, p.54, diesel heavy duty vehicles in the range 3.5-16 t release:			
	CO	3,86E-02	kg CO/kg fuel	
	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	3,91E-02	kg NO <sub>x</sub> /kg fuel	
	SO <sub>2</sub>		kg SO <sub>2</sub> /kg fuel	
	VOC (as CH <sub>1.5</sub> )	4,00E-03	kg VOC/kg fuel	
	Particulates	4,30E-03	kg part/kg fuel	

Sulphur content in fuel (calculated from the assumption of a 100% reaction yield)		kg S/kg fuel
Miscellaneous matter in fuel	4,30E-03	kg part/kg fuel
Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>1.5</sub> )	9,96E-01	kgCH <sub>1.5</sub> /kg fuel
Total	1,00E+00	kg fuel
Converting grams into moles, figures become:		
CO	1,38E-03	kmol/kg fuel
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	1,03E-03	kmol/kg fuel
SO <sub>2</sub>		kmol/kg fuel
VOC (as CH <sub>1.5</sub> )	2,96E-04	kmol/kg fuel
Particulates		not applicable
Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>1.5</sub> )	7,38E-02	mol/kg fuel
Sulphur content in fuel (calculated from the assumption of a 100% reaction yield)		mol/kg fuel
Diesel raw formula is assumed as CH <sub>1.5</sub> .		
Burning one g of fuel requires, on average:		
O <sub>2</sub> required per g fuel burnt:	3,24E+00	kg O <sub>2</sub> /kg fuel
Air requirement to supply the oxygen	1,40E+01	kg air/kg fuel
N <sub>2</sub> in air flowing in	1,06E+01	kg N <sub>2</sub> /kg fuel
Ar in air flowing in	1,79E-01	kg Ar/kg fuel
CO <sub>2</sub> released per kg fuel burnt	3,17E+00	kg CO <sub>2</sub> /kg fuel
H <sub>2</sub> O released per kg fuel burnt	9,92E-01	kg H <sub>2</sub> O/kg fuel
N <sub>2</sub> required per kg fuel burnt	1,44E-02	kg N <sub>2</sub> /kg fuel
N <sub>2</sub> flowing out without reacting	1,06E+01	kg N <sub>2</sub> /kg fuel
Ar flowing out without reacting	1,79E-01	kg Ar/kg fuel
NO <sub>x</sub> released per kg of fuel burnt	4,73E-02	kg NO <sub>x</sub> /kg fuel
SO <sub>2</sub> released per kg of fuel burnt		kg SO <sub>2</sub> /kg fuel
VOC (as CH <sub>1.5</sub> ) released perkg fuel burnt	4,00E-03	kg VOC/kg fuel
CO released per kg fuel burnt	3,86E-02	kg CO/kg fuel
Total fuel used	8,99E-01	kg fuel
O <sub>2</sub> required	2,92E+00	kg O <sub>2</sub>
N <sub>2</sub> required	9,51E+00	kg N <sub>2</sub>
Ar required	1,61E-01	kg Ar
CO <sub>2</sub> emissions	2,85E+00	kg CO <sub>2</sub>
N <sub>2</sub> flowing out without reacting	9,50E+00	kg N <sub>2</sub>
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> equiv.) emissions	4,26E-02	kg NO <sub>1.5</sub>
SO <sub>2</sub> emissions		kg SO <sub>2</sub>
VOC released	3,60E-03	kg VOC
H <sub>2</sub> O released	8,92E-01	kg H <sub>2</sub> O
CO released	3,47E-02	kg CO
Particulates	3,87E-03	kg particulates

	<b>Check</b>			
	Mass of reactants=	1,33E+01	kg	
	Mass of products=	1,33E+01	kg	
	unbalance (products/reactants)	0,00%		
110	<b>Labor</b>			
	Labor per trip	7,00E+00	h/trip	Our estimative from field work Other estimates:10h/trip; <a href="http://log.esalq.usp.br/home/pt/seminario.php?show=2007&amp;PHPSESSID=a620a9f72696cb56617ed90775fa074e">http://log.esalq.usp.br/home/pt/seminario.php?show=2007&amp;PHPSESSID=a620a9f72696cb56617ed90775fa074e</a>
	Number of trips	3,00E-02	trip/ha/yr	
	Total labor applied	2,10E-01	h/ha/yr	
	Working days per year (8 hours/day)	2,62E-02	day/ha/yr	
	Working years (240 work yrs/year)	1,09E-04	year/ha/yr	
	Labor cost	6,72	US\$/h	Estimated from field work (Personal communication: 2500 R\$/month)
	Total labor cost	1,41	US\$/ha/yr	
111	<b>Production cost and annual services</b>			
111a	Cost of the truck	86000,00	US\$/truck	Our estimative from field work
	Fraction this transport is of total truck km	3,00E-05	truck/ha/yr	
	Cost of truck allocated to this transport	2,58	US\$/ha/yr	
111b	Mass of diesel oil used	3,00E+01	kg/trip	
	Density	8,40E-01	kg/L	See above
	Number of trips	3,00E-02	trip/ha/yr	
	Diesel price	0,79	US\$/L	From field work
	Total diesel cost	0,85	US\$/ha/yr	
111c	Fees	10,00	US\$/trip	Our estimative from field work
	Number of trips	3,00E-02	trip/ha/yr	
	Total fees cost	0,30	US\$/ha/yr	
111d	Labor	1,41	US\$/ha/yr	
111e	Total transport cost per ha	5,13	US\$/ha/yr	
	Total transport cost per ton	8,56	US\$/t	
	Taxes (35% of labor cost)	0,49	US\$/ha/yr	
112	<b>Products and by-products of transport phase</b>			
	Biodiesel transported	5,99E+02	kg	See above
		1,92E+10	J	
113	<b>Airborne emissions</b>			See above
	CO2	2,85E+00	kg CO2	
	H2O	8,92E-01	kg H2O	
	N2 unreacted	9,50E+00	kg N2	
	Ar unreacted	1,61E-01	kg Ar	
	NOx	4,26E-02	kg NO1.5	
	SO2		kg SO2	

	CO	3,47E-02	kg CO	
	VOC	3,60E-03	kg VOC	
	CH4		kg CH4	
	Particulates	3,87E-03	kg particulates	
114	<b>Solid emissions</b>			
	Industrial machinery (steel)	4,20E-01	kg	See above
<b>SOY OIL TRUCK TRANSPORT</b>				
115	<b>Free air components for combustion processes</b>			
115a	<b>O2 for combustion of fuels</b>			
	Fuels (approximate raw formula assumed to be nCH1.5 for diesel and gasoline, and CH0.8 for coal) react with oxygen to yield CO2, H2O vapours, and other combustion gases. Emissions from each fuel combustion are estimated below in the footnotes.			
	Oxygen demand for diesel combustion	2,42E+00	kg O2	
115b	<b>N2 for combustion of fuels</b>			
	O2 in air is always coupled to N2 (and minor fractions of other gases), in a proportion 21%-79% mol/mol . Pumping in oxygen from air requires that N2, Ar, etc. are also supplied to the combustion process.			
	N2 pumped through in the combustion of diesel	7,90E+00	kg N2	
115c	<b>Ar for combustion of fuels</b>			
	Ar pumped through in the combustion of diesel	1,34E-01	kg Ar	
116	<b>Steel for transport in heavy truck</b>			
	Average soy oil production	4,98E+02	kg/ha/yr	
	Average loading of the heavy truck	2,00E+04	kg/trip	Our estimative from field work
	Number of trips	2,49E-02	trip/ha/yr	
	Distance per trip (round way)	3,00E+02	km/trip	Two times average distance estimated from: Coppens, 2003
	Total km allocated to transport	7,47E+00	km/ha/yr	
	Average km run by the truck in its life	3,00E+05	km/truck	Our estimative from field work
	Fraction this transport is of total truck km	2,49E-05	truck/ha/yr	
	Weight of an average truck	1,40E+04	kg	Considering a loading factor of 70% from (Cederberg and Flysjö, 2004)
	Fraction of truck allocated to 1 ha of soybean	3,48E-01	kg/ha/yr	Other estimates:12 kg/ha/yr; (Ulgiati, 2001)
	Embodied energy machinery	8,00E+07	J/kg mach.	(Biondi et al., 1989) p.68
	Total energy demand	2,79E+07	J/ha/yr	
117	<b>Fuel</b>			
	Distance per trip (round way)	3,00E+02	km/trip	Estimated from Cederberg and Flysjö, 2004
	Diesel demand per km	1,00E-01	kg/km	Corinair, 2002
	Mass of diesel oil used	3,00E+01	kg/trip	
	Energy used per ton km	8,93E+00	MJ/ton km	Other estimates: 1.7 MJ/ton km; GEMIS database ( <a href="http://www.oeko.de/service/gemis/en/data.htm">http://www.oeko.de/service/gemis/en/data.htm</a> ) Other estimates: 0,405 MJ/ton km; (Cederberg and Flysjö, 2004)

Other estimates: 3,5 MJ/ton km; (Pimentel, 1980)  
 Other estimates: 1,1 MJ/ton km; (Coppens, 2003)  
 (Boustead and Hancock, 1979)

Higher Heating Value of diesel	4,45E+07	J/kg
Energy demand per trip	1,33E+09	J/trip
Number of trips	2,49E-02	trip/ha/yr
Mass of diesel oil used	7,47E-01	kg/ha/yr
Total energy demand	3,32E+07	J/ha/yr

According to CORINAIR (2002) Working Group data, p.54, diesel heavy duty vehicles in the range 3.5-16 t release:

CO	3,86E-02	kg CO/kg fuel
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	3,91E-02	kg NOx/kg fuel
SO <sub>2</sub>		kg SO2/kg fuel
VOC (as CH <sub>1.5</sub> )	4,00E-03	kg VOC/kg fuel
Particulates	4,30E-03	kg part/kg fuel

Sulphur content in fuel (calculated from the assumption of a 100% reaction yield)		kg S/kg fuel
Miscellaneous matter in fuel	4,30E-03	kg part/kg fuel
Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>1.5</sub> )	9,96E-01	kgCH1.5/kg fuel
Total	1,00E+00	kg fuel

Converting grams into moles, figures become:

CO	1,38E-03	kmol/kg fuel
NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1.5</sub> )	1,03E-03	kmol/kg fuel
SO <sub>2</sub>		kmol/kg fuel
VOC (as CH <sub>1.5</sub> )	2,96E-04	kmol/kg fuel
Particulates		not applicable

Hydrocarbon content in fuel (as CH <sub>1.5</sub> )	7,38E-02	mol/kg fuel
Sulphur content in fuel (calculated from the assumption of a 100% reaction yield)		mol/kg fuel
Diesel raw formula is assumed as CH <sub>1.5</sub> .		

Burning one g of fuel requires, on average:

O <sub>2</sub> required per g fuel burnt:	3,24E+00	kg O2/kg fuel
Air requirement to supply the oxygen	1,40E+01	kg air/kg fuel
N <sub>2</sub> in air flowing in	1,06E+01	kg N2/kg fuel
Ar in air flowing in	1,79E-01	kg Ar/kg fuel
CO <sub>2</sub> released per kg fuel burnt	3,17E+00	kg CO2/kg fuel
H <sub>2</sub> O released per kg fuel burnt	9,92E-01	kg H2O/kg fuel
N <sub>2</sub> required per kg fuel burnt	1,44E-02	kg N2/kg fuel
N <sub>2</sub> flowing out without reacting	1,06E+01	kg N2/kg fuel
Ar flowing out without reacting	1,79E-01	kg Ar/kg fuel
NO <sub>x</sub> released per kg of fuel burnt	4,73E-02	kg NOx/kg fuel
SO <sub>2</sub> released per kg of fuel burnt		kg SO2/kg fuel
VOC (as CH <sub>1.5</sub> ) released perkg fuel burnt	4,00E-03	kg VOC/kg fuel
CO released per kg fuel burnt	3,86E-02	kg CO/kg fuel

	Total fuel used	7,47E-01	kg fuel	
	O <sub>2</sub> required	2,42E+00	kg O <sub>2</sub>	
	N <sub>2</sub> required	7,90E+00	kg N <sub>2</sub>	
	Ar required	1,34E-01	kg Ar	
	CO <sub>2</sub> emissions	2,37E+00	kg CO <sub>2</sub>	
	N <sub>2</sub> flowing out without reacting	7,89E+00	kg N <sub>2</sub>	
	NO <sub>x</sub> (as NO <sub>1,5</sub> equiv.) emissions	3,53E-02	kg NO <sub>1.5</sub>	
	SO <sub>2</sub> emissions		kg SO <sub>2</sub>	
	VOC released	2,99E-03	kg VOC	
	H <sub>2</sub> O released	7,40E-01	kg H <sub>2</sub> O	
	CO released	2,88E-02	kg CO	
	Particulates	3,21E-03	kg particulates	
	<b>Check</b>			
	Mass of reactants=	1,11E+01	kg	
	Mass of products=	1,11E+01	kg	
	unbalance (products/reactants)	0,00%		
118	<b>Labor</b>			
	Labor per trip	7,00E+00	h/trip	Our estimative from field work Other estimates:10h/trip; <a href="http://log.esalq.usp.br/home/pt/seminario.php?show=2007&amp;PHPSESSID=a620a9f72696cb56617ed90775fa074e">http://log.esalq.usp.br/home/pt/seminario.php?show=2007&amp;PHPSESSID=a620a9f72696cb56617ed90775fa074e</a>
	Number of trips	2,49E-02	trip/ha/yr	
	Total labor applied	1,74E-01	h/ha/yr	
	Working days per year (8 hours/day)	2,18E-02	day/ha/yr	
	Working years (240 work yrs/year)	9,07E-05	year/ha/yr	
	Labor cost	6,72	US\$/h	Estimated from field work (Personal communication: 2500 R\$/month)
	Total labor cost	1,17	US\$/ha/yr	
119	<b>Production cost and annual services</b>			
119a	Cost of the truck	86000,00	US\$/truck	From field work
	Fraction this transport is of total truck km	2,49E-05	truck/ha/yr	
	Cost of truck allocated to this transport	2,14	US\$/ha/yr	
119b	Mass of diesel oil used	3,00E+01	kg/trip	
	Density	8,40E-01	kg/L	See above
	Number of trips	2,49E-02	trip/ha/yr	
	Diesel price	0,79	US\$/L	From field work
	Total diesel cost	0,70	US\$/ha/yr	
119c	Fees	10,00	US\$/trip	Our estimative from field work
	Number of trips	2,49E-02	trip/ha/yr	
	Total fees cost	0,25	US\$/ha/yr	
119d	Labor	1,17	US\$/ha/yr	
119e	<b>Total transport services per ha</b>	4,26	US\$/ha/yr	
	Total transport services per ton	8,56	US\$/t	

	<b>Taxes (35% of labor cost)</b>	0,41	US\$/ha/yr	
120	<b>Products and by-products of transport phase</b>			
	Soy oil transported	4,98E+02	kg	See above
		1,97E+10	J	
121	<b>Airborne emissions</b>			See above
	CO2	2,37E+00	kg CO2	
	H2O	7,40E-01	kg H2O	
	N2 unreacted	7,89E+00	kg N2	
	Ar unreacted	1,34E-01	kg Ar	
	NOx	3,53E-02	kg NO1.5	
	SO2		kg SO2	
	CO	2,88E-02	kg CO	
	VOC	2,99E-03	kg VOC	
	CH4		kg CH4	
	Particulates	3,21E-03	kg particulates	
122	<b>Solid emissions</b>			
	Industrial machinery (steel)	3,48E-01	kg	See above

### **9.3 Tabelas de avaliação emergética dos subsistemas de produção de soja convencional e do sistema proposto pela Cooperbio (em inglês)**

Tabela 37: Avaliação emergética do sistema de produção de soja convencional.

Note	Description of flow	Units	Amount (ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Fraction renew.	Specific Energy (seJ/unit)	Ref. for specific energy	Renew. energy flow (seJ ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Non renew. energy flow (seJ ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Total energy flow	%
<i>Renewable inputs</i>										
1	Sunlight	J	2,55E+10	100%	1,00E+00	Definition	2,55E+10	0,00E+00	2,55E+10	0,0%
2	Rain water	J	2,63E+10	100%	3,06E+04	Brown e Ulgiati, 2004	8,04E+14	0,00E+00	8,04E+14	15,2%
3	Deep heat	J	1,50E+10	100%	1,01E+04	Odum, 1996	1,52E+14	0,00E+00	1,52E+14	2,9%
4	Nitrogen	kg	6,00E+01	100%	6,38E+12	Ortega, et al. 2005	3,83E+14	0,00E+00	3,83E+14	7,3%
<i>Nonrenewable inputs from nature</i>										
5	Loss of topsoil	J	4,61E+09	0%	1,24E+05	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	5,72E+14	5,72E+14	10,8%
<i>Nonrenewable inputs from economy</i>										
6	Limestone	J	2,29E+08	0%	2,72E+06	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	6,23E+14	6,23E+14	11,8%
7	Herbicides	kg	4,80E+00	0%	2,48E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	1,19E+14	1,19E+14	2,3%
8	Insecticides and pesticides	kg	3,20E+00	0%	2,48E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	7,94E+13	7,94E+13	1,5%
9	Seeds	kg	6,90E+01	27%	1,86E+12	This work	3,44E+13	9,39E+13	1,28E+14	2,4%
10	Nitrogen in fertilizer	kg	0,00E+00	0%	6,38E+12	Ortega, et al. 2005	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0%
11	Phosphorus in fertilizer	kg	3,38E+01	0%	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	2,21E+14	2,21E+14	4,2%
12	Potash in fertilizer	kg	6,54E+01	0%	2,92E+12	Brandt-Williams, 2002	0,00E+00	1,91E+14	1,91E+14	3,6%
13	Diesel	J	2,43E+09	0%	1,11E+05	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	2,68E+14	2,68E+14	5,1%
14	Electricity	J	1,22E+08	70%	2,77E+05	Odum, 1996	2,38E+13	1,02E+13	3,39E+13	0,6%
15	Steel for machinery	kg	2,50E+01	0%	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	2,83E+14	2,83E+14	5,4%
<i>Labor and services</i>										
16	Local labor	yrs	5,21E-03	27%	1,07E+16	Brown, 2003	1,49E+13	4,08E+13	5,58E+13	1,1%
17	Extra labor	yrs	2,60E-03	0%	1,07E+16	Brown, 2003	0,00E+00	2,79E+13	2,79E+13	0,5%
18	Externalities	US\$	3,45E+02	0%	3,70E+12	Coelho et al., 2003	0,00E+00	1,28E+15	1,28E+15	24,2%
19	Annual services	US\$	1,50E+01	0%	3,70E+12	Coelho et al., 2003	0,00E+00	5,56E+13	5,56E+13	1,1%
<i>Products and by-products</i>										
20	Soybean production	kg	2,83E+03		1,86E+12				5,27E+15	
		J	6,40E+10		8,24E+04				5,27E+15	

Tabela 38: Avaliação emergética do sistema de produção de milho no sistema convencional.

Note	Description of flow	Units	Amount (ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Fraction renew.	Specific Energy (seJ/unit)	Ref. for specific energy	Renew. energy flow (seJ ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Non renew. energy flow (seJ ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Total energy flow	%
<i>Renewable inputs</i>										
1	Sunlight	J	2,55E+10	100%	1,00E+00	Definition	2,55E+10	0,00E+00	2,55E+10	0,0%
2	Rain water	J	2,63E+10	100%	3,06E+04	Brown e Ulgiati, 2004	8,04E+14	0,00E+00	8,04E+14	13,2%
3	Deep heat	J	1,50E+10	100%	1,01E+04	Odum, 1996	1,52E+14	0,00E+00	1,52E+14	2,5%
<i>Nonrenewable inputs from nature</i>										
4	Loss of topsoil	J	4,61E+09	0%	1,24E+05	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	5,72E+14	5,72E+14	9,4%
<i>Nonrenewable inputs from economy</i>										
5	Limestone	J	4,58E+08	0%	2,72E+06	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	1,25E+15	1,25E+15	20,4%
6	Herbicides	kg	9,50E+00	0%	2,48E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	2,36E+14	2,36E+14	3,9%
7	Insecticides and pesticides	kg	4,00E+00	0%	2,48E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	9,92E+13	9,92E+13	1,6%
8	Seeds	kg	1,70E+01	16%	9,39E+11	This work	2,59E+12	1,34E+13	1,60E+13	0,3%
9	Nitrogen in fertilizer	kg	7,64E+00	0%	6,38E+12	Ortega, et al. 2005	0,00E+00	4,87E+13	4,87E+13	0,8%
10	Phosphorus in fertilizer	kg	3,86E+01	0%	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	2,53E+14	2,53E+14	4,1%
11	Potash in fertilizer	kg	7,47E+01	0%	2,92E+12	Brandt-Williams, 2002	0,00E+00	2,18E+14	2,18E+14	3,6%
12	Diesel	J	6,35E+09	0%	1,11E+05	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	7,02E+14	7,02E+14	11,5%
13	Electricity	J	1,22E+08	70%	2,77E+05	Odum, 1996	2,38E+13	1,02E+13	3,39E+13	0,6%
14	Steel for machinery	kg	2,50E+01	0%	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	2,83E+14	2,83E+14	4,6%
<i>Labor and services</i>										
15	Local labor	yrs	5,21E-03	16%	1,07E+16	Brown, 2003	9,04E+12	4,67E+13	5,58E+13	0,9%
16	Extra labor	yrs	2,60E-03	0%	1,07E+16	Brown, 2003	0,00E+00	2,79E+13	2,79E+13	0,5%
17	Externalities	US\$	3,45E+02	0%	3,70E+12	Coelho et al., 2003	0,00E+00	1,28E+15	1,28E+15	20,9%
18	Annual services	US\$	2,23E+01	0%	3,70E+12	Coelho et al., 2003	0,00E+00	8,25E+13	8,25E+13	1,4%
<i>Products and by-products</i>										
19	Corn production	kg	6,50E+03		9,39,E+11				6,11E+15	
		J	1,07E+11		5,73,E+04				6,11E+15	

Tabela 39: Avaliação emergética do sistema de produção de leite no sistema proposto pela Cooperbio.

Note	Description of flow	Units	Amount (ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Fraction renew.	Specific Emergy (seJ/unit)	Ref. for specific emergy	Renew. emergy flow (seJ ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Non renew. emergy flow (seJ ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Total emergy flow	%
<i>Renewable inputs</i>										
1	Sunlight	J	5,10E+10	100%	1,00E+00	Definition	5,10E+10	0,00E+00	5,10E+10	0,0%
2	Rain water	J	5,25E+10	100%	3,06E+04	Brown e Ulgiati, 2004	1,61E+15	0,00E+00	1,61E+15	27,1%
3	Deep heat	J	3,00E+10	100%	1,01E+04	Odum, 1996	3,04E+14	0,00E+00	3,04E+14	5,1%
<i>Nonrenewable inputs from nature</i>										
4	Loss of topsoil	J	4,61E+09	0%	1,24E+05	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	5,72E+14	5,72E+14	9,6%
<i>Nonrenewable inputs from economy</i>										
5	Seeds	kg	1,90E+02	58%	1,20E+12	This work	1,31E+14	9,69E+13	2,28E+14	3,8%
6	Diesel	J	0,00E+00	0%	1,11E+05	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0%
7	Electricity	J	8,10E+07	70%	2,77E+05	Odum, 1996	1,57E+13	6,74E+12	2,25E+13	0,4%
8	Steel for machinery	kg	2,50E+01	0%	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	2,83E+14	2,83E+14	4,8%
9	Organic fertilizer	kg	4,00E+02	90%	1,27E+11	Bastianoni et al., 2001	4,57E+13	5,08E+12	5,08E+13	0,9%
10	Other organic inputs	kg	0,00E+00	0%	1,27E+11	Estimative	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0%
11	Salt	kg	9,00E+01	0%	1,00E+12	Odum, 1996	0,00E+00	9,00E+13	9,00E+13	1,5%
12	Feed	kg	5,31E+02	58%	1,20E+12	This work	3,67E+14	2,71E+14	6,38E+14	10,7%
13	Urea	kg	2,19E+02	0%	1,00E+12	Castellini et al., 2006	0,00E+00	2,19E+14	2,19E+14	3,7%
<i>Labor and services</i>										
14	Local labor	yrs	7,13E-02	42%	1,07E+16	Brown, 2003	3,20E+14	4,44E+14	7,64E+14	12,9%
15	Externalities	US\$	3,45E+02	0%	3,70E+12	Coelho et al., 2003	0,00E+00	1,28E+15	1,28E+15	21,5%
16	Annual services	US\$	5,17E+01	0%	3,70E+12	Coelho et al., 2003	0,00E+00	1,91E+14	1,91E+14	3,2%
<i>Products and by-products</i>										
17	Milk production	kg	9,49E+03		6,26E+11				5,94E+15	
		J	2,28E+10		2,61E+05				5,94E+15	

Tabela 40: Avaliação emergética do sistema de produção de milho no sistema proposto pela Cooperbio.

Note	Description of flow	Units	Amount (ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Fraction renew.	Specific Energy (seJ/unit)	Ref. for specific energy	Renew. energy flow (seJ ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Non renew. energy flow (seJ ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Total energy flow	%
<i>Renewable inputs</i>										
1	Sunlight	J	2,55E+10	100%	1,00E+00	Definition	2,55E+10	0,00E+00	2,55E+10	0,0%
2	Rain water	J	2,63E+10	100%	3,06E+04	Brown e Ulgiati, 2004	8,04E+14	0,00E+00	8,04E+14	14,9%
3	Deep heat	J	1,50E+10	100%	1,01E+04	Odum, 1996	1,52E+14	0,00E+00	1,52E+14	2,8%
<i>Nonrenewable inputs from nature</i>										
4	Loss of topsoil	J	4,61E+09	0%	1,24E+05	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	5,72E+14	5,72E+14	10,6%
<i>Nonrenewable inputs from economy</i>										
5	Limestone	J	4,58E+08	0%	2,72E+06	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	1,25E+15	1,25E+15	23,1%
6	Herbicides	kg	9,50E+00	0%	2,48E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	2,36E+14	2,36E+14	4,4%
7	Insecticides and pesticides	kg	4,00E+00	0%	2,48E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	9,92E+13	9,92E+13	1,8%
8	Seeds	kg	1,70E+01	18%	8,31E+11	This work	2,60E+12	1,15E+13	1,41E+13	0,3%
9	Nitrogen in fertilizer	kg	7,64E+00	0%	6,38E+12	Ortega, et al. 2005	0,00E+00	4,87E+13	4,87E+13	0,9%
10	Phosphorus in fertilizer	kg	3,86E+01	0%	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	2,53E+14	2,53E+14	4,7%
11	Potash in fertilizer	kg	7,47E+01	0%	2,92E+12	Brandt-Williams, 2002	0,00E+00	2,18E+14	2,18E+14	4,0%
12	Diesel	J	0,00E+00	0%	1,11E+05	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0%
13	Electricity	J	1,22E+08	70%	2,77E+05	Odum, 1996	2,38E+13	1,02E+13	3,39E+13	0,6%
14	Steel for machinery	kg	2,50E+01	0%	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	2,83E+14	2,83E+14	5,2%
<i>Labor and services</i>										
15	Local labor	hrs	5,21E-03	18%	1,07E+16	Brown, 2003	1,03E+13	4,55E+13	5,58E+13	1,0%
16	Extra labor	hrs	2,60E-03	0%	1,07E+16	Brown, 2003	0,00E+00	2,79E+13	2,79E+13	0,5%
17	Externalities	US\$	3,45E+02	0%	3,70E+12	Coelho et al., 2003	0,00E+00	1,28E+15	1,28E+15	23,6%
18	Annual services	US\$	2,23E+01	0%	3,70E+12	Coelho et al., 2003	0,00E+00	8,25E+13	8,25E+13	1,5%
<i>Products and by-products</i>										
19	Corn production	kg	6,50E+03		8,31E+11				5,40E+15	
		J	1,07E+11		5,07E+04				5,40E+15	

Tabela 41: Avaliação emergética do sistema de produção de soja orgânica no sistema proposto pela Cooperbio.

Note	Description of flow	Units	Amount (ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Fraction renew.	Specific Energy (seJ/unit)	Ref. for specific energy	Renew. energy flow (seJ ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Non renew. energy flow (seJ ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Total energy flow	%
<i>Renewable inputs</i>										
1	Sunlight	J	2,55E+10	100%	1,00E+00	Definition	2,55E+10	0,00E+00	2,55E+10	0,0%
2	Rain water	J	2,63E+10	100%	3,06E+04	Brown e Ulgiati, 2004	8,04E+14	0,00E+00	8,04E+14	32,1%
3	Deep heat	J	1,50E+10	100%	1,01E+04	Odum, 1996	1,52E+14	0,00E+00	1,52E+14	6,1%
4	Nitrogen	kg	6,00E+01	100%	6,38E+12	Ortega, et al. 2005	3,83E+14	0,00E+00	3,83E+14	15,3%
<i>Nonrenewable inputs from nature</i>										
5	Loss of topsoil	J	2,31E+09	0%	1,24E+05	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	2,86E+14	2,86E+14	11,4%
<i>Nonrenewable inputs from economy</i>										
6	Seeds	kg	6,70E+01	58%	1,20E+12	This work	4,62E+13	3,42E+13	8,04E+13	3,2%
7	Nitrogen in fertilizer	kg	0,00E+00	0%	6,38E+12	Ortega, et al. 2005	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0%
8	Phosphorus in fertilizer	kg	5,83E+00	0%	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	3,82E+13	3,82E+13	1,5%
9	Potash in fertilizer	kg	1,13E+01	0%	2,92E+12	Brandt-Williams, 2002	0,00E+00	3,30E+13	3,30E+13	1,3%
10	Diesel	J	0,00E+00	0%	1,11E+05	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0%
11	Electricity	J	1,22E+08	70%	2,77E+05	Odum, 1996	2,38E+13	1,02E+13	3,39E+13	1,4%
12	Steel for machinery	kg	2,50E+01	0%	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	2,83E+14	2,83E+14	11,3%
13	Organic fertilizer	kg	6,90E+01	90%	1,27E+11	Bastianoni et al., 2001	7,89E+12	8,76E+11	8,76E+12	0,4%
14	Other organic inputs	kg	1,20E+01	0%	1,27E+11	Estimative	0,00E+00	1,52E+12	1,52E+12	0,1%
<i>Labor and services</i>										
15	Local labor	yrs	3,65E-03	58%	1,07E+16	Brown, 2003	2,25E+13	1,66E+13	3,90E+13	1,6%
16	Extra labor	yrs	1,56E-02	0%	1,07E+16	Brown, 2003	0,00E+00	1,67E+14	1,67E+14	6,7%
17	Externalities	US\$	3,90E+01	0%	3,70E+12	Coelho et al., 2003	0,00E+00	1,44E+14	1,44E+14	5,8%
18	Annual services	US\$	1,27E+01	0%	3,70E+12	Coelho et al., 2003	0,00E+00	4,69E+13	4,69E+13	1,9%
<i>Products and by-products</i>										
19	Soybean production	kg	2,08E+03		1,20E+12				2,50E+15	
		J	4,71E+10		5,31E+04				2,50E+15	

Tabela 42: Avaliação emergética do sistema de produção de cana-de-açúcar no sistema proposto pela Cooperbio.

Note	Description of flow	Units	Amount (ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Fraction renew.	Specific Energy (seJ/unit)	Ref. for specific energy	Renew. energy flow (seJ ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Non renew. energy flow (seJ ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )	Total energy flow	%
<i>Renewable inputs</i>										
1	Sunlight	J	5,10E+10	100%	1,00E+00	Definition	5,10E+10	0,00E+00	5,10E+10	0,0%
2	Rain water	J	5,25E+10	100%	3,06E+04	Brown e Ulgiati, 2004	1,61E+15	0,00E+00	1,61E+15	22,6%
3	Deep heat	J	3,00E+10	100%	1,01E+04	Odum, 1996	3,04E+14	0,00E+00	3,04E+14	4,3%
<i>Nonrenewable inputs from nature</i>										
4	Loss of topsoil	J	3,23E+09	0%	1,24E+05	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	4,00E+14	4,00E+14	5,6%
<i>Nonrenewable inputs from economy</i>										
5	Limestone	J	2,10E+08	0%	2,72E+06	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	5,70E+14	5,70E+14	8,0%
6	Herbicides	kg	1,50E+00	0%	2,48E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	3,72E+13	3,72E+13	0,5%
7	Insecticides and pesticides	kg	4,29E+01	0%	2,48E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	1,06E+15	1,06E+15	15,0%
8	Cut (seed)	kg	2,40E+03	27%	1,02E+11	This work	6,56E+13	1,79E+14	2,45E+14	3,4%
9	Nitrogen in fertilizer	kg	5,19E+01	0%	6,38E+12	Ortega, et al. 2005	0,00E+00	3,31E+14	3,31E+14	4,7%
10	Phosphorus in fertilizer	kg	1,20E+02	0%	6,55E+12	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	7,86E+14	7,86E+14	11,0%
11	Potash in fertilizer	kg	1,20E+02	0%	2,92E+12	Brandt-Williams, 2002	0,00E+00	3,50E+14	3,50E+14	4,9%
12	Diesel	J	0,00E+00	0%	1,11E+05	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0%
13	Steel for machinery	kg	2,50E+01	0%	1,13E+13	Brown e Ulgiati, 2004	0,00E+00	2,83E+14	2,83E+14	4,0%
<i>Labor and services</i>										
14	Local labor	yrs	8,10E-02	27%	1,07E+16	Brown, 2003	2,32612E+14	6,35E+14	8,68E+14	12,2%
15	Extra labor	yrs	0,00E+00	0%	1,07E+16	Brown, 2003	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0%
16	Externalities	US\$	1,30E+02	0%	3,70E+12	Coelho et al., 2003	0,00E+00	4,81E+14	4,81E+14	6,8%
17	Annual services	US\$	2,46E+01	0%	3,70E+12	Coelho et al., 2003	0,00E+00	9,09E+13	9,09E+13	1,3%
<i>Products and by-products</i>										
18	soybean production	kg	7,00E+04		1,02,E+11				7,11E+15	
		J	1,88E+11		3,79,E+04				7,11E+15	

## 9.4 Notas de cálculo das tabelas de avaliação emergética dos subsistemas produção de soja convencional e do sistema proposto pela Cooperbio (em inglês)

Notas de cálculo da tabela de avaliação emergética do sistema de produção de soja convencional (Tabela 37).

### 1 Sun

Insolation	8,33E+02 watt-hora/m2/yr	<a href="http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi">http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi</a>
Albedo	1,50E-01	<a href="http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi">http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi</a>
Conversion	3,60E+03 J/Wh	
Insolation energy	2,55E+06 J/m2/yr	
Cropped area	1,00E+04 m2/ha	
Energy (J/yr)=(land area)(insolation)		
Insolation energy	2,55E+10 J/ha/yr	

### 2 Rain

Precipitation (Brazilian average 9 samples)	8,58E+02 mm/yr or L/m2/yr	<a href="http://www.inmet.gov.br">www.inmet.gov.br</a>
Cropped area	1,00E+04 m2/ha	
Density of water	1,00E+00 kg/L	
Mass of rain	8,58E+06 kg/ha/yr	
Fraction of water that is evapotranspired	6,20E-01	<a href="http://www.inmet.gov.br">www.inmet.gov.br</a>
Mass of rain evapotranspirated	5,32E+06 kg/ha/yr	
Free energy of water = (Evapotranspired water)(Gibbs free energy of water)		
Gibbs free energy of water	4,94E+03 J/kg	(Odum, 1996)
Energy of rain	2,63E+10 J/ha/yr	

### 3 Deep heat

Heat flow through earth crust contributing to uplift replacing erosion.		
Average heat flow per area	1,50E+06 J/m2/yr	(Odum, 1996)
Land area	1,00E+04 m2/ha	
Energy (J/yr) = (land area)(heat flow per area)	1,50E+10 J/yr	

### 4 Nitrogen fixed from atmosphere

kg of N fixed from atmosphere	6,00E+01 kg of N/ha/yr	
-------------------------------	------------------------	--

### 5 Soil loss

Soil loss (eroded)	1,70E+04 kg/ha/yr	<a href="http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C17-EAnaliseAI-JM.pdf">http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C17-EAnaliseAI-JM.pdf</a> (pg 9)
Organic matter in topsoil used up = (total mass of topsoil)(% organic)		
Ratio of the organic matter in the soil	4,00E-02	Organic matter in soil is reported in the range 3-6% of total soil weigh (Odum,1996)
Organic matter in topsoil used up	6,80E+02 kg/ha/yr	
Water content in organic matter	7,00E-01	Estimative from this work

Dry organic matter lost with erosion	2,04E+02 kgDW/ha/yr	
Energy content of dry organic matter	5,40E+03 Kcal/kgDW	Average value
Energy = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)		
Energy loss	4,61E+09 J/ha/yr	

**6 Limestone**

Mass of limestone used	3,75E+02 kg/ha/yr
Higher heating value	6,11E+05 kg/ha/yr
Total energy demand	2,29E+08 J/ha/yr

**7 Herbicides**

Mass of herbicides used	4,80E+00 kg/ha/yr	From field work
-------------------------	-------------------	-----------------

**8 Pesticides (includes pesticides and fungicides)**

Mass of pesticides used	3,20E+00 kg/ha/yr	From field work
-------------------------	-------------------	-----------------

**9 Seeds**

Mass of seeds used	6,90E+01 kg/ha/yr
--------------------	-------------------

**10 Nitrogen fertilizer**

Total NPK fertilizer used	3,94E+02 kg/ha/yr	From field work
% N	0%	
N = (Total fertilizer)(%N)(28 gmol N/132 gmol DAP)		
Annual N consumption	0,00E+00 kg N/ha	

**11 Phosphate fertilizer**

Total NPK fertilizer used	3,94E+02 kg/ha/yr	From field work
% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20%	
P = (Total fertilizer)(%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(30 gmol P/70 gmol P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		
Annual P consumption	3,38E+01 kg P/ha	

**12 Potash fertilizer**

Total NPK fertilizer used	3,94E+02 kg/ha/yr	From field work
% K <sub>2</sub> O	20%	
K = (Total fertilizer)(%K <sub>2</sub> O)(78 gmol K/94 gmol K <sub>2</sub> O)		
Annual K consumption	6,54E+01 kg K/ha	

**13 Fuels (includes diesel, gasoline, lubricants)**

Volume used for farm machinery	6,50E+01 L/ha/yr	From field work
Density of diesel	8,40E-01 kg/L	(Coppens, 2003)
Mass used for farm machinery	5,46E+01 kg/ha/yr	
Higher heating value	4,45E+07 J/kg	(Boustead and Hancock, 1979)
Total energy demand	2,43E+09 J/ha/yr	

**14 Electricity**

Electricity used general	3,40E+01 kWh/ha/yr
Conversion	3,60E+06 J/kWh
Total energy demand	1,22E+08 J/ha/yr

**15 Steel**

(assuming 10 year life span)

Steel for agricultural machinery	2,50E+01 kg/ha/yr	Average value
Embodied energy machinery	8,00E+07 J/kg mach.	(Biondi et al., 1989, p.68)
Total energy demand	2,00E+09 J/ha/yr	

**16 Local labor**

Total applied labor	1,00E+01 h/ha/yr	From field work
working days per year (8 hours/day)	1,25E+00 dayr/ha/yr	
working years (240 work yrs/year)	5,21E-03 yrear/ha/yr	
Labor cost	9,41E-01 US\$/h	From field work
Total labor cost	9,41E+00 US\$/ha/yr	

**17 Extra labor**

Total applied labor	5,00E+00 h/ha/yr	From field work
working days per year (8 hours/day)	6,25E-01 dayr/ha/yr	
working years (240 work yrs/year)	2,60E-03 yrear/ha/yr	
Labor cost	9,41E-01 US\$/h	From field work
Total labor cost	4,70E+00 US\$/ha/yr	

**18 Externalities**

Externalities	345,00 US\$/ha/yr	(Ortega et al. 2005)
<b>Total</b>	<b>345,00 US\$/ha/yr</b>	

**19 Annual services**

Gov. taxes	15,01 US\$/ha/yr	From field work
------------	------------------	-----------------

**20 Agricultural phase output**

<b>Average soybean production</b>	2,83E+03 kg/ha/a	(Our previous calculations)
Fraction moisture in soybean, at harvest time	1,20E-01	FAO <a href="http://www.fao.org/es/ess/tcf.asp">http://www.fao.org/es/ess/tcf.asp</a>
Higher heating value of residues	2,26E+07 J/kg w.m.	
Total energy	6,40E+10 J/ha/a	
Average soybean market price	0,2305 US\$/kg	Average value from: Agromensal – ESALQ/BM&F ( <a href="http://www.cepea.esalq.usp.br/agromensal/2003/06_junho/soja.htm#_II_-_Séries">http://www.cepea.esalq.usp.br/agromensal/2003/06_junho/soja.htm#_II_-_Séries</a> )
Gross income per ha	652,78 US\$/ha/yr	

Notas de cálculo da tabela de avaliação emergética do sistema de produção de milho no sistema convencional (Tabela 38).

**1 Sun**

Insolation	8,33E+02 watt-hora/m2/yr	<a href="http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi">http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi</a>
Albedo	1,50E-01	<a href="http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi">http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi</a>
Conversion	3,60E+03 J/Wh	

Insolation energy	2,55E+06 J/m <sup>2</sup> /yr
Cropped area	1,00E+04 m <sup>2</sup> /ha
Energy (J/yr)=(land area)(insolation)	
Insolation energy	2,55E+10 J/ha/yr

## 2 Rain

Precipitation (Brazilian average 9 samples)	8,58E+02 mm/yr or L/m <sup>2</sup> /yr	www.inmet.gov.br
Cropped area	1,00E+04 m <sup>2</sup> /ha	
Density of water	1,00E+00 kg/L	
Mass of rain	8,58E+06 kg/ha/yr	
Fraction of water that is evapotranspired	6,20E-01	www.inmet.gov.br
Mass of rain evapotranspired	5,32E+06 kg/ha/yr	
Free energy of water = (Evapotranspired water)(Gibbs free energy of water)		
Gibbs free energy of water	4,94E+03 J/kg	(Odum, 1996)
Energy of rain	2,63E+10 J/ha/yr	

## 3 Deep heat

Heat flow through earth crust contributing to uplift replacing erosion.		
Average heat flow per area	1,50E+06 J/m <sup>2</sup> /yr	(Odum, 1996)
Land area	1,00E+04 m <sup>2</sup> /ha	
Energy (J/yr) = (land area)(heat flow per area)	1,50E+10 J/yr	

## 4 Soil loss

Soil loss (eroded)	17000 kg/ha/yr	<a href="http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C17-EAnaliseAI-JM.pdf">http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C17-EAnaliseAI-JM.pdf</a> (pg 9)
Organic matter in topsoil used up = (total mass of topsoil)(% organic)		
Ratio of the organic matter in the soil	4,00E-02	Organic matter in soil is reported in the range 3-6% of total soil weigh (Odum, 1996)
Organic matter in topsoil used up	6,80E+02 kg/ha/yr	
Water content in organic matter	7,00E-01	Estimative from this work
Dry organic matter lost with erosion	2,04E+02 kgDW/ha/yr	
Energy content of dry organic matter	5,40E+03 Kcal/kgDW	Average value
Energy = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)		
Energy loss	4,61E+09 J/ha/yr	

## 5 Limestone

Mass of limestone used	7,50E+02 kg/ha/yr	From field work
Higher heating value	6,11E+05 kg/ha/yr	
Total energy demand	4,58E+08 J/ha/yr	

## 6 Herbicides

Mass of herbicides used	9,50E+00 kg/ha/yr	From field work
-------------------------	-------------------	-----------------

## 7 Pesticides (includes pesticides and fungicides)

Mass of pesticides used	4,00E+00 kg/ha/yr	From field work
-------------------------	-------------------	-----------------

## 8 Seeds

Mass of seeds used	1,70E+01 kg/ha/yr	From field work
--------------------	-------------------	-----------------

## 9 Nitrogen fertilizer

Total NPK fertilizer used	4,50E+02 kg/ha/yr	From field work
% N	8%	
N = (Total fertilizer)(%N)(28 g/mol N/132 g/mol DAP)		
Annual N consumption	7,64E+00 kg N/ha	
<b>10 Phosphate fertilizer</b>		
Total NPK fertilizer used	4,50E+02 kg/ha/yr	From field work
% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20%	
P = (Total fertilizer)(%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )(30 g/mol P/70 g/mol P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		
Annual P consumption	3,86E+01 kg P/ha	
<b>11 Potash fertilizer</b>		
Total NPK fertilizer used	4,50E+02 kg/ha/yr	From field work
% K <sub>2</sub> O	20%	
K = (Total fertilizer)(%K <sub>2</sub> O)(78 g/mol K/94 g/mol K <sub>2</sub> O)		
Annual K consumption	7,47E+01 kg K/ha	
<b>12 Fuels (includes diesel, gasoline, lubricants)</b>		
Volume used for farm machinery	1,70E+02 L/ha/yr	From field work
Density of diesel	8,40E-01 kg/L	(Coppens, 2003)
Mass used for farm machinery	1,43E+02 kg/ha/yr	
Higher heating value	4,45E+07 J/kg	(Boustead and Hancock, 1979)
Total energy demand	6,35E+09 J/ha/yr	
<b>13 Electricity</b>		
Electricity used general	3,40E+01 kWh/ha/yr	From field work
Conversion	3,60E+06 J/kWh	
Total energy demand	1,22E+08 J/ha/yr	
<b>14 Steel</b>		
(assuming 10 year life span)		
Steel for agricultural machinery	2,50E+01 kg/ha/yr	Average value
Embodied energy machinery	8,00E+07 J/kg mach.	(Biondi et al., 1989, p.68)
Total energy demand	2,00E+09 J/ha/yr	
<b>15 Local labor</b>		
Total applied labor	1,00E+01 h/ha/yr	From field work
working days per year (8 hours/day)	1,25E+00 dayr/ha/yr	
working years (240 work yrs/year)	5,21E-03 yrear/ha/yr	
Labor cost	9,41E-01 US\$/h	From field work
Total labor cost	9,41E+00 US\$/ha/yr	
<b>16 Extra labor</b>		
Total applied labor	5,00E+00 h/ha/yr	From field work
working days per year (8 hours/day)	6,25E-01 dayr/ha/yr	
working years (240 work yrs/year)	2,60E-03 yrear/ha/yr	
Labor cost	9,41E-01 US\$/h	From field work
Total labor cost	4,70E+00 US\$/ha/yr	

**17 Externalities**

Externalities	345,00 US\$/ha/yr	(Ortega et al. 2005)
<b>Total</b>	<b>345,00 US\$/ha/yr</b>	

**18 Annual services**

Gov. taxes	22,29 US\$/ha/yr	From field work
------------	------------------	-----------------

**19 Agricultural phase output**

<b>Average corn production</b>	6,50E+03 kg/ha/a	From field work
Higher heating value of residues	1,64E+07 J/kg w.m.	
Total energy	1,07E+11 J/ha/a	8,9473684
Average corn market price	0,1491 US\$/kg	
Gross income per ha	969,30 US\$/ha/yr	

Notas de cálculo da tabela de avaliação energética do sistema de produção de leite no sistema proposto pela Cooperbio (Tabela 39).

**1 Sun**

Insolation	1,67E+03 watt-hora/m2/yr	<a href="http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi">http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi</a>
Albedo	1,50E-01	<a href="http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi">http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi</a>
Conversion	3,60E+03 J/Wh	
Insolation energy	5,10E+06 J/m2/yr	
Cropped area	1,00E+04 m2/ha	
Energy (J/yr)=(land area)(insolation)		
Insolation energy	5,10E+10 J/ha/yr	

**2 Rain**

Precipitation (Brazilian average 9 samples)	1,72E+03 mm/yr or L/m2/yr	<a href="http://www.inmet.gov.br">www.inmet.gov.br</a>
Cropped area	1,00E+04 m2/ha	
Density of water	1,00E+00 kg/L	
Mass of rain	1,72E+07 kg/ha/yr	
Fraction of water that is evapotranspired	6,20E-01	<a href="http://www.inmet.gov.br">www.inmet.gov.br</a>
Mass of rain evapotranspired	1,06E+07 kg/ha/yr	
Free energy of water = (Evapotranspired water)(Gibbs free energy of water)		
Gibbs free energy of water	4,94E+03 J/kg	(Odum, 1996)
Energy of rain	5,25E+10 J/ha/yr	

**3 Deep heat**

Heat flow through earth crust contributing to uplift replacing erosion.		
Average heat flow per area	3,00E+06 J/m2/yr	(Odum, 1996)
Land area	1,00E+04 m2/ha	
Energy (J/yr) = (land area)(heat flow per area)	3,00E+10 J/yr	

**4 Soil loss**

Soil loss (eroded)	1,70E+04 kg/ha/yr	<a href="http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C17-EAnaliseAI-JM.pdf">http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C17-EAnaliseAI-JM.pdf</a> (pg 9)
Organic matter in topsoil used up = (total mass of topsoil)(% organic)		

Ratio of the organic matter in the soil	4,00E-02	Organic matter in soil is reported in the range 3-6% of total soil weigh (Odum,1996)
Organic matter in topsoil used up	6,80E+02 kg/ha/yr	
Water content in organic matter	7,00E-01	Estimative from this work
Dry organic matter lost with erosion	2,04E+02 kgDW/ha/yr	
Energy content of dry organic matter	5,40E+03 Kcal/kgDW	Average value
Energy = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)		
Energy loss	4,61E+09 J/ha/yr	
<b>5 Seeds</b>		
Sorghum	6,00E+01 kg/ha/yr	From field work
Azevem	5,00E+01 kg/ha/yr	From field work
Oat	8,00E+01 kg/ha/yr	From field work
Mass of seeds used	1,90E+02 kg/ha/yr	From field work
<b>6 Fuels (includes diesel, gasoline, lubricants)</b>		
Volume used for farm machinery	4,69E+00 L/ha/yr	From field work
Density of diesel	8,40E-01 kg/L	(Coppens, 2003)
Mass used for farm machinery	3,94E+00 kg/ha/yr	
Higher heating value	4,45E+07 J/kg	(Boustead and Hancock, 1979)
Total energy demand	1,75E+08 J/ha/yr	
<b>7 Electricity</b>		
Electricity used general	2,25E+01 kWh/ha/yr	From field work
Conversion	3,60E+06 J/kWh	
Total energy demand	8,10E+07 J/ha/yr	
<b>8 Steel</b>		
(assuming 10 year life spam)		
Steel for agricultural machinery	2,50E+01 kg/ha/yr	Average value
Embodied energy machinery	8,00E+07 J/kg mach.	(Biondi et al., 1989, p.68)
Total energy demand	2,00E+09 J/ha/yr	
<b>9 Organic fertilizer</b>		
Total organic fertilizer used	4,00E+02 kg/ha/yr	
Higher heating value	1,79E+07 J/kg	Estimated from: (Domalski et al., 1986) pg 72
Total energy demand	7,16E+09 J/ha/yr	
<b>10 Other organic inputs</b>		
Total organic fertilizer used	0,00E+00 kg/ha/yr	
Higher heating value	1,79E+07 J/kg	
Total energy demand	0,00E+00 J/ha/yr	
<b>11 Salt</b>		
Total salt used	9,00E+01 kg/ha/yr	From field work
<b>12 Feed</b>		
Total feed used	1,80E+03 kg/ha/yr	From field work
<b>13 Urea</b>		

Total salt used	2,19E+02 kg/ha/yr	From field work
<b>14 Local labor</b>		
Total applied labor	1,37E+02 h/ha/yr	From field work
working days per year (8 hours/day)	1,71E+01 dayr/ha/yr	
working years (240 work yrs/year)	7,13E-02 yrear/ha/yr	
Labor cost	9,41E-01 US\$/h	From field work
Total labor cost	1,29E+02 US\$/ha/yr	
<b>15 Externalities</b>		
Externalities	345,00 US\$/ha/yr	(Ortega et al. 2005)
<b>Total</b>	<b>345,00 US\$/ha/yr</b>	
<b>16 Annual services</b>		
Gov. taxes	51,70 US\$/ha/yr	From field work
<b>17 Agricultural phase output</b>		
<b>Average milk production</b>	<b>9,49E+03 L/ha/a</b>	<b>(Our previous calculations)</b>
Energy content	2,40E+06 J/L	
Total energy	2,28E+10 J/ha/a	
Average milk market price	0,24 US\$/L	From field work
Gross income per ha	2247,63 US\$/ha/yr	
	17567,49 US\$/y	

Notas de cálculo da tabela de avaliação energética do sistema de produção de milho no sistema proposto pela Cooperbio (Tabela 40).

**1 Sun**

Insolation	8,33E+02 watt-hora/m <sup>2</sup> /yr	<a href="http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi">http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi</a>
Albedo	1,50E-01	<a href="http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi">http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi</a>
Conversion	3,60E+03 J/Wh	
Insolation energy	2,55E+06 J/m <sup>2</sup> /yr	
Cropped area	1,00E+04 m <sup>2</sup> /ha	
Energy (J/yr)=(land area)(insolation)		
Insolation energy	2,55E+10 J/ha/yr	

**2 Rain**

Precipitation (Brazilian average 9 samples)	8,58E+02 mm/yr or L/m <sup>2</sup> /yr	<a href="http://www.inmet.gov.br">www.inmet.gov.br</a>
Cropped area	1,00E+04 m <sup>2</sup> /ha	
Density of water	1,00E+00 kg/L	
Mass of rain	8,58E+06 kg/ha/yr	
Fraction of water that is evapotranspired	6,20E-01	<a href="http://www.inmet.gov.br">www.inmet.gov.br</a>
Mass of rain evapotranspired	5,32E+06 kg/ha/yr	
Free energy of water = (Evapotranspired water)(Gibbs free energy of water)		
Gibbs free energy of water	4,94E+03 J/kg	(Odum, 1996)

Energy of rain 2,63E+10 J/ha/yr

### 3 Deep heat

Heat flow through earth crust contributing to uplift replacing erosion.

Average heat flow per area 1,50E+06 J/m<sup>2</sup>/yr (Odum, 1996)

Land area 1,00E+04 m<sup>2</sup>/ha

Energy (J/yr) = (land area)(heat flow per area) 1,50E+10 J/yr

### 4 Soil loss

Soil loss (eroded) 17000 kg/ha/yr <http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C17-EAnaliseAI-JM.pdf> (pg 9)

Organic matter in topsoil used up = (total mass of topsoil)(% organic)

Ratio of the organic matter in the soil 4,00E-02 Organic matter in soil is reported in the range 3-6% of total soil weigh (Odum,1996)

Organic matter in topsoil used up 6,80E+02 kg/ha/yr

Water content in organic matter 7,00E-01 Estimative from this work

Dry organic matter lost with erosion 2,04E+02 kgDW/ha/yr

Energy content of dry organic matter 5,40E+03 Kcal/kgDW Average value

Energy = (kgDW/ha/a)\*(5400 Kcal/kgDW)\*(4186 J/Kcal)

Energy loss 4,61E+09 J/ha/yr

### 5 Limestone

Mass of limestone used 7,50E+02 kg/ha/yr

Higher heating value 6,11E+05 kg/ha/yr

Total energy demand 4,58E+08 J/ha/yr

### 6 Herbicides

Mass of herbicides used 9,50E+00 kg/ha/yr From field work

### 7 Pesticides (includes pesticides and fungicides)

Mass of pesticides used 4,00E+00 kg/ha/yr From field work

### 8 Seeds

Mass of seeds used 1,70E+01 kg/ha/yr

### 9 Nitrogen fertilizer

Total NPK fertilizer used 4,50E+02 kg/ha/yr From field work

% N 8%

N = (Total fertilizer)(%N)(28 gmol N/132 gmol DAP)

Annual N consumption 7,64E+00 kg N/ha

### 10 Phosphate fertilizer

Total NPK fertilizer used 4,50E+02 kg/ha/yr From field work

% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 20%

P = (Total fertilizer)(%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)(30 gmol P/70 gmol P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

Annual P consumption 3,86E+01 kg P/ha

### 11 Potash fertilizer

Total NPK fertilizer used 4,50E+02 kg/ha/yr From field work

% K<sub>2</sub>O 20%

K = (Total fertilizer)(%K<sub>2</sub>O)(78 gmol K/94 gmol K<sub>2</sub>O)

Annual K consumption	7,47E+01 kg K/ha	
<b>12 Fuels (includes diesel, gasoline, lubricants)</b>		
Volume used for farm machinery	1,70E+02 L/ha/yr	From field work
Density of diesel	8,40E-01 kg/L	(Coppens, 2003)
Mass used for farm machinery	1,43E+02 kg/ha/yr	
Higher heating value	4,45E+07 J/kg	(Boustead and Hancock, 1979)
Total energy demand	6,35E+09 J/ha/yr	
<b>13 Electricity</b>		
Electricity used general	3,40E+01 kWh/ha/yr	From field work
Conversion	3,60E+06 J/kWh	
Total energy demand	1,22E+08 J/ha/yr	
<b>14 Steel</b>		
(assuming 10 year life span)		
Steel for agricultural machinery	2,50E+01 kg/ha/yr	Average value
Embodied energy machinery	8,00E+07 J/kg mach.	(Biondi et al., 1989, p.68)
Total energy demand	2,00E+09 J/ha/yr	
<b>15 Local labor</b>		
Total applied labor	1,00E+01 h/ha/yr	From field work
working days per year (8 hours/day)	1,25E+00 dayr/ha/yr	
working years (240 work yrs/year)	5,21E-03 yrear/ha/yr	
Labor cost	9,41E-01 US\$/h	From field work
Total labor cost	9,41E+00 US\$/ha/yr	
<b>16 Extra labor</b>		
Total applied labor	5,00E+00 h/ha/yr	From field work
working days per year (8 hours/day)	6,25E-01 dayr/ha/yr	
working years (240 work yrs/year)	2,60E-03 yrear/ha/yr	
Labor cost	9,41E-01 US\$/h	From field work
Total labor cost	4,70E+00 US\$/ha/yr	
<b>17 Externalities</b>		
Externalities	345,00 US\$/ha/yr	(Ortega et al. 2005)
<b>Total</b>	345,00 US\$/ha/yr	
<b>18 Annual services</b>		
Gov. taxes	22,29 US\$/ha/yr	From field work
<b>19 Agricultural phase output</b>		
<b>Average corn production</b>	6,50E+03 kg/ha/a	From field work
Higher heating value of residues	1,64E+07 J/kg w.m.	
Total energy	1,07E+11 J/ha/a	
Average corn market price	0,1491 US\$/kg	From field work
Gross income per ha	969,30 US\$/ha/yr	

Notas de cálculo da tabela de avaliação emergética do sistema de produção de soja orgânica no sistema proposto pela Cooperbio (Tabela 41).

**1 Sun**

Insolation	8,33E+02 watt-hora/m <sup>2</sup> /yr	<a href="http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi">http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi</a>
Albedo	1,50E-01	<a href="http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi">http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi</a>
Conversion	3,60E+03 J/Wh	
Insolation energy	2,55E+06 J/m <sup>2</sup> /yr	
Cropped area	1,00E+04 m <sup>2</sup> /ha	
Energy (J/yr)=(land area)(insolation)		
Insolation energy	2,55E+10 J/ha/yr	

**2 Rain**

Precipitation (Brazilian average 9 samples)	8,58E+02 mm/yr or L/m <sup>2</sup> /yr	<a href="http://www.inmet.gov.br">www.inmet.gov.br</a>
Cropped area	1,00E+04 m <sup>2</sup> /ha	
Density of water	1,00E+00 kg/L	
Mass of rain	8,58E+06 kg/ha/yr	
Fraction of water that is evapotranspired	6,20E-01	<a href="http://www.inmet.gov.br">www.inmet.gov.br</a>
Mass of rain evapotranspired	5,32E+06 kg/ha/yr	
Free energy of water = (Evapotranspired water)(Gibbs free energy of water)		
Gibbs free energy of water	4,94E+03 J/kg	(Odum, 1996)
Energy of rain	2,63E+10 J/ha/yr	

**3 Deep heat**

Heat flow through earth crust contributing to uplift replacing erosion.		
Average heat flow per area	1,50E+06 J/m <sup>2</sup> /yr	(Odum, 1996)
Land area	1,00E+04 m <sup>2</sup> /ha	
Energy (J/yr) = (land area)(heat flow per area)	1,50E+10 J/yr	

**4 Nitrogen fixed from atmosphere**

kg of N fixed from atmosphere	6,00E+01 kg of N/ha/yr	
-------------------------------	------------------------	--

**5 Soil loss**

Soil loss (eroded)	8500 kg/ha/yr	From field work
Organic matter in topsoil used up = (total mass of topsoil)(% organic)		
Ratio of the organic matter in the soil	4,00E-02	Organic matter in soil is reported in the range 3-6% of total soil weigh (Odum,1996)
Organic matter in topsoil used up	3,40E+02 kg/ha/yr	
Water content in organic matter	7,00E-01	Estimative from this work
Dry organic matter lost with erosion	1,02E+02 kgDW/ha/yr	
Energy content of dry organic matter	5,40E+03 Kcal/kgDW	Average value
Energy = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)		
Energy loss	2,31E+09 J/ha/yr	

**6 Seeds**

Mass of seeds used	6,70E+01 kg/ha/yr	
--------------------	-------------------	--

**7 Nitrogen fertilizer**

Total NPK fertilizer used	6,80E+01 kg/ha/yr	From field work
---------------------------	-------------------	-----------------

% N	0%	
$N = (\text{Total fertilizer})(\%N)(28 \text{ gmol N}/132 \text{ gmol DAP})$		
Annual N consumption	0,00E+00 kg N/ha	
<b>8 Phosphate fertilizer</b>		
Total NPK fertilizer used	6,80E+01 kg/ha/yr	From field work
% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	20%	
$P = (\text{Total fertilizer})(\%P_{2O_5})(30 \text{ gmol P}/70 \text{ gmol P}_{2O_5})$		
Annual P consumption	5,83E+00 kg P/ha	
<b>9 Potash fertilizer</b>		
Total NPK fertilizer used	6,80E+01 kg/ha/yr	From field work
% K <sub>2</sub> O	20%	
$K = (\text{Total fertilizer})(\%K_{2O})(78 \text{ gmol K}/94 \text{ gmol K}_{2O})$		
Annual K consumption	1,13E+01 kg K/ha	
<b>10 Fuels (includes diesel, gasoline, lubricants)</b>		
Volume used for farm machinery	8,60E+01 L/ha/yr	From field work
Density of diesel	8,40E-01 kg/L	(Coppens, 2003)
Mass used for farm machinery	7,22E+01 kg/ha/yr	
Higher heating value	4,45E+07 J/kg	(Boustead and Hancock, 1979)
Total energy demand	3,21E+09 J/ha/yr	
<b>11 Electricity</b>		
Electricity used general	3,40E+01 kWh/ha/yr	From field work
Conversion	3,60E+06 J/kWh	
Total energy demand	1,22E+08 J/ha/yr	
<b>12 Steel</b>		
(assuming 10 year life span)		
Steel for agricultural machinery	2,50E+01 kg/ha/yr	Average value
Embodied energy machinery	8,00E+07 J/kg mach.	(Biondi et al., 1989, p.68)
Total energy demand	2,00E+09 J/ha/yr	
<b>13 Organic fertilizer</b>		
Total organic fertilizer used	6,90E+01 kg/ha/yr	
Higher heating value	1,79E+07 J/kg	Estimated from: (Domalski et al., 1986) pg 72
Total energy demand	1,24E+09 J/ha/yr	
<b>14 Other organic inputs</b>		
Total organic fertilizer used	1,20E+01 kg/ha/yr	From field work
Higher heating value	1,79E+07 J/kg	
Total energy demand	2,15E+08 J/ha/yr	
<b>15 Local labor</b>		
Total applied labor	7,00E+00 h/ha/yr	From field work
working days per year (8 hours/day)	8,75E-01 dayr/ha/yr	
working years (240 work yrs/year)	3,65E-03 yrear/ha/yr	
Labor cost	9,41E-01 US\$/h	From field work
Total labor cost	6,58E+00 US\$/ha/yr	

**16 Extra labor**

Total applied labor	3,00E+01 h/ha/yr	From field work
working days per year (8 hours/day)	3,75E+00 dayr/ha/yr	
working years (240 work yrs/year)	1,56E-02 yrear/ha/yr	
Labor cost	9,41E-01 US\$/h	From field work
Total labor cost	2,82E+01 US\$/ha/yr	

**17 Externalities**

Externalities	39,00 US\$/ha/yr	(Pretty et al. 2005)
<b>Total</b>	39,00 US\$/ha/yr	

**18 Annual services**

Gov. taxes	12,69 US\$/ha/yr	From field work
------------	------------------	-----------------

**19 Agricultural phase output**

<b>Average soybean production</b>	2,08E+03 kg/ha/a	From field work
Fraction moisture in soybean, at harvest time	1,20E-01	FAO <a href="http://www.fao.org/es/ess/tcf.asp">http://www.fao.org/es/ess/tcf.asp</a>
Higher heating value of residues	2,26E+07 J/kg w.m.	
Total energy	4,71E+10 J/ha/a	
Average soybean market price	0,2651 US\$/kg	From field work
Gross income per ha	551,62 US\$/ha/yr	

Notas de cálculo da tabela de avaliação energética do sistema de produção de cana-de-açúcar no sistema proposto pela Cooperbio (Tabela 42).

**1 Sun**

Insolation	1,67E+03 watt-hora/m2/yr	<a href="http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi">http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi</a>
Albedo	1,50E-01	<a href="http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi">http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi</a>
Conversion	3,60E+03 J/Wh	
Insolation energy	5,10E+06 J/m2/yr	
Cropped area	1,00E+04 m2/ha	
Energy (J/yr)=(land area)(insolation)		
Insolation energy	5,10E+10 J/ha/yr	

**2 Rain**

Precipitation (Brazilian average 9 samples)	1,72E+03 mm/yr or L/m2/yr	<a href="http://www.inmet.gov.br">www.inmet.gov.br</a>
Cropped area	1,00E+04 m2/ha	
Density of water	1,00E+00 kg/L	
Mass of rain	1,72E+07 kg/ha/yr	
Fraction of water that is evapotranspired	6,20E-01	<a href="http://www.inmet.gov.br">www.inmet.gov.br</a>
Mass of rain evapotranspired	1,06E+07 kg/ha/yr	
Free energy of water = (Evapotranspired water)(Gibbs free energy of water)		
Gibbs free energy of water	4,94E+03 J/kg	(Odum, 1996)
Energy of rain	5,25E+10 J/ha/yr	

**3 Deep heat**

Heat flow through earth crust contributing to uplift replacing erosion.

Average heat flow per area	3,00E+06 J/m <sup>2</sup> /yr	(Odum, 1996)
Land area	1,00E+04 m <sup>2</sup> /ha	
Energy (J/yr) = (land area)(heat flow per area)	3,00E+10 J/yr	

**4 Soil loss**

Soil loss (eroded)	1,19E+04 kg/ha/yr	<a href="http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C17-EAnaliseAl-JM.pdf">http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C17-EAnaliseAl-JM.pdf</a> (pg 9)
Organic matter in topsoil used up = (total mass of topsoil)(% organic)		
Ratio of the organic matter in the soil	4,00E-02	Organic matter in soil is reported in the range 3-6% of total soil weigh (Odum, 1996)
Organic matter in topsoil used up	4,76E+02 kg/ha/yr	
Water content in organic matter	7,00E-01	Estimative from this work
Dry organic matter lost with erosion	1,43E+02 kgDW/ha/yr	
Energy content of dry organic matter	5,40E+03 Kcal/kgDW	Average value
Energy = (kgDW/ha/a)*(5400 Kcal/kgDW)*(4186 J/Kcal)		
Energy loss	3,23E+09 J/ha/yr	

**5 Limestone**

Mass of limestone used	3,43E+02 kg/ha/yr	From field work
Higher heating value	6,11E+05 kg/ha/yr	
Total energy demand	2,10E+08 J/ha/yr	

**6 Herbicides**

Mass of herbicides used	1,50E+00 kg/ha/yr	From field work
-------------------------	-------------------	-----------------

**7 Pesticides (includes pesticides and fungicides)**

Mass of pesticides used	4,29E+01 kg/ha/yr	From field work
-------------------------	-------------------	-----------------

**8 Cut**

Mass of cut (seeds) used	2,40E+03 kg/ha/yr	From field work
--------------------------	-------------------	-----------------

**9 Nitrogen fertilizer**

Annual N consumption	5,19E+01 kg N/ha	From field work
----------------------	------------------	-----------------

**10 Phosphate fertilizer**

Annual P consumption	1,20E+02 kg P/ha	From field work
----------------------	------------------	-----------------

**11 Potash fertilizer**

Annual K consumption	1,20E+02 kg K/ha	From field work
----------------------	------------------	-----------------

**12 Fuels (includes diesel, gasoline, lubricants)**

Volume used for farm machinery	6,40E+01 L/ha/yr	From field work
Density of diesel	8,40E-01 kg/L	(Coppens, 2003)
Mass used for farm machinery	5,38E+01 kg/ha/yr	
Higher heating value	4,45E+07 J/kg	(Boustead and Hancock, 1979)
Total energy demand	2,39E+09 J/ha/yr	

**13 Steel**

(assuming 10 year life spam)

Steel for agricultural machinery	2,50E+01 kg/ha/yr	Average value
Embodied energy machinery	8,00E+07 J/kg mach.	(Biondi et al., 1989, p.68)
Total energy demand	2,00E+09 J/ha/yr	
<b>14 Local labor</b>		
Total applied labor	1,56E+02 h/ha/yr	From field work
working days per year (8 hours/day)	1,95E+01 dayr/ha/yr	
working years (240 work yrs/year)	8,10E-02 yrear/ha/yr	
Labor cost	9,41E-01 US\$/h	From field work
Total labor cost	1,46E+02 US\$/ha/yr	
<b>15 Extra labor</b>		
Total applied labor	0,00E+00 h/ha/yr	From field work
working days per year (8 hours/day)	0,00E+00 dayr/ha/yr	
working years (240 work yrs/year)	0,00E+00 yrear/ha/yr	
Labor cost	9,41E-01 US\$/h	From field work
Total labor cost	0,00E+00 US\$/ha/yr	
<b>16 Externalities</b>		
Externalities	130,00 US\$/ha/yr	(Ortega et al. 2007)
<b>Total</b>	130,00 US\$/ha/yr	
<b>17 Annual services</b>		
Gov. taxes	24,57 US\$/ha/yr	From field work
<b>18 Agricultural phase output</b>		
<b>Average sugarcane production</b>	7,00E+04 kg/ha/a	(Our previous calculations)
Energy content	2,68E+06 J/kg	
Total energy	1,88E+11 J/ha/a	
Average sugarcane market price	15,26 US\$/ton	From field work
Gross income per ha	1068,42 US\$/ha/yr	

