



LUIS FELIPE LIMA E SILVA

**VIABILIDADE DAS CULTURAS DE CANOLA,
NABO FORRAGEIRO E BATATA-DOCE PARA
A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO SUL
DE MINAS GERAIS**

LAVRAS - MG

2013

LUIS FELIPE LIMA E SILVA

**VIABILIDADE DAS CULTURAS DE CANOLA, NABO FORRAGEIRO
E BATATA-DOCE PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO
SUL DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador:

Dr. Wilson Roberto Maluf

Coorientador:

Dr. Wilson Magela Gonçalves

LAVRAS – MG

2012

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Silva, Luis Felipe Lima e.

Viabilidade das culturas de canola, nabo forrageiro e batata-doce para a produção de biocombustíveis no sul de Minas Gerais / Luis Felipe Lima e Silva. – Lavras : UFLA, 2013.

86 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Wilson Roberto Maluf.

Bibliografia.

1. *Brassica napus* L. var. *oleífera*. 2. *Ipomoea batatas* L. 3. *Raphanus sativus* L. 4. Biocombustível. 5. Balanço energético. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 633.85

LUIS FELIPE LIMA E SILVA

**VIABILIDADE DA CULTURA DA CANOLA, NABO FORRAGEIRO E
BATATA-DOCE PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS NO
SUL DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 22 de Novembro de 2012.

Dr. Luciane Vilela Resende UFLA

Dr. Douglas Willian Nogueira UFLA

Orientador:

Dr. Wilson Roberto Maluf

Coorientador:

Dr. Wilson Magela Gonçalves

LAVRAS – MG

2012

A meus pais (Manuel e Carmen) aos quais sempre serei grato por todo o amor, apoio, ensinamentos e valores que me passam todos os dias. A vocês todas minhas conquistas com todo carinho, gratidão e respeito.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, onde encontro inspiração e força para viver.

À Christiany, por todos os momentos inesquecíveis juntos vividos, por sua amizade, amor, carinho, respeito e por ser sempre companheira.

Aos amigos Anna Cristina (prima), Bruno (Pezão), Cássio (Ganso), Diego (Zoreia), Jésus, João Augusto, Leonardo (Léleo), Luís Otavio (Piu), Luciana Lima (prima), Óliver, Rafael (Pão), Renato Sérgio, Stênio, Tiago Vítor (primo), e a todos com quem compartilhei sempre bons momentos de alegria e boas conversas.

Aos Professores, Luciane Vilela Resende, Wilson Roberto Maluf e Wilson Magela Gonçalves, por elucidarem meu caminho por meio das orientações e conhecimentos passados que em muito contribuíram para minha formação profissional e pessoal.

Aos irmãos de orientação, Aline, André Lasmar, Celso, César Augusto Ticona Benavente, Eva, Gabriella Andrino, Marcela, Regis e Tiago pelo companheirismo e ajudas prestadas.

A todos os professores da UFLA, pelos conhecimentos transmitidos ao longo do curso.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Agricultura, pela realização do curso;

À FAPEMIG, pelo auxílio financeiro e concessão de bolsas;

À Hortiagro Sementes S.A., pela infraestrutura.

RESUMO

O Brasil possui grande potencial para produção de biocombustíveis a partir de diferentes espécies agrícolas, tendo um futuro promissor na utilização de amiláceas e oleaginosas para esse fim. Na literatura destacam-se várias culturas consideradas potenciais fontes para produção de combustíveis alternativos. Dentre as oleaginosas, são consideradas potenciais fontes de matérias primas para a produção de biodiesel, o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*), que apresenta até 56% de teor de óleo em suas sementes; e a canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*), que apresenta até 46% de óleo em suas sementes. Dentre as amiláceas, a batata-doce (*Ipomoea batatas* L.), destaca-se por ser uma hortaliça rústica, apresentar baixo custo de produção e por suas raízes servirem para diversos fins, como na alimentação humana e animal, e também como importante alternativa para a produção de etanol. Entretanto ainda há carência em trabalhos no Brasil que indiquem a viabilidade dessas culturas para a produção dos respectivos biocombustíveis. Dados referentes a consumo e eficiência energética são considerados importantes ferramentas para diagnosticar problemas relacionados à sustentabilidade de sistemas produtivos agrícolas, e assim verificar a viabilidade deles. O objetivo do autor com este trabalho foi avaliar a viabilidade para a produção de biocombustíveis a partir das culturas de nabo forrageiro, canola e da batata-doce no sul de Minas Gerais, utilizando-se o balanço energético e econômico como ferramentas. A fase agrícola do experimento foi conduzida em campo. Para a fase industrial foram consideradas as operações para se extrair o óleo dos grãos das culturas da canola e do nabo forrageiro, e na cultura da batata doce para produzir etanol com o processamento de suas raízes. A eficiência energética foi calculada pela relação da energia produzida por meio dos *outputs* (rendimentos obtidos com os biocombustíveis produzidos) e a energia consumida por meio dos *inputs* (operações mecanizadas, mão de obra, insumos e fase industrial). A eficiência econômica de produção agrícola foi calculada de forma semelhante, só que nesta, os *inputs* e os *outputs* foram relacionados aos seus respectivos correspondentes monetários. Os valores dos índices obtidos para a produção de biodiesel a partir da cultura da canola e do nabo forrageiro foram respectivamente de 1,39; 1,61 (referentes ao balanço energético), e de 1,93 e 2,23 referentes ao balanço econômico. Apesar de apresentarem relativa rentabilidade, os índices de balanço energético para a produção de biodiesel a partir da canola e do nabo-forrageiro podem ser considerados baixos se comparados a resultados encontrados em pesquisas já realizadas, tanto para as mesmas culturas estudadas quanto para a soja que é considerada piloto para a produção de biodiesel no Brasil. Isso que demonstra que se deve investir no aperfeiçoamento das tecnologias empregadas e na familiarização dos agricultores com os cultivos, e também que são necessários investimentos em programas de melhoramento genético, visando obter cultivares

mais adaptadas para nossas regiões de plantio, e assim se elevem os rendimentos médios obtidos, aumentando os índices dos balanços energéticos e econômicos obtidos. Para a produção de etanol a partir da cultura da batata-doce, foram estimados os índices dos balanços energéticos e econômicos para as produtividades médias obtidas de 35, 50 e de 80 toneladas de raízes por hectare. Com a produtividade de 35 toneladas de raízes por hectare, obtiveram-se os índices de balanço energético e econômico de 7,64 e de 1,78 respectivamente. A produtividade de 35 ton/ha, embora bastante superior à média nacional de 12 ton/ha, pode ser facilmente alcançada com a adoção de recomendações de plantio amplamente conhecidas. Com produtividade média de 50 toneladas de raízes por hectare, sob as mesmas recomendações de plantio, obtiveram-se os índices de balanço energético e econômico de 10,91 e de 2,55 respectivamente. Já com clones-elite (produtividade média de 80 ton/ha), os índices de balanço energético e econômico se elevam para 17,46 e 4,08 respectivamente. Todas as situações em que a produtividade foi igual ou superior a 35 ton/ha confirmam a grande aptidão energética e econômica da cultura da batata-doce para a produção de etanol biocombustível, tomando-se como base a cultura da cana de açúcar que é a considerada atualmente piloto para a produção de etanol no Brasil e a de milho considerada piloto para a produção de etanol nos Estados Unidos.

Palavras-chave: Balanço energético. Biocombustível. *Brassica napus* L. var. *oleífera*. *Ipomoea batatas* L. *Raphanus sativus* L.

ABSTRACT

Brazil has great potential for production of biofuels from various crop species, with a promising future in the use of starch and vegetable oil for this purpose. In the literature, several crops are considered potential as sources for production of alternative fuels. Among oilseeds are considered potential sources for biodiesel production the oilseed rape (*Raphanus sativus*, 56% oil content in its seeds), and the canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*, 46% oil in its seeds). Among the starchy crops, sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) is a rustic vegetable, has a low cost of production and its can serve several purposes, such as food and feed, and also as an important alternative for the production of ethanol. However studies are lacking which would indicate in Brazil the viability of these crops for the production of their biofuels. Data concerning energy consumption and energy efficiency are considered important tools for diagnosing problems related to the sustainability of agricultural production systems, and thus verify the viability of of these. The objective of this study was to evaluate the feasibility for the production of biofuels of the crops oilseed rape, canola and sweet potatoes in southern Minas Gerais, using the energy and economic balances as tools. The agricultural phase of the experiment was conducted in the field. For phase industrial operations were considered to extract the oil from the grain crops of canola and oilseed rape, and sweet potato crop to produce ethanol by processing its roots. Energetic and economic efficiency was calculated as the ratio of energy produced by the *outputs* (yields obtained with biofuels) and energy consumed through the *inputs* (mechanized operations, labor, supplies and industrial phase). The economic efficiency was calculated similarly, except that this inputs and outputs are connected to their respective corresponding monetary values. The output/input index values obtained for the production of biodiesel from the culture of canola and oilseed rape were respectively 1.39 and 1.61 for the energy balance, and 1.93 and 2.23 for the economic balance. The output/input index values showed that it is possible to produce biofuels in the south of Minas Gerais from the respective cultures, but also demonstrate that we can invest in improving the technologies employed and familiarizing farmers with crops, and that investment is needed in breeding programs in order to obtain cultivars better adapted to our growing regions, to rise so that the mean yield, increasing rates of economic and energy balances for the crops studied. For the production of ethanol from sweet potato crop were estimated output/input index values of economic and energetic balances for the yield averages of 35, 50 and 80 tons of roots per hectare. With a yield of 35 tons of roots per hectare were obtained output/input index of energy balance and economic of 7.64 and 1.78 respectively. The productivity of 35 ton/ha, although well above the national average of 12 ton/ha, can be easily achieved with the adoption of recommendations planting widely known. With an average yield of 50 tons of

roots/ha under the same planting recommendations were obtained output/input index values of economic and energy balance of 10.91 and 2.55 respectively. Already with elite clones (average yield of 80 ton/ha), the output/input index values of economic and energy balance rise up to 17.46 and 4.08 respectively. All situations where productivity was less than 35 ton/ha confirm the suitability large energy and economic culture of sweet potato for ethanol biofuel production, having as basis of comparison the culture of sugar cane that is currently considered a pilot for the production of ethanol in Brazil.

Key words: Biofuel. *Brassica napus* L. var. *oleífera*. Energy balance. *Ipomoea batatas* L. *Raphanus sativus* L.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	Biodiesel	15
2.2	Etanol	18
2.3	Viabilidade de produção	20
2.4	Estimativa do balanço energético e econômico	24
2.5	A canola como alternativa para a produção de biodiesel	26
2.6	O nabo forrageiro como alternativa para a produção de biodiesel	28
2.7	A batata-doce como alternativa para a produção de etanol	29
	REFERÊNCIAS	32
	ARTIGO 1 - Balanço energético e econômico para as culturas da canola e nabo-forrageiro visando à produção de biodiesel	41
1	INTRODUÇÃO	43
2	MATERIAIS E MÉTODOS	45
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4	CONCLUSÕES	52
	REFERÊNCIAS	53
	ANEXOS	58
	ARTIGO 2 - Balanço energético e econômico para a produção de etanol a partir da cultura da batata- doce	64
1	INTRODUÇÃO	66
2	MATERIAIS E MÉTODOS	69
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4	CONCLUSÕES	77
	REFERÊNCIAS	78
	ANEXOS	82

1 INTRODUÇÃO

É crescente a preocupação mundial com a obtenção de novas fontes de energia sustentáveis. Dentre as fontes de energia utilizadas pelo homem, as principais são não renováveis, como o petróleo, carvão e gás natural, existindo com isso grande possibilidade de sua escassez, aumentando assim a procura mundial por fontes renováveis de energia (SOUZA, 2008). As melhores previsões estimam que as reservas de petróleo e de gás natural não irão durar mais de 80 anos (RODRÍGUEZ et al., 2008). Assim, cada vez mais, se tem dado ênfase em trabalhos de pesquisa focando a obtenção de fontes alternativas de energia, que sejam renováveis, sustentáveis e não causem danos ao meio ambiente. Porém, tudo indica que mesmo com a imensa divulgação mundial sobre temas sócio-ambientais, a sociedade ainda não tem total consciência sobre os dados assustadores referentes ao consumo mundial de energia e a relação direta disso com a sobrevivência do homem e seu bem estar com a natureza (RODRÍGUEZ et al., 2008).

Fica clara a importância de se investir em pesquisas focando a produção de biocombustíveis a partir de diferentes culturas, cada qual indicada para respectiva região e condições edafoclimáticas próprias. Na literatura destacam-se várias culturas consideradas potenciais fontes para produção de combustíveis alternativos. Dentre as oleaginosas, são consideradas potenciais fontes de matérias primas para a produção de biodiesel, o nabo-forrageiro (*Raphanus sativus*), que apresenta até 56% de teor de óleo em suas sementes; e a cultura da canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*), que apresenta até 46% de óleo em suas sementes, ambas culturas consideradas de inverno. Dentre as amiláceas, a batata-doce (*Ipomoea batatas* L.), destaca-se por ser uma hortaliça rústica, apresentar baixo custo de produção e por suas raízes poderem servir para diversos fins, como na alimentação humana e animal, e também como

importante alternativa para a produção de etanol. Entretanto ainda há carência em trabalhos no Brasil que indiquem a viabilidade dessas culturas para a produção dos respectivos biocombustíveis. Dados referentes a consumo e eficiência energética são considerados importantes ferramentas para diagnosticar problemas relacionados à sustentabilidade de sistemas produtivos agrícolas, e assim verificar a viabilidade dos sistemas.

O objetivo do autor com este trabalho foi avaliar a viabilidade para a produção de biocombustíveis a partir das culturas de nabo forrageiro, canola e da batata-doce no sul de Minas Gerais, utilizando-se o balanço energético e econômico como ferramentas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Brasil possui grande potencial para a produção de biocombustíveis, pois apresenta uma grande diversidade de espécies agrícolas com potencial para essa finalidade como também possui grande disponibilidade de mão de obra e terras, o que aponta o país como potência para se inserir em uma boa posição no mercado internacional do agronegócio da produção de combustíveis renováveis. Por serem mercados altamente protegidos e de certa forma fechados, um avanço nesta área é dependente da sua abertura por meio das negociações e de novas políticas internacionais. O despertar do interesse dos governantes na obtenção de fontes alternativas que substituíssem as fontes derivadas do petróleo aumentou com a ocorrência da primeira grande crise do petróleo, a qual desequilibrou a economia brasileira, e em consequência, o país aprovou em 1975 o Programa Nacional do Alcool (Pró-Alcool) como incentivo à produção de etanol (SHIKIDA; BACHA, 1999). Um dos outros motivos que impulsionam maiores demandas por fontes alternativas de energia, e que incentivou o desenvolvimento de novas tecnologias para a produção em maiores escalas de energia sustentável, pode ser atribuído à necessidade dos países signatários atenderem aos acordos estabelecidos no Protocolo de Kyoto (UNITED NATIONS, 1998). Em Dezembro de 2004, o país aprovou também o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), que teve como objetivo incentivar novos projetos de pesquisas focando a obtenção e implantação de forma sustentável de novas matrizes energéticas, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda (BRASIL, 2010b).

As principais motivações para o desenvolvimento da produção de combustíveis alternativos estão em torno dos benefícios econômicos, sociais, ambientais, tecnológicos e estratégicos que esses podem trazer. Benefícios

econômicos podem ser adquiridos com a redução da atual taxa de importação de alguns derivados de combustíveis minerais cuja produção nacional é insuficiente e também pelo desenvolvimento de novas cadeias produtivas, podendo gerar efeitos em toda a economia nacional com a expansão do agronegócio, o que conseqüentemente se refletirá em benefícios sociais por meio do grande potencial de geração de empregos. Podem-se citar como benefícios ambientais dos biocombustíveis a utilização de um produto menos poluente e também o seqüestro de CO₂ do ar pelas plantas que os produzirão, benefícios que poderão ser comercializados mundialmente como créditos de carbono com base no Protocolo de Kyoto (UNITED NATIONS, 1998). Além disso, benefícios tecnológicos serão conseguidos pela geração e consolidação de inovações tecnológicas no setor. Benefícios estratégicos poderão ser obtidos através de uma maior inserção do Brasil no cenário global em função do agronegócio referente aos biocombustíveis.

2.1 Biodiesel

Os registros de utilização dos óleos vegetais como combustíveis datam desde 1900, quando Rudolph Diesel os utilizou pela primeira vez em seu motor de ignição (KNOTHE; DUNN; BAGBY, 1997). As primeiras elucidacões técnicas do uso do combustível de origem vegetal se realizaram em 1985 na Áustria, onde se consolidou a canola/colza como fontes de óleo para a primeira planta piloto para a produção de biodiesel (KORBITZ, 1999). Dentre as inúmeras fontes de energia renováveis, destacam-se os óleos vegetais que podem ser utilizados para a produção de biodiesel e podem ser extraídos a partir de diferentes cultivos, tais como óleo de mamona, palmácea, dendê, soja, girassol, canola, nabo-forrageiro, dentre outras (Quadro 1).

Quadro 1. Características de culturas oleaginosas no Brasil

Espécie	Origem do Óleo	Teor de Óleo (%)	Rendimento (ton. óleo/ha)
Dendê/Palma	Amêndoa	22	3,0 – 6,0
Coco	Fruto	55 – 60	1,3 – 1,9
Babaçu	Amêndoa	66	0,1 – 0,3
Girassol	Grão	38 – 48	0,5 – 1,9
Colza/Canola	Grão	40 – 48	0,5 – 0,9
Mamona	Grão	45 – 50	0,5 – 0,9
Amendoim	Grão	40 – 43	0,6 – 0,8
Soja	Grão	18	0,2 – 0,4
Algodão	Grão	15	0,1 – 0,2
Nabo forrageiro	Grão	40	0,5

Fonte: Adaptado de Paulillo et al. (2007) e dados da pesquisa.

Na região Norte do Brasil, o dendê representa uma grande opção de matéria prima para uma fonte alternativa de energia, pois nessa região existem mais de 50 milhões de hectares de áreas desmatadas, com aptidão para o seu plantio. A soja, o girassol, o algodão e a canola despontam como as principais alternativas para o Centro-Oeste, o Sudeste e o Sul do Brasil na produção de biodiesel (PERES; FREITAS JUNIOR; GAZZONI, 2005).

Mesmo com o crescimento mundial de Programas voltados para a produção de bioetanol, o biodiesel ainda continua sendo o principal foco no agronegócio dos combustíveis alternativos na Europa. A Europa, e em particular a Alemanha, foi onde mais se intensificou as pesquisas no setor de biocombustíveis, principalmente o biocombustível de óleo à base de colza (canola).

No Brasil, a produção de biodiesel ainda é considerada em fase inicial, apresentando grande potencial de crescimento nos próximos anos. De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP, 2008), o biodiesel é constituído da mistura de

alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, de origem animal ou vegetal, que podem ser utilizados como combustível puro ou misturado ao óleo diesel, em motores ciclo diesel sem que sejam requeridas alterações no motor. No mercado de biocombustível convencionou-se adotar a expressão BXX, na qual B significa Biodiesel e XX a proporção do biocombustível misturado ao óleo diesel. Essas misturas estão aprovadas para uso no território brasileiro de acordo com legislação vigente e devem ser produzidas segundo as especificações técnicas definidas pela ANP (2008).

Apesar dos grandes benefícios que podem ser adquiridos com o emprego de biocombustíveis de origem agrícola em motores do ciclo diesel, os óleos vegetais possuem alta viscosidade, baixa volatilidade e caráter poliinsaturado, o que limita sua utilização diretamente nos motores, o que poderia gerar problemas devido a uma combustão incompleta (CARR, 1990; OLIVEIRA et al., 2000). Com o objetivo de solucionar tais questões, foram desenvolvidos diferentes processos alternativos, como a diluição, craqueamento catalítico, microemulsão na presença de álcool e reação de transesterificação, processos estes que tornam o óleo apto para ser utilizado nos motores. A transesterificação do óleo para a produção de biodiesel é indicada por diversos autores como melhor alternativa, visto que o processo é relativamente simples, e promove a obtenção do biodiesel por meio da reação do óleo com etanol ou metanol, produzindo ésteres cujas propriedades são similares às do óleo diesel (BATCHELOR; BOOTH; WALKER, 1995; FERRARI; OLIVEIRA; SCABIO, 2005a). A tecnologia de produção de óleo diesel vegetal por meio do processo de transesterificação é conhecida e aplicada industrialmente em diversos países, sendo possível se prever um crescimento exponencial do mercado de biocombustíveis derivados de óleos vegetais, ocasionado pelas mesmas razões que impulsionam a demanda por etanol. Entretanto em longo prazo algumas projeções apontam para um cenário em que o mercado de óleos combustíveis

será superior ao de etanol, em especial em consequência dos óleos apresentarem maior densidade energética (PERES; FREITAS JUNIOR; GAZZONI, 2005).

Diante da tendência mundial e dos inúmeros benefícios listados que podem ser obtidos pela utilização de fontes renováveis para a produção de biocombustíveis, justificam-se as pesquisas com o foco em se verificar a viabilidade da produção de biodiesel nas diversas regiões do país a partir das diferentes culturas consideradas potenciais para essa finalidade. A cadeia de produção de biodiesel ainda tem um grande caminho a percorrer pela frente, devendo-se investir no aperfeiçoamento de tecnologias geração e no estudo e elucidação das potenciais matérias-primas.

2.2 Etanol

O etanol é considerado no Brasil como uma boa opção para substituir o uso da gasolina e esse futuro é visto como promissor (LEITE; LEAL, 2007). O etanol pode ser produzido de várias matérias-primas agrícolas, desde que contenham carboidratos passíveis de serem fermentados em reações específicas (açúcares e amido). Diversas são as culturas que podem ser utilizadas para a produção do álcool etanol, podendo-se citar como exemplos de fontes de carboidratos utilizadas para a produção de etanol a cana-de-açúcar, milho, batata-doce, beterraba açucareira, mandioca, dentre outras.

Os países considerados os maiores produtores de álcool (Brasil, EUA, China, França e Alemanha) são também considerados os maiores consumidores. Juntos, o Brasil e Estados Unidos foram responsáveis por cerca de 90% da produção mundial de 2008, utilizando este biocombustível em mistura com a gasolina em diferentes quantidades estabelecidas pela legislação vigente em cada país (PIRES; SCHECHETMAN, 2009).

No mundo todo, são vigentes diferentes políticas governamentais que apoiam a utilização da mistura de álcool a gasolina. Alguns programas vigentes desde 2006 estão descritos no quadro 2.

Quadro 2. Programas de utilização de álcool no mundo vigentes desde 2007.

País	Estágio
Brasil	Legislação exige percentual entre 20% e 25% de mistura de etanol à gasolina atualmente.
Estados Unidos	Percentual de até 10% em alguns estados, como é o caso da Califórnia, Nova York e Minnesota.
União Europeia	Percentual de até 5,75%.
Canadá	Exige 7,5%, e 10% em algumas províncias.
Japão	Percentual de até 10%.
Índia	Exige 5% de mistura na gasolina. Objetivo é ter um modelo parecido com o do Brasil (entre 20% e 25%).
Colômbia	Exige 10% de mistura em grandes cidades desde setembro/2005.
Tailândia	Exige mistura de 10% em todos os postos de gasolina de Bangkok.
China	Exige vários percentuais de mistura em várias províncias, chegando a 10%.
Venezuela	Criou programa que exige 5% de mistura de etanol na gasolina.
Argentina	Pretende implementar 5% de mistura.

Fonte: Adaptado de Paulillo et al. (2007).

O Brasil possui grande potencial para produção de etanol principalmente a partir da cana-de-açúcar, e, futuramente, com outras fontes a serem pesquisadas e consolidadas. Além de dominar a tecnologia de produção de toda a cadeia produtiva, o país possui também uma boa estrutura industrial e tecnologias de produção específicas, as quais podem suprir a demanda nacional de etanol em curto prazo. Estes fatos destacam o Brasil como um país potencial para futuramente atender à demanda de etanol mundial, o qual se estima, juntamente com o mercado interno, aumentará consistentemente ao longo dos

próximos anos. Porém ainda há necessidade de maiores investimentos no desenvolvimento tecnológico, como forma de ampliar a produtividade, reduzir os custos e garantir o suprimento da demanda, e principalmente a necessidade de se resolver problemas de logística encontrados no país (PERES; FREITAS JUNIOR; GAZZONI, 2005).

A produção nacional de álcool aumentou consistentemente com o lançamento dos veículos flex em 2003, os quais alcançaram uma boa aceitação no mercado automobilístico brasileiro. A produção de etanol em 2010 atingiu a marca de 27,9 bilhões de litros, um grande aumento em relação ao volume de 2002/03 que representou 12,5 bilhões de litros, (BRASIL, 2010a). Em 2010 a participação do carro flex representou aproximadamente 70% no total acumulado do mercado (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES - ANFAVEA, 2010). A produção de etanol no Brasil está bastante consolidada, o etanol brasileiro representa a melhor e mais avançada alternativa para a produção sustentável de biocombustíveis em grande escala no mundo (BRASIL, 2010a).

Assim, para se garantir um futuro programa de suprimento de energia renovável por meio da diversificação das matérias primas, deve-se aumentar o incentivo a pesquisas que avaliem quais as culturas são indicadas para a produção do etanol em cada região do país.

2.3 Viabilidade de produção

Como são muitas as culturas indicadas como potenciais para a produção de biocombustíveis é fundamental encontrar quais delas são ideais para a produção em cada região específica do país, e para isto deve-se levar em consideração alguns aspectos importantes como o balanço dos custos e rendimentos monetários (balanço econômico), e o balanço dos custos e

rendimentos energéticos (balanço energético), investidos em cada sistema produtivo, através dos quais é possível se estimar a viabilidade de cada cultura em determinada região.

Para se verificar a viabilidade da produção de um determinado biocombustível, é necessário quantificar toda a energia investida e obtida no sistema produtivo, como também todos os custos investidos e rendimentos econômicos produzidos. Espera-se que os rendimentos econômicos e a energia obtida através do processo produtivo superem os investimentos, o que tornaria o processo sustentável, mas muitas vezes, a despeito do otimismo envolvido, os investimentos tem sido maior do que o retorno conseguido em valor energético e econômico dos produtos, proporcionando um balanço negativo e comprometendo assim a sustentabilidade do sistema.

O balanço energético é um instrumento utilizado para se avaliar a eficiência das novas fontes de energia, com a divisão entre a energia consumida por unidade de área (insumo/ha) e a energia produzida por unidade de área (produção/ha) (CAMPOS; CAMPOS, 2004). O balanço energético é considerado como o parâmetro mais adequado para definir a viabilidade técnica de qualquer programa bioenergético (ALVES, 2007; COMITRE, 1993; URQUIAGA; ALVES; BOODEY, 2005). Os maiores fatores que determinam a viabilidade da produção de qualquer combustível são os custos econômicos e energéticos (BATCHELOR; BOOTH; WALKER, 1995). Através da mensuração do balanço energético e do balanço econômico é possível estimar os fluxos energéticos e monetários em um processo produtivo, quantificando-se todos os insumos utilizados e produzidos, os quais são transformados em unidades monetárias e de energia. Pode-se assim identificar a demanda total e eficiência obtida, refletida pelo ganho através do rendimento líquido e pela relação saída/entrada, fornecendo parâmetros utilizados para mensurar, interpretar e subsidiar a tomada de decisões num sistema agrícola. De acordo

com Comitre (1993), o balanço positivo é altamente dependente do rendimento da cultura e do menor consumo de nitrogênio fertilizante, e por isso, para aumentar os índices dos balanços, as alternativas seriam aumentar a produtividade juntamente com o aperfeiçoamento da utilização de fertilizantes nitrogenados por meio de técnicas que reduzam a utilização destes, visto que dentre os nutrientes fornecidos por adubação química, os nitrogenados são os que representam os maiores correspondentes em energia por kg de fertilizante.

Muitos trabalhos têm demonstrado diferentes resultados em termos de balanço energético para uma mesma cultura, o que pode ser explicado pelas diferenças nos sistemas de produção adotados, nas tecnologias utilizadas para a produção dos biocombustíveis, na eficiência da utilização de energia na fabricação dos fertilizantes, nas doses de fertilizantes aplicados na fase de preparo do solo, na avaliação dos coprodutos produzidos e nos índices energéticos utilizados nos cálculos de conversão. Os quadros 3 e 4 apresentam diversos índices de balanços energéticos referentes a diferentes cultivos utilizados como matérias primas na obtenção de biodiesel e etanol, obtidos em diferentes trabalhos.

Quadro 3: Balanço energético para a produção de biodiesel a partir de diferentes fontes

Cultivo	Índice de Balanço energético	Referências
Canola	4,68	Unakitan, Hurma e Yilmaz (2010)
Canola	2,19	Gazzoni et al. (2009)
Dendê	4,60	Gazzoni et al. (2008)
Girassol	2,37	Gazzoni et al. (2005)
Girassol	4,51	Kallivroussis, Natsis e Papadakis (2002)
Mamona	1,85	Almeida Neto et al. (2004)
Mamona	1,52	Braga, Khan e Mera (2008)
Mamona	1,28	Chechetto, Siqueira e Gamero (2010)
Nabo Forrageiro	8,44	Siqueira, Gamero e Boller (2008)
Soja	0,81	Sheehan et al. (1998)
Soja	4,75	Gazzoni et al. (2005)
Soja	7,81	Assenheimer, Campos e Gonçalves Júnior (2009)
Soja	5,44	Melo et al. (2007)

Quadro 4: Balanço energético para a produção de etanol a partir de diferentes fontes

Cultivo	Índice de Balanço energético	Referências
Batata-doce	6,58	Souza et al. (2008)
Batata-Doce	5,18	Viana (2009)
Cana de açúcar	1,09	Salla (2008)
Cana de açúcar	10,53	Viana (2009)
Mandioca	1,76	Salla (2008)
Milho	0,78	Pimentel e Patzek (2005)
Milho	1,34	Shapouri, Duffield e Wang (2002)
Milho	1,19	Salla et al. (2010)
Milho	3,97	Viana (2009)
Milho	4,10	Freitas, Oliveira e Fredo (2006)
Milho	1,71	Echer (2007)
Milho	4,65	Melo et al. (2007)
Milho	1,19	Salla (2008)

Diferentes estudos realizados no exterior apontam para balanços energéticos negativos para a produção de biocombustíveis a partir de diferentes fontes. Pimentel e Patzek (2005) calcularam que são investidos aproximadamente 6.597 kcal de energia fóssil na produção de um litro de etanol de milho nos Estados Unidos, o que tornaria esta produção inviável, visto que um litro de etanol tem o valor energético de 5.130 kcal, o que resultaria em um balanço energético negativo de 0,78, desconsiderando-se ainda os gastos com o transporte deste produto. Da mesma forma, Sheehan et al. (1998) encontraram um saldo negativo na conversão de soja em biodiesel, onde para obter 0,81 kcal de biodiesel foram gastos 1 kcal de energia fóssil. No entanto pesquisas realizadas posteriormente contrariam os balanços negativos apresentados, como os resultados obtidos por Salla et al. (2010), Shapouri, Duffield e Wang (2002) e Viana (2009), os quais encontraram índices de balanço energético para a conversão de milho em etanol de 1,34; 1,19 e de 5,29 respectivamente. Trabalhos realizados por Assenheimer, Campos e Gonçalves Júnior (2009) e Gazzoni et al. (2005) encontraram índices de balanço energético para conversão de soja em biodiesel de 4,75 e de 7,81 respectivamente.

São escassas as pesquisas que indicam a sustentabilidade da produção dos respectivos biocombustíveis através das culturas de batata-doce, canola e nabo-forrageiro no sul de Minas Gerais, e por isso, o objetivo com este trabalho foi o de verificar a viabilidade para a produção dos biocombustíveis obtidos através do processamento dessas culturas, utilizando-se como ferramentas o balanço energético e o balanço econômico.

2.4 Estimativa do balanço energético e econômico

Energia e produção de alimentos estão diretamente relacionadas, de modo que qualquer impacto nos custos do petróleo transmite-se ao longo de toda a cadeia alimentar (CAMPOS; CAMPOS, 2004). Para se estimar o balanço

energético e econômico para uma determinada cultura, devem ser mensurados todos os *inputs* investidos no processo de produção, como operações mecanizadas, mão de obra, insumos e fase industrial. Os *outputs* considerados serão àqueles relativos à quantidade de energia e de rendimentos monetários provenientes dos produtos produzidos. A eficiência energética ou econômica poderá ser calculada então pela relação produção (*outputs*) e consumo (*inputs*). Nos cálculos, as diversas atividades empregadas no sistema produtivo de cada cultura (*inputs*) são divididas em fases agrícola e industrial. Na fase agrícola, são estimadas as operações mecanizadas e as operações manuais investidas, bem como todos os insumos utilizados de acordo com as recomendações técnicas de manejo para cada cultura. Na fase industrial são contabilizadas as fases dos processos que irão transformar a matéria prima obtida na fase agrícola no biocombustível. Para cada *input* investido existe um correspondente energético, que se refere a certa quantidade de energia (kcal) investida em cada unidade consumida no processo. Os correspondentes energéticos estão amplamente disponibilizados na literatura, e neste trabalho foram calculados a partir da metodologia sugerida por Ulbanere (1988), na qual a energia investida é dividida em energia direta e energia indireta. A energia direta é aquela consumida diretamente, ou seja, é aquela aplicada diretamente na forma que é apresentada, em forma de combustíveis, graxas e lubrificantes. A energia indireta é aquela embutida nas operações, referente ao conteúdo da energia total embutida diretamente na operação. No grupo de energia direta, geralmente o óleo diesel é o principal responsável pelo consumo energético, enquanto no grupo de energia indireta, geralmente os nutrientes são os principais responsáveis pelo consumo. No cálculo do balanço energético, os *inputs e outputs* mensurados são então relacionados aos seus respectivos correspondentes energéticos, obtendo-se assim o total de energia consumida em cada processo e o total do rendimento em energia obtido com os produtos produzidos.

Para o cálculo do balanço econômico, de forma semelhante ao balanço energético, todos os *inputs* e *outputs* do sistema produtivo são relacionados aos seus valores monetários unitários correspondentes, referentes a cada fase do processo produtivo dos respectivos biocombustíveis a partir de cada cultura em determinada localidade. Após estimar todos os *inputs* e *outputs* em cada cultivo e relacioná-los aos seus correspondentes monetários, é possível estimar o balanço econômico para cada cultura.

2.5 A canola como alternativa para a produção de biodiesel

A canola é a terceira oleaginosa mais produzida no mundo. No Brasil, cultiva-se apenas canola de primavera, da espécie *Brassica napus* L. var. *oleifera*, que foi desenvolvida por melhoramento genético convencional da colza. Na Europa, o óleo de canola é o mais utilizado para produção de biodiesel e constitui padrão de referência nesse setor do agronegócio europeu. Além de sua utilização como biodiesel, o óleo de canola também é considerado indicado na alimentação humana, sendo considerado um alimento saudável por apresentar grandes quantidades de ômega 3, vitamina E, gorduras mono-insaturadas e o menor teor de gorduras saturadas (TOMM, 2007).

A cultura da canola é reconhecida por diversos autores de diferentes nacionalidades como tendo potencial para a produção de óleo e posteriormente de biodiesel (GAZZONI et al., 2009; GARAVAND; ASAKEREH; HAGHANI, 2010; ISSARIYAKUL; DALAI, 2010; KOÇAK; ILERI; UTLU, 2007; RUSTANDI; WU, 2010; THAMSIRIROJ; MURPHY, 2010), principalmente por possuir elevado teor de óleo em suas sementes. Como a produção europeia de canola não atende à demanda de consumo, surge assim mais uma oportunidade para o Brasil se inserir em um novo mercado de âmbito internacional (TOMM, 2006). A canola pertence à família das brássicas, a

mesma família do repolho, couve flor, couve comum, nabo forrageiro, entre outras. Variedades originais de canola, denominadas colza, possuíam altos teores de ácido erúico e glicosinatos, o que tornava seu óleo impróprio para o consumo humano, e por isso era destinado quase que exclusivamente para a produção de biodiesel. Trabalhos de melhoramento genético levaram ao desenvolvimento de novas variedades, com menores quantidades dessas substâncias indesejáveis (GARAVAND; ASAKEREH; HAGHANI, 2010), e que receberam a denominação de canola.

No Brasil, os grãos produzidos têm apresentado em torno de 38% de óleo e são destinados à alimentação humana, na fabricação de farelo para nutrição animal e em demanda crescente para a produção de biodiesel. (TOMM et al., 2009). A experiência de agricultores do Rio Grande do Sul indicou que o cultivo de canola em rotação com o trigo reduz a ocorrência de doenças, contribuindo para que o trigo semeado no inverno seguinte tenha maior produtividade. A partir de trabalhos realizados em cinco locais de Goiás, em 2003, obtiveram-se produtividades de 2.100 a 2.400 kg/ha, produtividades médias semelhantes às obtidas na tradicional região produtora situada entre o Rio Grande do Sul e o Paraná (PERES; FREITAS JUNIOR; GAZZONI, 2005), o que aponta a cultura como uma das principais alternativas para as regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil.

Assim, a canola se apresenta como uma das opções mais indicadas para a diversificação de culturas agrícolas e geração de renda através da produção de grãos e biodiesel no Brasil, mas ainda existe grande necessidade de investimentos em tecnologias de produção e na familiarização dos agricultores com o cultivo, o que pode contribuir decisivamente para elevar as produtividades médias obtidas (TOMM, 2005).

2.6 O nabo forrageiro como alternativa para a produção de biodiesel

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) também pertence à família das brássicas, como a canola. É uma planta herbácea, ereta, muito ramificada, anual, de inverno, e está entre as mais antigas espécies usadas na produção de óleo. Pode ser cultivado em diferentes regiões climáticas, sendo resistente a geadas tardias. Seu sistema radicular é pivotante, atingindo mais de 2 metros de profundidade, sendo uma cultura considerada altamente rústica, pois se desenvolve em solos relativamente pobres. A altura da planta varia de 1,00 m a 1,80 m e, devido ao rápido crescimento, compete fortemente com as ervas daninhas, contribuindo assim com a economia de herbicidas ou com a redução das capinas (VALLE, 2009).

O nabo forrageiro geralmente é cultivado no Brasil como cobertura de solo, porém tem-se aumentado o interesse no aproveitamento de suas sementes para produção de óleo e posteriormente para a produção de biodiesel (FERRARI; REGITANO-D'ARCE; RIBEIRO, 2005b). Por ser uma cultura rústica, são raras as pragas e doenças que mereçam controle; seu óleo é de fácil extração e pode atingir um teor de até 56% nas sementes. Por essas razões, este cultivo é indicado também como potencial fonte para se produzir biodiesel (DAMBISKI, 2007; FERRARI; REGITANO-D'ARCE; RIBEIRO, 2005b; VALLE, 2009).

A massa foliar do nabo forrageiro é bastante utilizada na adubação verde principalmente por apresentar elevada capacidade de reciclagem de nutrientes como o nitrogênio e o fósforo no solo. É uma cultura indicada para a rotação de culturas, como cobertura do solo durante o inverno e, eventualmente, para a alimentação animal (DAMBISKI, 2007). Outro benefício é observado com a utilização da torta gerada como coproduto da fabricação do biodiesel de nabo

forrageiro na alimentação animal, a qual apresenta esse potencial principalmente em virtude de seu alto teor de proteína (BRUNELLI et al., 2007).

Recentemente, algumas indústrias de etanol do estado de São Paulo demonstraram interesse pelo uso do nabo forrageiro na renovação dos seus canaviais, devido às propriedades da planta já mencionadas, mas ainda há carência de estudos que avaliem a viabilidade energética e econômica da produção de biodiesel a partir dessa cultura (RIOS, 2008).

2.7 A batata-doce como alternativa para a produção de etanol

O Brasil possui grande potencial para produção de etanol, a partir da cana-de-açúcar, e, futuramente, com outras fontes a serem consolidadas ou pesquisadas, como no caso da batata-doce (*Ipomoea batatas* L.). O etanol pode ser produzido a partir de várias matérias-primas agrícolas, desde que contenham carboidratos passíveis de serem fermentados (açúcares e amido).

Dentre as culturas amiláceas, a batata-doce, é considerada com potencial para produzir etanol, por ser uma amilácea rústica, com baixo custo de produção e ampla adaptação climática (MOMENTÉ et al., 2004). A batata-doce é uma cultura adaptada às condições tropicais e subtropicais e com grande potencial para o desenvolvimento tecnológico, sendo originária das regiões tropicais da América Central e do Sul. A cultura apresenta múltiplos usos, seja pela utilização de suas raízes na alimentação humana e na produção de etanol, seja com suas ramas, na alimentação animal.

Devido à imensa variabilidade genética apresentada e a facilidade de reprodução assexuada através de estacas, a cultura da batata-doce permite programas de melhoramento genético com os mais variados objetivos, como na seleção e obtenção de clones mais resistentes a pragas e doenças, clones mais produtivos, raízes com maior teor de amido para a produção de etanol, maior qualidade nutricional para a alimentação humana, maior produção de ramas para

a alimentação animal, etc (CARVALHO et al., 2010; GONÇALVES et al., 2010; GONÇALVES-NETO, 2010; MARCHESE et al., 2010; MASSAROTO et al., 2010).

No final da década de 1970, a batata-doce já tinha sido avaliada como matéria prima para a produção de etanol, tendo sido obtido rendimento médio de 158 litros de etanol por tonelada de raízes (SILVEIRA, 2008). Porém, Araújo et al. (1979) observaram que a baixa produtividade de raízes (11 a 13 t ha⁻¹) foi o principal fator restritivo para a recomendação desta como fonte alternativa para a produção de etanol no Brasil. Os autores desconsideraram, no entanto, o fato de que as baixas produtividades refletiam o baixo nível tecnológico empregado na cultura, na qual sequer as boas práticas agronômicas já recomendadas (MIRANDA et al., 1995) são adotadas.

Devido à imensa região geográfica do Brasil e a grande variabilidade genética apresentada pela batata-doce, torna-se necessário identificar as melhores cultivares para os diversos fins em determinadas regiões do país. No início da década de 1980, a Embrapa resgatou e identificou alguns materiais genéticos que demonstraram produtividade superior a 25 toneladas/ha, e foram lançados como cultivares Brazlândia Roxa, Brazlândia Branca, Brazlândia Rosada e Coquinho (MIRANDA et al., 1995).

Em um estudo para se avaliar o potencial produtivo de clones de batata-doce pertencentes ao banco da Universidade Federal de Lavras, foram obtidos índices de produtividades superiores a 80 t ha⁻¹ de raízes (GONÇALVES et al., 2010; GONÇALVES-NETO, 2010). Considerando esta produtividade e um rendimento potencial de 158 litros de etanol por tonelada de raízes (SILVEIRA, 2008), seria possível obter-se 12.640 litros de etanol por hectare a partir da cultura da batata-doce, rendimento muito superior ao de 6.000 litros de etanol obtido por hectare de cana de açúcar (JOHNSTON et al., 2009). Esses dados demonstram claramente o potencial produtivo da batata-doce e coloca essa

cultura no pálio das potenciais para produção de etanol, visto que a cana de açúcar é considerada a cultura padrão para a indústria alcooleira no Brasil. Deve-se também considerar que o ciclo da batata-doce é relativamente curto (cerca de 6 a 7 meses) se comparado com a da cana (12 a 18 meses), ficando evidente o potencial da batata-doce para produção de etanol frente à cana de açúcar.

O cultivo da batata-doce também pode apresentar grande benefício socioeconômico e ambiental. A cultura não é em geral queimada como a cana, o que reduz as taxas de dióxido de carbono liberados para a atmosfera. Os benefícios socioeconômicos podem ser adquiridos por meio do incentivo de produção para os pequenos agricultores, pois de acordo com Gonçalves-Neto (2010), a cultura é ideal para as pequenas propriedades, uma vez que representa uma cultura de baixos custos e com alta produtividade potencial.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. 2011. Resolução ANP n. 7, de 19 de março de 2008. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 20 mar. 2008. Disponível em:
<[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2008/mar%C3%A7o/ranp%207%20-%202008.xml?f=templates\\$fn=document-frame.htm\\$3.0\\$qs=\\$x=\\$nc=8430](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2008/mar%C3%A7o/ranp%207%20-%202008.xml?f=templates$fn=document-frame.htm$3.0$qs=$x=$nc=8430)>. Acesso em: 08 out. 2011.
- ALMEIDA NETO, J. A. et al. Balanço energético de ésteres metílicos e etílicos de óleo de mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 7., 2004, Campina Grande. **Anais eletrônicos...** Campina Grande: [s.n.], 2004. Disponível em:
<http://www.uesc.br/ecodiesel/tra_completos/122Balan%E7o_Energ%E9tico_Almeida.pdf>. Acesso em: 29 out. 2009.
- ALVES, J. O. **Eco-eficiencia na produção de energia com biomassa de mamona: além do biodiesel**. 2007. 115 p. Dissertação (Mestrado em Regulação da Industria da Energia) - Universidade Salvador, Salvador, 2007.
- ARAÚJO, N. Q. et al. Batata-doce: parâmetros preliminares na tecnologia de produção de etanol. **Informativo do Instituto Nacional de Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 22, p. 17-28, maio 1979.
- ASSENHEIMER, A.; CAMPOS, A. T.; GONÇALVES JÚNIOR, A. C. Análise energética de sistemas de produção de soja convencional e orgânica. **Ambiência - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, Guarapuava, v. 5, n. 3, p. 443-445, 2009.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Estatísticas: dados relativos a 2010**. 2010. Disponível em:
<http://www.anfavea.com.br/tabelas2010/autoveiculos/tabela10_producao.xls>. Acesso em: 29 out. 2011.

BATCHELOR, S. E.; BOOTH, E. J.; WALKER, K. C. Energy analysis of rape methyl ester (RME) production from winter oilseed rape. **Industrial Crops and Products**, Elsevier, v. 4, n. 3, p. 193-202, 1995.

BRAGA, F. L. P.; KHAN, A. S.; MERA, R. D. M. Balanço econômico da produção de mamona e balanço energético da obtenção de biodiesel no estado do Ceará. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: SOBER, 2008. p. 1-19.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Matriz energética**: etanol. 2010a. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/sobre/economia/energia/matriz-energetica/biocombustiveis>>. Acesso em: 31 out. 2011.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Programa nacional de produção e uso de biodiesel**. 2010b. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/portal/saf/arquivos/view/biodisel/arquivos-2011/Biodiesel_Book_final_Low_Completo.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2011.

BRUNELLI, S. R. et al. Determinação do valor energético e nutritivo da torta do nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*) para frangos de corte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA, 17.; CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA, 9., 2007, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL, 2007. 1 CD-ROM.

CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. D. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1977-1985, 2004.

CARR, R. A. Rapessed/canola. In: WORLD CONFERENCE PROCEEDINGS EDIBLE FATS AND OILS PROCESSING: BASIC PRINCIPLES AND MODERN PRACTICES, 1., 1990, Illinois, Champaign. **Anais...** Champaign: American Oil Chemists' Society, 1990. p. 289-298.

CARVALHO, R. C. et al. Produtividade de raízes e massa verde total de clones de batata-doce. In: REUNIÃO REGIONAL DA SBPC, 1., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: [s.n.], 2010. Disponível em:

<<http://www.sbpnet.org.br/livro/lavras/resumos/625.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2012.

CHECHETTO, R. G.; SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A. Energy balance for biodiesel production by the castor bean crop. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 546-553, out./dez. 2010.

COMITRE, V. **Avaliação energética e aspectos econômicos da filière soja na região de Ribeirão Preto – SP**. 1993. 152 p. (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

DAMBISKI, L. **Síntese de biodiesel de óleo de nabo forrageiro empregando metanol supercrítico**. 2007. 94 p. (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

ECHER, F. R. Avaliação da eficiência energética e econômica em sistemas de produção de milho (*Zea mays* L.) sob manejo de base ecológica e convencional. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Guarapari, v. 2, n. 2, p. 974-977, out. 2007.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. D. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físicoquímica e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 19-23, 2005a.

FERRARI, R. A.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; RIBEIRO, F. L. F. Biodiesel de óleo de *Rhaphanus Sativus* L. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2., 2005, Lavras, MG. **Anais...** Lavras: UFLA, 2005b. p. 739-742.

FREITAS, S. M. D.; OLIVEIRA, M. D. M.; FREDO, C. E. Análise comparativa do balanço energético do milho em diferentes sistemas de produção. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIEDADE RURAL, 44., 2006, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: SOBER, 2006. p. 1-13.

GARAVAND, A. T.; ASAKEREH, A.; HAGHANI, K. Energy elevation and economic analysis of canola production in Iran a case study: Mazandaran Province. **International Journal of Environmental Sciences**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 236-242, 2010.

GAZZONI, D. L. et al. Balanço energético da cultura da canola para a produção de biodiesel. **Espaço Energia**, Curitiba, v. 11, p. 24-28, out. 2009.

GAZZONI, D. L. et al. Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel. **Biomassa & Energia**, Viçosa, MG, v. 2, n. 4, p. 259-265, 2005.

GAZZONI, D. L. et al. Balanço energético do biodiesel de dendê. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROENERGIA E SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEL, 1., 2008, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2008. 1 CD-ROM.

GONÇALVES-NETO, Á. C. **Aptidões para consumo humano, produção de etanol e alimentação animal em clones de batata-doce**. 2010. 77 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

GONÇALVES, R. J. S. et al. Potencial produtivo de clones de batata-doce oriundos de famílias de meio-irmãos em Lavras-MG. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 2, p. S2379-S2384, 2010.

ISSARIYAKUL, T.; DALAI, A. K. Biodiesel production from greenseed canola oil. **Energy & Fuels**, Washington, v. 24, p. 4652-4658, Apr. 2010.

JOHNSTON, M. et al. Resetting global expectations from agricultural biofuels. **Environmental Research Letters**, [S.l.], v. 4, p. 1-10, Mar. 2009.

KALLIVROUSSIS, L.; NATSIS, A.; PAPADAKIS, G. The energy balance of sunflower production for biodiesel in greece. **Biosystems Engineering**, London, v. 81, n. 3, p. 347-354, 2002.

KNOTHE, G.; DUNN, R. O.; BAGBY, M. O. Biodiesel: the use of vegetable oils and their derivatives as alternative diesel fuels. In: SAHA, B. C.; WOODWARD, J. (Ed.). **Fuels and chemicals from biomass**. Washington: American Chemical Society, 1997. cap. 10, p. 172-208. (ACS Symposium Series, 666). Disponível em: <<http://naldc.nal.usda.gov/download/26435/PDF>>. Acesso em: 10 nov. 2011.

KOÇAK, M. S.; ILERI, E.; UTLU, Z. Experimental study of emission parameters of biodiesel fuels obtained from canola, hazelnut, and waste cooking oils. **Energy & Fuels**, Washington, v. 21, n. 6, p. 3622-3626, 2007.

KORBITZ, W. Biodiesel production in Europe and North America, an encouraging prospect. **Renewable Energy**, Oxford, v. 16, p. 1078-1083, Jan./Apr. 1999.

LEITE, R. C. D. C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. **Novos Estudos**, São Paulo, v. 78, p. 15-21, jul. 2007.

MARCHESE, A. et al. Seleção de clones de batata-doce resistentes a meloidogyne incognita raça 1. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 9, p. 997-1004, set. 2010.

MASSAROTO, J. A. et al. Reação de clones de batata-doce ao meloidogyne incognita raça 1. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta, v. 8, n. 1, p. 1-8, 2010.

MELO, D. et al. Balanço energético do sistema de produção de soja e milho em uma propriedade agrícola do Oeste do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 173-178, 2007.

MIRANDA, J. E. C. et al. **A cultura da batata-doce**. Brasília: Embapa/CNPQ, 1995. 94 p.

MOMENTÉ, V. V. R. et al. Desenvolvimento de cultivares de batata-doce no estado do Tocantins, visando à produção de álcool, como fonte alternativa de energia para as condições tropicais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 340-342, jul. 2004. Suplemento.

OLIVEIRA, A. B. et al. Synthesis and characterization of new bivalent tin chelate of 3-hidroxy-2-methyl-4-pyrone and its use as catalyst for polyesterification. **Polymer Bulletin**, Berlin, v. 45, p. 341-344, Dec. 2000.

PAULILLO, L. F. et al. Álcool combustível e biodiesel no Brasil: quo vadis. **Revista de Economia & Sociologia Rural (RER)**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 3, p. 531-565, ago. 2007.

PERES, J. R. R.; FREITAS JUNIOR, E. D.; GAZZONI, D. L. Biocombustíveis: uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 14, n. 1, p. 31-41, jan./mar. 2005.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**, New York, v. 14, n. 1, p. 65-76, Mar. 2005.

PIRES, A.; SCHECHETMAN, R. **Análise de preços de combustíveis e de políticas internacionais para promoção de biocombustíveis**. 2009. Disponível em: <http://www.unica.com.br/downloads/estudosmatrizenergetica/pdf/Matriz_Internacional_Pires7.pdf>. Acesso em: 31 out. 2011.

RIOS, M. Nabo forrageiro é opção na reforma de canaviais. **Anuário JornalCana: Produção, Dados & Notícias**. 2008. Disponível em: <<http://www.jornalcana.com.br/noticia/Jornal-Cana/16252+Nabo-forrageiro-e-opcao-na-reforma-de-canaviais>>. Acesso em: 17 nov. 2012.

RODRÍGUEZ, A. C. et al. Producción científica mundial sobre biodiesel. **ACIMED**, La Habana, v. 18, n. 5, 2008. Disponível em:

<http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352008001100004&lng=es&nrm=iso>. Acesso em: 17 nov. 2012.

RUSTANDI, F.; WU, H. Biodiesel production from canola in Western Australia energy and carbon footprints and land, water, and labour requirements.

Industrial & Engineering Chemistry Research, Texas, v. 49, n. 22, p. 11785-11796, 2010.

SALLA, D. A. **Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho**. 2008. 168 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2008.

SALLA, D. A. et al. Estudo energético da produção de biocombustível a partir do milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 9, p. 2017-2022, 2010.

SHAPOURI, H.; DUFFIELD, J. A.; WANG, M. **The energy balance of corn ethanol: an update**. Washington: Office of Energy and New Uses, 2002. 14 p. (Agricultural Economics Report, 813).

SHEEHAN, V. et al. **An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles**. [S.l.]: NREL - DOE, 1998. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/npbf/pdfs/24772.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2012.

SHIKIDA, P. F. A.; BACHA, C. J. C. Evolução da agroindústria canavieira brasileira de 1975 a 1995. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 53, n. 1, p. 69-89, jan./mar. 1999.

SILVEIRA, M. A. Batata-doce: uma nova alternativa para a produção de etanol. In: INSTITUTO EUVALDO LODI. **Álcool combustível**. Brasília: IEL, 2008. p. 109-122.

SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A.; BOLLER, W. Energetic balance from biodiesel production of oilseed radish (*Raphanus sativus* L.). In:

INTERNACIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 12., 2008, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: CIGR, 2008. 1 CD-ROM.

SOUZA, J. L. et al. Balanço e análise da sustentabilidade energética na produção orgânica de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 433-440, out./dez. 2008.

SOUZA, R. D. **Análise da conjuntura agropecuária safra 2008/09: biodiesel**. 2008. Disponível em:
<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/biodiesel_0809.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2012.

THAMSIRIROJ, T.; MURPHY, J. D. Can rape seed biodiesel meet the European Union sustainability criteria for biofuels? **Energy & Fuels**, Washington, v. 24, p. 1720-1730, Feb. 2010.

TOMM, G. O. Canola: alternativa de renda e benefícios para os cultivos seguintes. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 15, n. 94, p. 4-8, jul./ago. 2006.

TOMM, G. O. et al. **Panorama atual e indicações para aumento de eficiência da produção de canola no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 27 p. (Embrapa Trigo. Documentos online, 118). Disponível em:
<http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do118.htm>. Acesso em: 17 nov. 2012.

TOMM, G. O. **Sistemas de produção Embrapa trigo: indicativos tecnológicos para produção de canola no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo, RS, 2007. Disponível em:
<http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/canola/p_sp03_2007.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2011.

TOMM, G. O. **Situação em 2005 e perspectivas da cultura de canola no Brasil e em países vizinhos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2005. 21 p. (Embrapa Trigo. Documentos online, 118). Disponível em:
<http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp26.htm>. Acesso em: 17 nov. 2012.

ULBANERE, R. C. **Análise dos balanços energético e econômico relativa à produção e perda de grãos de milho no Estado de São Paulo**. 1988. 127 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1988.

UNAKITAN, G.; HURMA, H.; YILMAZ, F. An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. **Energy**, Elsevier, v. 35, p. 3623-3627, June 2010.

UNITED NATIONS. **Kyoto Protocol to the United Nations framework convention on climate change**. 1998. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2011.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BOODEY, R. M. Produção de biocombustíveis, a questão do balanço energético. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 14, n. 5, p. 42-46, 2005.

VALLE, P. W. D. P. A. D. **Produção de biodiesel via transesterificação do óleo de nabo forrageiro**. 2009. 183 p. Tese (Doutorado em Ciências - Química) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

VIANA, L. D. D. S. **Estimativa do balanço energético e econômico das culturas de batata-doce, cana-de-açúcar e milho nas condições brasileiras para produção do etanol**. 2009. 47 p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

ARTIGO 1

Balço energético e econômico para as culturas da canola e nabo-forrageiro visando à produção de biodiesel

RESUMO

O objetivo do trabalho foi estimar o balanço energético e econômico (razão *output/input*) para as culturas da canola e nabo forrageiro, nas condições brasileiras, para a produção de biodiesel. A energia fóssil dispendida na produção de 600 kg de óleo de canola e de 540 kg de óleo de nabo forrageiro por hectare foi de 7.146.537 kcal e de 5.285.045 kcal respectivamente. O rendimento energético estimado por hectare foi de 9.930.000 kcal a partir da produtividade de 1.500 kg/ha de grãos de canola (40% de óleo e 60% de torta) e 8.487.900 kcal a partir de 1.200 kg/ha de grãos de nabo forrageiro (45% de óleo e 55% de torta), resultando em valores do balanço energético de 1,39 e 1,61 respectivamente. Os investimentos monetários totais na fase agrícola de produção foram aproximadamente de R\$ 1.048,13 e R\$ 646,5 por hectare, respectivamente. Em contrapartida, os rendimentos monetários foram aproximadamente de R\$ 2.025,00 e de R\$ 1.440,00, resultando em índices de balanço econômico de 1,93 e 2,23, respectivamente. Os resultados indicam a viabilidade da produção dos biocombustíveis a partir das respectivas culturas, mas demonstram também necessidade de aperfeiçoamento das tecnologias empregadas para que se aumentem os índices dos balanços energéticos e econômicos.

Termos para indexação: *Raphanus sativus L.*, *Brassica napus L. var. oleifera*, biocombustível, balanço energético.

ARTICLE 1

Energetic and economic balance of biodiesel production based on canola and oilseed rape crops

ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the energetic and economic balance (output/input ratios) of the canola and oilseed rape crops for biodiesel production under Brazilian conditions. Fossil energy expended in the production of 600 kg canola oil and 540 kg rapeseed oil per hectare was 7.146.537 kcal and 5.285.045 kcal respectively. The oil yields were obtained from grain yields of 1500 kg/ha for canola (40% oil, 60% meal) and 1200 kg/ha for oilseed rape (45% oil, 55% meal). Energy yields per hectare were estimated in 9.930.000 kcal for canola and 8.487.900 kcal for oilseed rape, resulting in energy balance values for biodiesel production of 1.39 and 1.61, respectively. Total money expenditures in the agricultural phase were R\$ 1.048,13 and R\$ 646,5 per hectare, respectively, for canola and oilseed rape. Earnings for canola and oilseed rape were R\$ 2.025,00 and R\$ 1.440,00 per hectare, resulting in economic balances of 1.93 and 2.23, respectively. The indices obtained indicate that it is feasible to produce biofuels from respective cultures, but also demonstrate that investment in improved technologies may be necessary if these crops are to be considered competitive with other feedstocks.

Index terms: *Raphanus sativus* L., *Brassica napus* L. var. *oleifera*, biofuel, energy balance.

1 INTRODUÇÃO

As principais matrizes energéticas mundiais são compostas de fontes não renováveis de carbono fóssil, como petróleo (35%), carvão (23%) e gás natural (21%), existindo grande possibilidade de escassez dessas fontes nas próximas décadas (Souza, 2008). A produção global de biodiesel cresceu muito nos últimos anos, e existe uma crescente tendência de que os biocombustíveis substituam gradualmente os combustíveis fósseis (Garcez & Vianna, 2009).

A despeito do otimismo envolvido, com frequência a quantidade de energia investida num sistema produtivo tem sido maior do que o retorno conseguido em valor energético dos produtos, proporcionando um balanço negativo, o que compromete assim a sustentabilidade do sistema (Pimentel & Patzek, 2005; Sheehan et al. 1998). Por isso, vários estudos têm sido elaborados com objetivo de avaliar a eficiência das novas fontes de energia renovável, para que seja possível verificar a viabilidade econômica e energética da produção do biocombustível, utilizando como instrumento o balanço energético, que é definido por Campos (2004) como a razão entre a energia produzida por unidade de área (produção/ha) e a energia consumida por unidade de área (insumo/ha).

Embora a principal cultura utilizada na obtenção de biodiesel no Brasil seja a soja (Kohlhepp, 2010), pelo menos duas outras podem ser consideradas com potencial para esta finalidade nas regiões central, sudeste e sul do Brasil – a canola e o nabo forrageiro.

A colza/canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) é considerada uma importante matéria-prima para a produção de biodiesel devido ao alto teor de óleo no grão (40% a 46%). No Brasil essa cultura constitui uma excelente opção de cultivo, com a destinação a óleos para a alimentação humana bem como para fins agroenergéticos, visando principalmente à exportação à Europa e outros países com invernos muito rigorosos (Tomm et al., 2009). As sementes de nabo-

forageiro (*Raphanus sativus* L.) são constituídas por alto teor de óleo (40% a 56%), o qual, tal como na colza, pode ser extraído de forma eficiente por simples prensagem a frio, e por isso essa cultura é apontada como interessante matéria-prima para a produção de biodiesel, além de que possui baixo custo de produção (Domingos et al., 2007; Valle, 2009).

O objetivo com este trabalho foi estimar o balanço energético e econômico para as culturas da colza/canola e nabo-forrageiro, nas condições brasileiras, para a produção de biodiesel, inseridas em suas respectivas cadeias produtivas. Tal estimativa foi analisada por meio da relação entre a energia e os custos investidos na produção do combustível (inputs), e a energia e rendimentos produzida na sua combustão (outputs), os quais são indicadores importantes da viabilidade econômica, energética e ambiental para a produção do biodiesel, sendo possível conhecer os principais fatores que limitam o aumento do índice do balanço energético para as determinadas culturas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para os cálculos de balanço energético e econômico das culturas de canola (*Brassica napus* L. var. *oleifera*) e do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.), as diversas atividades empregadas no sistema produtivo de cada cultura foram divididas em fases agrícola e industrial. Na fase agrícola, foram estimadas as operações mecanizadas e as operações manuais investidas, bem como todos os insumos utilizados (Tabelas 3 e 4), de acordo com as recomendações técnicas de manejo para cada cultura (Batchelor et al., 1995, Brasi et al., 2008, Dambiski, 2007, Domiciano & Santos, 1996, Freitas et al., 2006, Garavand et al., 2010, Mello, 1989, Soares et al., 2007, Pimentel & Patzek, 2005, Siqueira et al., 1999, Tomm, 2004, 2007, 2009). As produtividades obtidas nesta fase com as duas culturas foram obtidas através de experimentos conduzidos em propriedade rural no município de Itumirim-MG (latitude 21°16'35"S, longitude 44°49'34"W), no período de 2009 a 2010.

Em média, semearam-se 4 kg de sementes de canola por hectare. Para a cultura do nabo forrageiro, foram semeadas em média de 7 kg de sementes por ha. Para a nutrição da cultura da canola foram aplicados 200 kg de formulado N-P-K (4-30-16), 100 kg de Sulfato de Amônia e 71 kg de Ureia, esperando-se rendimento de grãos de até 1.500 kg/ha (TOMM, 2007, 2009). O nabo forrageiro é uma cultura que tem maior capacidade na ciclagem dos nutrientes, sendo mais resistente a solos pobres, assim, nesse cultivo foram aplicados 100 kg do formulado N-P-K (4-30-16), esperando-se um rendimento de 1200 kg/ha. A maior diferença entre os investimentos com as operações mecanizadas entre as culturas ocorreu principalmente porque não foram necessárias as operações de pulverização de herbicida e aplicação de inseticidas nos cálculos dos balanços para a cultura do nabo forrageiro.

Na fase industrial, foram contabilizadas as operações de extração do óleo, refino e transesterificação para obtenção do biodiesel, obtendo-se os rendimentos estimados em forma de óleo e torta, aos quais os custos totais energéticos investidos na produção foram então relacionados. Para a extração do óleo, as sementes foram submetidas à prensagem a frio em prensa do tipo expeller na usina de biodiesel da Universidade Federal de Lavras. Para as operações de refino e transesterificação, foram considerados os dados de Batchelor et al. (1995). Nesta fase, foram considerados os rendimentos obtidos através do óleo e da torta produzidos. Para a estimativa do balanço energético para as culturas, foram considerados todos os inputs investidos no processo de produção dos grãos e do óleo: operações mecanizadas, mão de obra, insumos e fase industrial (Tabelas 1, 3 e 4). Os outputs considerados foram àqueles relativos à quantidade de energia proveniente dos produtos produzidos (Tabela 1, 3 e 4). A eficiência energética foi calculada pela relação energia produzida (outputs) e consumida (inputs) (Tabelas 3, 4 e 6).

Os gastos consumidos nas operações mecanizadas foram estimados considerando-se a energia direta (combustíveis, mão de obra, fertilizantes e defensivos) e a energia indireta (tratores e implementos) investidas no processo produtivo de cada cultura.

Os inputs e outputs energéticos foram então relacionados aos seus respectivos correspondentes energéticos (Tabela 1), obtendo-se assim o total de energia consumida em cada processo e o total do rendimento em energia obtido com o óleo e a torta produzidos (Tabelas 3, 4 e 6). Após o cálculo do total de energia consumida e produzida, foi possível estimar o balanço energético para cada cultura estudada (Tabelas 3, 4 e 6).

Para a estimativa do balanço econômico para as culturas, foi adotada a análise do custo de produção da fase agrícola por hectare, o que possibilita uma visão geral dos resultados de uma atividade, atendendo aos objetivos deste

trabalho. Após estimar todos os inputs em cada cultivo e relacioná-los aos seus correspondentes monetários relativos ao preço de mercado da região de Lavras-MG referentes ao segundo semestre de 2011, foi possível o cálculo do balanço econômico para as culturas (Tabelas 2 e 5).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O total estimado de energia fóssil inserida na produção de 600 kg de óleo de canola e de 540 kg de óleo de nabo forrageiro por hectare foi de 7.146.537 kcal e de 5.285.045 kcal respectivamente. Estes rendimentos em óleo foram obtidos a partir dos dados da Tabela 1, considerando-se que para a canola a produtividade média obtida em grãos foi de 1.500 kg/ha (sendo 40% de óleo e 60% de torta) e para o nabo forrageiro a produção foi de 1.200 kg/ha (sendo em média 45% de óleo e 55% de torta).

Os valores dos balanços energéticos estimados para a produção de biodiesel a partir das culturas de canola e nabo forrageiro foram de 1,39 e 1,61 respectivamente. Isto significa que para cada 1 kcal de energia investida em cada sistema de produção, produz-se 1,39 kcal com a cultura da canola e 1,61 kcal com a cultura do nabo forrageiro. Este rendimento energético foi estimado a partir da energia total produzida por cada cultura, contabilizadas 9.930.000 kcal/ha produzidos a partir da cultura da canola e 8.487.900 kcal/ha produzidos a partir da cultura do nabo forrageiro (Tabelas 3 e 4) considerando-se os valores para o óleo e torta produzidos.

Na produção de biodiesel a partir da canola, a fase agrícola representou aproximadamente 63% de toda a energia investida, sendo que os insumos corresponderam em maior parcela, aproximadamente 25%. O nitrogênio sozinho representou 13,65 % da energia consumida (Tabela 3). O restante da energia investida na etapa agrícola foi resultante da mão de obra, combustível diesel e operações mecanizadas, que representaram respectivamente 22,97, 7,50 e 7,23% de toda a energia investida na produção (Tabela 3). A etapa industrial representou aproximadamente 37% da energia total investida no processo produtivo do óleo a partir dessa cultura (Tabela 4).

Na produção de óleo a partir do nabo forrageiro, a fase agrícola representou em média 50% da energia total investida no processo produtivo (Tabela 3), quantidade de energia menor se comparada à cultura da canola (63%), o que se justifica por não serem necessárias às operações de pulverização de herbicidas e inseticidas nessa cultura, e principalmente pelo fato de que, por ser uma cultura que possui boa ciclagem dos nutrientes do solo, uma menor dosagem de fertilizantes foi suficiente para suprir suas necessidades nutricionais. Os insumos representaram somente 7,43% da energia total investida (Tabela 3). A mão de obra, óleo diesel e operações mecanizadas representaram 30,03, 7,12 e 5,44% respectivamente (Tabela 3). A parcela da energia investida na etapa industrial representou aproximadamente 50% da energia total investida no processo produtivo (Tabela 4).

Os investimentos monetários totais na fase agrícola de produção de 1 hectare das culturas de canola e nabo forrageiro foram aproximadamente de R\$ 1.048,13 e R\$ 646,5 respectivamente (Tabela 5). Em contrapartida, os rendimentos monetários para as culturas de canola e nabo forrageiro foram aproximadamente de R\$ 2.025,00 e de R\$ 1.440,00, o que resulta num índice de balanço econômico de 1,93 e 2,23 respectivamente (Tabela 5). Isto indica que para cada real investido em cada cultura, rende-se 1,93 e 2,23 reais com a produção de grãos na cultura da canola e do nabo forrageiro (Tabela 5) - resultados que indicam a viabilidade econômica destas culturas para fins energéticos, apesar de os índices de balanço energético obtidos serem relativamente baixos.

Na cultura da canola, os maiores gastos foram investidos com os insumos, que representaram 50,67% do custo total de produção (Tabela 5). As operações mecanizadas representaram aproximadamente 36,45% do total e a mão de obra representou 12,88% dos custos totais de produção para essa cultura (Tabela 5).

Na cultura do nabo forrageiro, os maiores gastos foram investidos com as operações mecanizadas, que representaram 49,81% dos custos totais investidos no sistema de produção. Os insumos representaram 30,01%, e a mão de obra 20,19% do investimento monetário total nesse sistema produtivo (Tabela 5).

Os índices positivos para os balanços econômicos em ambas as culturas demonstram que os investimentos monetários seriam recuperados com boa margem de lucro por meio dos rendimentos em grãos obtidos a partir da fase agrícola de produção. Porém, a viabilidade da produção de biodiesel é discutível quando os índices dos balanços energéticos obtidos, apesar de representarem relevantes rendimentos, são comparados aos índices energéticos obtidos por outros trabalhos já realizados com as mesmas culturas, e também em trabalhos realizados com a soja, cultura considerada piloto na produção de biodiesel no Brasil. Unakitan (2010) obteve um índice de 4,68 para o balanço energético a partir da produtividade média de 3.099,89 kg/ha de grãos de canola, rendimento médio obtido considerando-se apenas o valor energético embutido por kg de grãos produzidos. Siqueira et al. (2008) obteve um índice de 2,08 para o balanço energético a partir da produtividade de 700 kg/ha de grãos da cultura do nabo forrageiro, levando-se em conta somente os valores obtidos através do óleo produzido. Para a cultura da soja, Gazzoni et al. (2005) obteve um índice de balanço energético de 4,75 para uma produtividade de 4.000kg/ha considerando-se os rendimentos em energia através do óleo e da torta produzidos. Índices de produtividade obtidos com produtores de canola no Paraguai foram superiores a 2.044 kg/ha, e os materiais genéticos empregados têm potencial para atingir até 4.500 kg de grãos/ha (Tomm, 2006). Pesquisa realizada com diferentes manejos para cultura do nabo forrageiro alcançou índice máximo de produtividade de 3.165 kg/ha (Öztürk, 2010).

Em situações hipotéticas a partir das produtividades de grãos de 2.000, 3.000 e de 4.500 kg/ha de canola utilizados para a produção de biodiesel, seria possível obter os índices de balanço energético de 1,85; 2,78 e de 4,17 respectivamente (Tabela 6). Seguindo a mesma linha de raciocínio, adotando-se as produtividades de 2.000, 3.000 e de 4.500 kg/ha de grãos de nabo-forageiro, seria possível obter índices de balanço energético para a produção de biodiesel de 2,68; 4,02 e de 6,02 respectivamente (Tabela 6), em ambos os casos considerando-se os rendimentos em energia através do óleo e da torta produzidos. No geral, a produtividade obtida neste trabalho com as culturas é considerada médio-baixa. Aumentar a produtividade seria uma boa alternativa para aumentar a energia e os rendimentos produzidos pelos sistemas.

4 CONCLUSÕES

1. Os resultados indicam a viabilidade econômica e energética da produção dos biocombustíveis a partir das respectivas culturas.

2. Deve-se investir no aperfeiçoamento das tecnologias empregadas e na familiarização dos agricultores com os cultivos, e também são necessários investimentos em programas de melhoramento genético, visando obter cultivares mais adaptadas as nossas regiões de plantio, para que assim se elevem os rendimentos médios obtidos, elevando os índices dos balanços energéticos e econômicos obtidos.

REFERÊNCIAS

BATCHELOR, S. E.; BOOTH, E. J.; WALKER, K. C. Energy analysis of rape methyl ester (RME) production from winter oilseed rape. **Industrial Crops and Products**, Elsevier, v. 4, n. 3, p. 193-202, 1995.

BRASI, L. A. C. S.; DENUCCI, S.; PORTAS, A. A. Nabo - adubo verde, forragem e bioenergia. **Infobibos**, 2008. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2008_2/nabo/index.htm>. Acesso em: 12/04/2011.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Programa nacional de produção e uso de biodiesel**. 2010b. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/portal/saf/arquivos/view/biodiesel/arquivos-2011/Biodiesel_Book_final_Low_Completo.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2011.

CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. D. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1977-1985, 2004.

CHECHETTO, R. G.; SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A. Energy balance for biodiesel production by the castor bean crop. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 546-553, out./dez. 2010.

CRESTANA, S. **Matérias primas para Produção do Biodiesel: Priorizando Alternativas**. Embrapa. São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/palestras/PalestraDiretoPresidenteProducaoBiodiesel.pdf>> Acesso em: 17 de Novembro de 2012.

DAMBISKI, L. **Síntese de biodiesel de óleo de nabo forrageiro empregando metanol supercrítico**. 2007. 94 p. (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

DOMICIANO, N. L.; SANTOS, B. **Pragas da canola; bases preliminares para manejo no Paraná. Informe da pesquisa 120**, Informe da Pesquisa, 120, Boletim Técnico, 35. Londrina, PR: IAPAR 1996. Setembro/96. 16 p.

DOMINGOS, A. K.; SAAD, E. B.; WILHELM, H. M.; RAMOS, L. P. Optimization of the ethanolysis of *Raphanus sativus* (L. Var.) crude oil applying the response surface methodology. **Bioresource Technology**, Elsevier, v. 99, p. 1837–1845, 2007.

DOMINGOS, A. K.; SAAD, E. B.; WILHELM, H. M.; RAMOS, L. P. Optimization of the ethanolysis of *Raphanus sativus* (L. Var.) crude oil applying the response surface methodology. **Bioresource Technology**, Elsevier, v. 99, p. 1837–1845, 2007.

FERRARO, L. A. **Proposição de método de avaliação de sistemas de produção e de sustentabilidade**. 1999. 131 p. (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz/USP, ESALQ, Piracicaba, 1999.

FREITAS, S. M. D.; OLIVEIRA, M. D. M.; FREDO, C. E. Análise comparativa do balanço energético do milho em diferentes sistemas de produção. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIEDADE RURAL, 44., 2006, Fortaleza, Ceará. **Anais...** Fortaleza: SOBER, 2006. p. 1-13.

GARCEZ, C. A. G.; VIANNA, J. N. D. S. Brazilian Biodiesel Policy: Social and environmental considerations of sustainability. **Energy**, Elsevier, v. 34, p. 645–654, 2009.

GARAVAND, A. T.; ASAKEREH, A.; HAGHANI, K. Energy elevation and economic analysis of canola production in Iran a case study: Mazandaran province. **International Journal of Environmental Sciences**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 236-242, 2010.

GAZZONI, D. L.; FELICI, P. H. N.; CORONATO, R. M. S. Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel. **Biomassa & Energia**, Viçosa, MG, v. 2, n. 4, p. 259-265, 2005.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **IEA energy technology essentials: biofuel production**. International Energy Agency 2007. Disponível em: <<http://www.iea.org/techno/essentials2.pdf>>. Acesso em: 17/11/2012.

KALLIVROUSSIS, L.; NATSIS, A.; PAPADAKIS, G. The energy balance of sunflower production for biodiesel in greece. **Biosystems Engineering**, London, v. 81, n. 3, p. 347-354, 2002.

KOHLHEPP, G. Análise da situação da produção de etanol e biodiesel no Brasil. **Estudos Avançados** v. 24, n. 68, p. 223-253, 2010.

MELO, D. et al. Balanço energético do sistema de produção de soja e milho em uma propriedade agrícola do Oeste do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 2, p. 173-178, 2007.

ÖZTÜRK, Ö. Effects of Source and Rate of Nitrogen Fertilizer on Yield, Yield Components and Quality of Winter Rapeseed. **Chilean Journal of Agricultural Research**, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, v. 70, n. 1, p. 132-141, January-March 2010.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**, New York, v. 14, n. 1, p. 65-76, Mar. 2005.

SHEEHAN, V.; CAMOBRECO, V.; DUFFIELD, J.; GRABOSKI, M.; SHAPOURI, H. **An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles**. [S.l.]: Report of National Renewable Energy Laboratory (NREL) - US-Department of Energy (DOE), 1998. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/npbf/pdfs/24772.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2012.

SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A.; BOLLER, W. Energetic balance from biodiesel production of oilseed radish (*Raphanus sativus* L.). In: INTERNACIONAL CONFERENCE OF AGRICULTURAL ENGINEERING, 12., 2008, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: CIGR, 2008. 1 CD-ROM.

SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A.; BOLLER, W. Balanço de Energia na Implantação e Manejo de Plantas de Cobertura do Solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n.1, p.80-89, set. 1999.

SOARES, L. H. B.; MUNIZ, L. C.; FIGUEIREDO, R. S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A. **Balanço Energético de um Sistema Integrado Lavoura-Pecuária no Cerrado**. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Agrobiologia): 28 p. Dezembro de 2007.

SOUZA, R. D. Balanço e análise da sustentabilidade energética na produção orgânica de hortaliças. **Hortic. bras.**, v. 26, n. 4, out.-dez. 2008.

TOMM, G. O. **Tecnologia para cultivo de canola no Sudoeste de Goiás**. [ITUMBIARA]: CARAMURU ALIMENTOS LTDA.: 34 p. 2004.

TOMM, G. O. Canola: alternativa de renda e benefícios para os cultivos seguintes. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, v. 15, n. 94, p. 4-8, jul./ago. 2006.

TOMM, G. O. **Sistemas de produção embrapa trigo: Indicativos tecnológicos para produção de canola no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo, RS, 2007. Disponível em: < www.cnpt.embrapa.br/culturas/canola/p_sp03_2007.pdf>. Acesso em: 02/04/2011.

TOMM, G. O.; FERREIRA, P. E. P.; AGUIAR, J. L. P.; CASTRO, A. M. G.; LIMA, S. M. V.; MORI, C. **Panorama atual e indicações para aumento de eficiência da produção de canola no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2009. 27 p. (Embrapa Trigo. Documentos Online, 118). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do118.htm>. Acesso em: 17 nov. 2012.

ULBANERE, R. C. **Análise dos balanços energético e econômico relativa à produção e perda de grãos de milho no Estado de São Paulo.** 1988. 127 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1988.

UNAKITAN, G.; HURMA, H.; YILMAZ, F. An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. **Energy**, Elsevier, v. 35, p. 3623-3627, June 2010.

VALLE, P. W. P. A. **Produção de biodiesel via transesterificação do óleo de nabo forrageiro.** 2009. 183 p. Tese (Doutorado em Ciências - Química) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

ANEXOS

Tabela 1: Inputs e outputs referentes ao processo produtivo de canola e nabo forrageiro e seus correspondentes energéticos.

Descrição (Consumo/ha)	Unidade	Correspondente energético	Referências
Fase agrícola			
Operações Mecanizadas:			
Aração	hectare	40959 kcal	(SIQUEIRA et al., 1999)
Gradagem	hectare	9088,09 kcal	(SIQUEIRA et al., 1999)
Semeadura	hectare	22217 kcal	(SIQUEIRA et al., 1999)
Pulverização de inseticidas	hora/máquina	191076,72 kcal	(MUNIZ et al., 2007)
Pulverização de herbicidas	hora/máquina	191076,72 kcal	(MUNIZ et al., 2007)
Aplicação de fertilizantes	hora/máquina	226906,61 kcal	(MUNIZ et al., 2007)
Colheita	hora/máquina	187131 kcal	(MELLO, 1989)
Transporte	hora/máquina	1321,4 kcal	(FREITAS et al., 2006)
Mão de obra*	L diesel	11400 kcal	(PIMENTEL ;PATZEK, 2005)
Insumos:			
Nitrogênio	kg	16000 kcal	(PIMENTEL ;PATZEK, 2005)
Fósforo	kg	4154 kcal	(PIMENTEL ;PATZEK, 2005)
Potássio	kg	3260 kcal	(PIMENTEL ;PATZEK, 2005)
Sementes	kg	21700 kcal	(GARAVAND et al., 2010)
Herbicidas e inseticidas	kg	100000 kcal	(PIMENTEL ;PATZEK, 2005)
Combustível (Óleo diesel)	L	11400 kcal	(PIMENTEL ;PATZEK, 2005)
Fase Industrial:			
Extração	kcal	555000 kcal	(BATCHELOR et al., 1995)
Refino	kcal	581000 kcal	(BATCHELOR et al., 1995)
Transesterificação	kcal	1506000 kcal	(BATCHELOR et al., 1995)
Outputs/Rendimentos Canola:			
Óleo	kcal/kg	8900	(BATCHELOR et al., 1995)
Torta	kcal/kg	5100	(BATCHELOR et al., 1995)
Outputs/Rendimentos Nabo F.:			
Óleo	kcal/kg	9529	(DAMBISKI, 2007)
Torta	kcal/kg	5064	(BRASI et al., 2008)

*Para a mão de obra foi considerado que 2000 horas de trabalho equivalem a 8000 litros de óleo diesel (PIMENTEL ;PATZEK, 2005).

Tabela 2: Inputs investidos no processo produtivo de 1 hectare de canola e nabo forrageiro e seus correspondentes monetários para a região de Lavras, MG no ano de 2011.

Fase agrícola	Quantidade		Valor/Unidade
			R\$
Operações Mecanizadas:			
Aração	1 hora/máquina		50,00
Gradagem	2 hora/máquina		50,00
Semeadura	1 hora/máquina		50,00
Pulverização de inseticidas	0,6 hora/máquina		50,00
Pulverização de herbicidas	0,6 hora/máquina		50,00
Aplicação de fertilizantes	0,12 hora/máquina		50,00
Colheita	1 hora/máquina		100,00
Transporte	0,5 hora/máquina		32,00
Mão de obra horas/ha	36 h/ha	34,8 h/ha	30,00 dias/homem (8 horas)
Insumos:	Canola¹	Nabo²	
Formulado (4-30-16)	200 kg	100 kg	1,19
Sulfato de Amônia	100 kg	-	0,71
Ureia	71 kg	-	1,03
Herbicida Glifosato	2 L/ha	-	7,00
Inseticida metamidofós	2,5 L/ha	-	14,00
Sementes	4 kg	7 kg	1,50 ¹ ; 7,00 ²
Combustível	47 L	33 L	2,00

Tabela 3: Balanço energético da etapa agrícola para a produção de biodiesel a partir das oleaginosas canola e nabo forrageiro.

Fase agrícola	Canola	Nabo	Índice energético (kcal)	Total Canola		Total Nabo Forrageiro	
	Consumo	Consumo		kcal	%	kcal	%
Operações mecanizadas:*							
Aração	1 ha	1 ha	40959/ha	40959	0,57	40959	0,77
Gradagem	1 ha	1 ha	9088,09/ha	9088,09	0,13	9088,09	0,17
Pulverização inset.	0,6 h/m	-	191076,72/hm	114646	1,60	-	-
Pulverização herb.	0,6 h/m	-	191076,72/hm	114646	1,60	-	-
Aplicação de fert.	0,12 h/m	0,12 h/m	226906,61/hm	27228,79	0,38	27228,79	0,52
Semeadura	1 ha	1 ha	22217/ha	22217	0,31	22217	0,42
Colheita	1 h/m	1 h/m	187131 h/m	187131	2,62	187131	3,54
Transporte	0,5 h/m	0,5 h/m	1321,4 h/m	661	0,01	661	0,01
<i>Total</i>	-	-	-	516577,09	7,23	287285,03	5,44
Mão de obra:**	144 L	139,2 L	11400/L	1641600	22,97	1586880	30,03
<i>Total</i>	144 L	139,2 L	11400/L	1641600	22,97	1586880	30,03
Insumos:							
Nitrogênio	60,95 kg	4 kg	16000/kg	975200	13,65	64000	1,21
Fósforo	60 kg	30 kg	4154/kg	249240	3,49	124620	2,36
Potássio	32 kg	16 kg	3260/kg	104320	1,46	52160	0,99
Herbicida Glifosato	1 kg	-	100000/kg	100000	1,40	-	-
Inseticida metamidofós	2,95 kg	-	100000/kg	295000	4,13	-	-
Sementes	4 kg	7 kg	21700/kg	86800	1,21	151900	2,87
<i>Total</i>	-	-	-	1810560	25,33	392680	7,43
Combustível (Óleo diesel)	47	33	11400/L	535800	7,50	376200	7,12
<i>Total</i>	47	33	11400/L	535800	7,50	376200	7,12
Total Etapa Agrícola	-	-	-	4504537	63,03	2643045,03	50,01

*Os gastos consumidos nas operações mecanizadas foram estimados considerando-se a energia direta (combustível e lubrificante) e a energia indireta (trator e semeadora) investidas no processo produtivo de cada cultura. **Para a mão de obra foi considerado que 2000 horas de trabalho equivalem a 8000 litros de óleo diesel (PIMENTEL ;PATZEK, 2005).

Tabela 4. Balanço energético da etapa industrial e índice do balanço final para a produção de biodiesel a partir das oleaginosas canola e nabo forrageiro.

	Canola	Nabo	Índice energético		Total Canola	Total Nabo forrageiro		
Fase inputs/Industrial	Consumo	Consumo	(kcal)		Kcal	%	Kcal	%
Extração	1	1	555000/ha		555000	7,77	555000	10,50
Refino	1	1	581000/ha		581000	8,13	581000	10,99
Transesterificação	1	1	1506000/ha		1506000	21,07	1506000	28,50
<i>Total</i>	-	-	-		2642000	36,97	2642000	49,99
Inputs totais: Fase agrícola e industrial	-	-	-		7146537	100,00	5285045	100,00
Outputs/Rendimentos	Canola	Nabo	Canola	Nabo				
Óleo	600 kg	540 kg	8900	9529	5340000	-	5145660	-
Torta	900 kg	660 kg	5100	5064	4590000	-	3342240	-
<i>Total energia produzida</i>	-	-			9930000	-	8487900	-
Balanço Energético	-	-	-		1,39	-	1,61	-

Tabela 5: Balanço econômico da fase agrícola para produção de 1500 kg/ha de grãos canola e 1200 kg/ha de grãos de nabo forrageiro.

Fase agrícola	Quantidade		Valor/Unidade	Total R\$		Porcentagem %	
			R\$	Canola	Nabo Forrageiro	Canola	Nabo Forrageiro
Operações Mecanizadas:							
Aração	1 hora/máquina		50,00	50,00	50,00	4,77	7,73
Gradagem	2 hora/máquina		50,00	100,00	100,00	9,54	15,47
Semeadura	1 hora/máquina		50,00	50,00	50,00	4,77	7,73
Pulverização de inseticidas	0,6 hora/máquina		50,00	30,00	-	2,86	-
Pulverização de herbicidas	0,6 hora/máquina		50,00	30,00	-	2,86	-
Aplicação de fertilizantes	0,12 hora/máquina		50,00	6,00	6,00	0,57	0,93
Colheita	1 hora/máquina		100,00	100,00	100,00	9,54	15,47
Transporte	0,5 hora/máquina		32,00	16,00	16,00	1,53	2,47
<i>Total</i>	-		-	382,00	322,00	36,45	49,81
Mão de obra (hora/homem)	Canola	Nabo F.					
	36	34,8	3,75	135,00	130,5	12,88	20,19
Insumos:	Canola¹	Nabo²		Canola¹	Nabo F.²		
Formulado (4-30-16)	200 kg	100 kg	1,19	238,00	119,00	22,71	18,41
Sulfato de Amônia	100 kg	-	0,71	71,00	-	6,77	-
Ureia	71 kg	-	1,03	73,13	-	6,98	-
Herbicida Glifosato	2 L/ha	-	7,00	14,00	-	1,34	-
Inseticida metamidofós	2,5 L/ha	-	14,00	35,00	-	3,34	-
Sementes	4 kg	7 kg	1,50 ¹ ; 1,30 ²	6,00	9,00	0,57	1,39
Combustível (Diesel)	47 L	33 L	2,00	94,00	66,00	8,97	10,21
<i>Total</i>	-	-	-	531,13	194	50,67	30,01
Custo total				1048,13	646,5	100,00	100,00
Rendimentos (kg de grãos)	1500	1200	1,35 ¹ ; 1,20 ²	2025	1440	-	-
Balanço econômico				1,93	2,23	-	-

Tabela 6: Análise resumida do balanço energético para a produção de biodiesel a partir das culturas da canola e do nabo-forrageiro para produtividades de grãos de 2000, 3000 e de 4500 kg/ha.

	Cultura da canola Energia total (kcal)	Cultura do nabo forrageiro Energia total (kcal)
Total de operações mecanizadas	516577	287285
Total de mão de obra	1641600	1586880
Total de insumos	1810560	392680
Total do Diesel	535800	376200
Total da fase industrial	2642000	2642000
Total de consumo:	7146537	5285045
Total dos rendimentos (2000 kg/ha de grãos)	13240000	14146500
Total dos rendimentos (3000 kg/ha de grãos)	19860000	21219750
Total dos rendimentos (4500 kg/ha de grãos)	29790000	31829625
Índices de balanço energético:		
Produção de 2000 kg/ha de grãos	1,85	2,68
Produção de 3000 kg/ha de grãos	2,78	4,02
Produção de 4500 kg/ha de grãos	4,17	6,02

ARTIGO 2

Balço energético e econômico para a produção de etanol a partir da cultura da batata-doce

RESUMO

Juntamente com a crescente demanda de energia e esgotamento dos estoques de combustível (sobretudo de combustíveis fósseis), cada vez mais se tem dado ênfase em recursos renováveis de energia. O Brasil possui grande potencial para produção de etanol a partir da cana de açúcar e futuramente com outras fontes a serem consolidadas ou pesquisadas a exemplo da batata-doce, considerada uma cultura com potencial para produção de etanol. O objetivo com este trabalho foi verificar a viabilidade da cultura da batata-doce para a produção de etanol nas condições brasileiras, estimando-se o balanço energético e econômico para a cultura, utilizando-se como base de dados produtividades médias de raízes obtidas em ensaios com clones de batata-doce pertencentes ao banco de germoplasma da Universidade Federal de Lavras. Com a produção de 35 t/ha de raízes, os índices dos balanços resultaram em 7,64 para o balanço energético e de 1,78 para o balanço econômico. Para as produtividades de 50 e de 80 toneladas de raízes por hectare, os índices de balanço energético resultaram em 10,91 e 17,46, e os de balanço econômico em 2,55 e de 4,08 respectivamente, confirmando assim a grande aptidão potencial da cultura da batata-doce para a produção de combustível etanol.

Termos para indexação: *Ipomoea batatas* L., etanol, balanço energético.

ARTICLE 2**Energetic and economic balance of ethanol production based on sweet potato****ABSTRACT**

Along with the increasing energy demand and depletion of fuel sources (especially fossil fuels), increasing emphasis has been given to renewable energy resources. Brazil has great potential for the production of ethanol from sugarcane and eventually with other sources to be consolidated or researched such as the sweetpotato, which is considered a low-input, with low production costs, wide adaptation and potential for ethanol production. The objective of the study was to assess the viability of sweetpotatoes for ethanol production in Brazil, by estimating the economic and energy balances for crop, using as a database of root yields obtained from sweetpotato trials with clones pertaining to the germplasm bank of the Federal University of Lavras. With root yields of 35 t/ha, output/input balances were in 7.64 and 1.78, respectively for the energy and economic balance. With yields of 50 and 80 t/ha of roots, energy balances were estimated as 10.91 and 17.46, and economic balances as 2.55 and 4.08 respectively, thus confirming the great potential of sweetpotatoes for as a feedstock for the production of fuel ethanol.

Index Terms: *Ipomoea batatas* L., ethanol, energy balance.

1 INTRODUÇÃO

As principais matrizes energéticas mundiais são compostas de fontes não renováveis de carbono fóssil, como petróleo (35%), carvão (23%) e gás natural (21%). Devido à extração indiscriminada e ao aumento do consumo de combustíveis fósseis, as reservas estão apresentando uma crescente diminuição, existindo grande possibilidade de escassez dessas fontes ainda mesmo nesse século (Souza, 2008; Demirbas, 2009; Singh & Singh, 2009; Jäger-Waldau et al., 2011). Juntamente com a crescente demanda de energia e esgotamento dos estoques de combustível (sobretudo de combustíveis fósseis), cada vez mais se tem dado ênfase aos recursos renováveis de energia (Venturi & Venturi, 2003; Stephenson et al., 2010; Kazem, 2011). Neste contexto, surgem como fontes alternativas de energia os biocombustíveis, dentre os quais se podem citar o etanol (proveniente da cana-de-açúcar, milho, batata-doce, beterraba açucareira, mandioca, entre outros), e os biodieseis (oriundos de mamona, palmácea, dendê, soja, girassol, canola, nabo-forrageiro, entre outros), além de fontes de biomassa sólida como lenha ou carvão vegetal, que podem substituir parcial ou totalmente os combustíveis fósseis.

O etanol é considerado como um bom substituto da gasolina, visto que pode ser utilizado diretamente na sua forma hidratado em motores de combustão modificados, ou ainda misturado na gasolina num nível de até 25% em sua forma anidra, sem que haja necessidade de alguma modificação em motores já existentes (Koch, 2000; Triana, 2011). O Brasil possui grande potencial para produção de etanol a partir da cana-de-açúcar e futuramente com outras fontes a serem consolidadas ou pesquisadas, a exemplo da batata-doce. O desafio é implantar um projeto energético autossustentável, considerando preço, qualidade e garantia de suprimento do biocombustível, propiciando geração de renda com inclusão social.

A batata-doce, *Ipomoea batatas* L., é uma hortaliça rústica, apresenta ampla adaptação climática por consequência de possuir relativa tolerância à seca, sendo cultivada principalmente na agricultura familiar. É considerada uma planta de usos múltiplos, em que todas as partes são aproveitáveis. Suas raízes são utilizadas na alimentação humana e animal, além de constituírem importante alternativa para a produção de etanol, enquanto suas folhas e ramos podem ser empregadas na nutrição animal (Lasmar, 2008; Massaroto, 2008). Mesmo apresentando elevado potencial produtivo, demonstrado por produtividades experimentais relatadas de até 98 toneladas por hectare (Gonçalves-Neto, 2011), são comuns no Brasil relatos de baixas produtividades, devidas em parte à utilização de material genético contaminado com patógenos e/ou obsoleto, na maioria dos casos suscetível às pragas e doenças, o que é potencializado pelo fato de a cultura ser propagada através de estacas das ramos, perpetuando a degenerescência. O cultivo da batata-doce no Brasil em grande parte é realizado com finalidade de produção em pequena escala, onde geralmente são utilizadas práticas culturais obsoletas, com uso de cultivares inapropriadas, pouco uso de tecnologia e sem orientação profissional. O uso generalizado de baixa tecnologia nos tratamentos culturais leva a uma produtividade abaixo do desejável (Embrapa, 2004), que tem por consequência a baixíssima produtividade média de aproximadamente 12 t/ha (IBGE, 2010), mas melhorias nas práticas culturais e a seleção de materiais genéticos podem facilmente elevar estes níveis até 100 ton/ha ou talvez mais. Gonçalves-Neto (2011) mostrou que existem tecnologias disponíveis para isso: clones selecionados mostraram elevados potenciais produtivos, atingindo uma produtividade de até 98 ton/ha (oito vezes maior do que a média nacional). Araújo et al. (1979) observaram que a baixa produtividade de raízes (11 a 13 t ha⁻¹) foi o principal fator restritivo para a recomendação da batata-doce como fonte alternativa para a produção de etanol no Brasil.

Fica evidenciado que a viabilidade da cultura da batata-doce para fins energéticos obviamente dependerá dos níveis de produtividade obtidos, e do balanço energético e econômico deles resultantes. A quantidade de energia investida num sistema produtivo pode com frequência ser maior do que o retorno conseguido em valor energético dos produtos, proporcionando um balanço negativo, e comprometendo assim a sustentabilidade do sistema, conforme demonstrado em várias situações para diferentes culturas (Pimentel & Patzek, 2005; Sheehan et al. 1998). Desta forma, vários estudos têm sido elaborados com objetivo de avaliar a eficiência das novas fontes potenciais de energia renovável, com o intuito de verificar a viabilidade econômica e energética da produção do biocombustível. Para isso tem sido utilizado como instrumento o balanço energético, definido por Campos (2004) como a razão entre a energia produzida por unidade de área (produção/ha) e a energia consumida por unidade de área (insumo/ha). Dados referentes a consumo e eficiência energética são considerados importantes ferramentas para diagnosticar problemas relacionados à sustentabilidade de sistemas produtivos agrícolas. Porém o setor ainda é deficiente em estudos que contribuiriam para o levantamento de dados e coeficientes energéticos mais específicos (Chechetto et al., 2010), em especial para a cultura da batata-doce. A necessidade de análise do balanço energético e econômico da batata-doce justifica-se pelo potencial desta cultura para a produção de etanol.

O objetivo com este trabalho foi estimar o balanço energético e econômico para a cultura de batata-doce, nas condições brasileiras, para a produção de etanol. Tal estimativa foi analisada para diferentes níveis de produtividade na cultura por meio da relação entre a energia e rendimentos produzidos na sua combustão (outputs), e a energia e os custos investidos na produção do biocombustível (inputs), os quais são indicadores importantes da viabilidade econômica, energética e ambiental para a produção do etanol.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para os cálculos de balanço energético e econômico da cultura, as diversas atividades empregadas no sistema produtivo da batata-doce foram divididas em fase agrícola e fase industrial (Tabelas 1 e 3). Na fase agrícola, foram estimadas as operações mecanizadas e as operações manuais investidas, bem como todos os insumos utilizados de acordo com as recomendações técnicas de manejo para a cultura (Ferraro, 1999; Freitas, 2006; Gliessman, 2000; Lima, 1999; Viana, 2009). Essa fase do experimento foi calculada de acordo com experimentos conduzidos na Estação Experimental de Hortaliças da HortiAgro Sementes S.A., Fazenda Palmital, município de Ijaci, MG, nos períodos de março a outubro de 2007 (Gonçalves-Neto, 2011) e de março a outubro de 2010 (Gonçalves, 2011). Foram utilizados clones pertencentes à coleção de germoplasma da Universidade Federal de Lavras (UFLA). A área experimental foi conduzida irrigada, submetida no preparo do solo a uma aração, duas gradagens e adubada em área total com a fórmula NPK 4-14-8 na quantidade de 1000 kg/ha. O espaçamento utilizado foi de 0,80 m entre leiras por 0,4 m entre plantas dentro da leira. Os ensaios foram colhidos aproximadamente sete meses após o plantio. Após a colheita, as raízes foram pesadas para obtenção da produtividade total de raízes, expressa em ton.ha⁻¹.

A energia consumida na fase industrial foi estimada com base no processo de obtenção de etanol a partir de fontes amiláceas, a saber: (1) na fase industrial de produção do etanol a batata-doce requer um processo de cozimento para diluição e gelatinização do amido e de sacarificação ou hidrólise no qual o amido é transformado em açúcares de menores cadeias; hidrólise é realizada via enzimática, e resulta na formação de açúcares fermentescíveis (di e monossacarídeos); (2) os di e monossacarídeos são submetidos a um processo fermentativo por leveduras, que resulta em produtos o álcool e o anidrido

carbônico. Este processo é dividido em três fases: preparo do substrato, fermentação e destilação do fermentado. Para iniciar o processo de fermentação, é adicionado o inóculo de leveduras e mantidas as condições indicadas para o seu correto estabelecimento e para posterior produção do álcool hidratado (etanol). Através da via fermentativa obtém-se o mosto fermentado (vinho), composto por aproximadamente 8,5% em volume de álcool, além de outros componentes; (3) o álcool presente neste vinho é recuperado pela destilação, onde a mistura é aquecida até a fervura, e os vapores resfriados até se liquefazem novamente. Assim, o efeito final é o aumento da concentração do componente mais volátil (álcool) no vapor e do componente menos volátil (caldo fermentado) no líquido. Por este processo obtém-se a partir do vinho um teor próximo a 96% em etanol (álcool hidratado).

Desta forma, a energia consumida na fase industrial foi estimada através de correspondentes energéticos referentes à etapa da combustão nas caldeiras (queima da madeira), dos produtos químicos utilizados no processo (enzimas, nutrientes e corretores) e da energia elétrica consumida pelos motores e outros (Viana, 2009).

Para a estimativa do balanço energético, foram considerados todos os inputs investidos no processo de produção: operações mecanizadas, mão de obra, insumos e fase industrial. Os outputs considerados foram àqueles relativos à quantidade de energia proveniente do etanol produzido. Portanto, a eficiência energética foi calculada pela relação energia produzida (outputs) e consumida (inputs) (Tabelas 1, 3 e 5).

Os inputs e outputs energéticos foram então relacionados aos seus respectivos correspondentes energéticos, obtendo-se assim o total de energia consumida em cada processo e o total do rendimento em energia obtido com o etanol produzido (Tabelas 1, 3 e 5).

Foram calculados os balanços energéticos referentes aos potenciais produtivos de 35, 50 e de 80 toneladas de raízes por hectare (Tabela 5), tomando-se como referência às produtividades médias de diferentes clones obtidas nos experimentos realizados a partir da coleção do banco de germoplasma da Universidade Federal de Lavras (Gonçalves, 2011; Gonçalves-Neto, 2011). Os três cenários de produtividades esperadas para a cultura foram baseados em dados experimentais de Gonçalves (2011) e Gonçalves-Neto (2011), a saber: (a) 35 t/ha, produtividade alcançada por grande número de clones testados por Gonçalves (2011) e Gonçalves-Neto (2011), e que presumivelmente seria possível de ser alcançada em nível nacional em curto prazo, desde que adotadas as recomendações técnicas de plantio amplamente conhecidas e utilizadas nestes ensaios; (b) 50 t/ha, produtividade alcançada por clones com boa aptidão para a produção de biomassa nas raízes, nos experimentos de Gonçalves (2011) e Gonçalves-Neto (2011); (c) 80 t/ha, produtividade alcançada por uma seleção dos melhores clones (clones-elite) com aptidão para a produção de biomassa nas raízes, nos experimentos de Gonçalves (2011) e Gonçalves-Neto (2011) – produtividade que em pelo menos um caso chegou a 98 ton/ha. Não se incluiu o cenário equivalente à produtividade média da batata-doce no Brasil (12 ton/ha), uma vez que ele reflete um nível tecnológico rudimentar, não preconizado por instituições de pesquisa para essa cultura.

Para a estimativa do balanço econômico, foi adotada a análise do custo de produção da fase agrícola por hectare tomando-se como base os valores monetários dos inputs e outputs referentes ao segundo semestre de 2011 na região de Lavras-MG, o que possibilita uma visão geral dos resultados da atividade, atendendo aos objetivos deste trabalho (Tabela 2). O rendimento monetário total foi estimado por meio das produtividades médias obtidas em toneladas de raízes por hectare, assumindo-se por tonelada de raiz o valor

monetário de duas vezes o preço pago por tonelada de cana de açúcar ao produtor, visto que o rendimento médio em litros de etanol produzidos através do processamento das raízes de batata-doce é cerca de duas vezes o rendimentos médio obtidos pela mesma massa de cana de açúcar (Silveira, 2008).

Após estimar todos os inputs demandados pelo cultivo e relacioná-los aos seus correspondentes monetários, foi possível o cálculo do balanço econômico para a cultura nos diferentes índices de produtividades obtidos (Tabela 5).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O total estimado de energia inserida na produção de batata-doce foi de 3.722.556 kcal/ha, esperando-se um rendimento de 5.530 litros de etanol para a produtividade de 35 toneladas de raízes por hectare, de 7.900 litros de etanol para a produtividade de 50 toneladas de raízes por hectare e de 12.640 litros de etanol para a produtividade de 80 toneladas de raízes por hectare. Os rendimentos energéticos foram estimados a partir da energia total produzida sob cada condição, contabilizadas 28.429.730 kcal referentes à produtividade de 35 toneladas de raízes por hectare, de 40.613.900 kcal referentes à produtividade de 50 toneladas de raízes por hectare e de 64.982.240 kcal referentes à produtividade de 80 toneladas de raízes por hectare (Tabela 3). A fase agrícola representou 77,13% de toda a energia investida, sendo que os insumos corresponderam em maior parcela, representando 52,07%. O nitrogênio, fósforo e potássio representaram respectivamente 17,19; 15,62 e 7,01% da energia total consumida. O restante da energia investida na etapa agrícola foi resultante das operações mecanizadas, combustível e mão de obra, que representaram respectivamente 21,58; 12,25 e 3,47% de toda a energia investida na produção. A etapa industrial representou aproximadamente 22,87% da energia total investida no processo produtivo do etanol a partir da cultura da batata-doce.

O investimento monetário total na fase agrícola de produção foi aproximadamente de R\$ 2.685,48. O maior investimento monetário nestas condições foi com a mão de obra, que representou aproximadamente 37% de todo o investimento monetário na fase agrícola de produção (Tabela 4). Os insumos empregados também representaram um grande investimento, aproximadamente 33% do custo total de produção (Tabela 4). As operações mecanizadas representaram aproximadamente 30% dos custos totais de produção para essa cultura (Tabela 4).

Os rendimentos monetários foram estimados considerando-se o valor de R\$ 0,137 por kg de raiz (equivalente em toneladas de raiz a cerca de duas vezes o preço médio pago ao produtor por tonelada de cana de açúcar em agosto de 2011), resultando em R\$ 4.788,00 para a produtividade de 35 toneladas de raízes por hectare, de R\$ 6.840,00 para a produtividade de 50 toneladas de raízes por hectare e de R\$ 10.944,00 para a produtividade de 80 toneladas de raízes por hectare (Tabela 5).

Por meio da produtividade de 35 toneladas de raízes por hectare, sob o pacote tecnológico utilizado, obtiveram-se os índices de balanço energético e econômico de 7,64 e de 1,78 respectivamente (Tabela 5). A produtividade de 35 ton/ha, embora bastante superior à média nacional, pode ser facilmente alcançada com a adoção de recomendações de plantio amplamente conhecidas (Miranda et al., 1995, Embrapa, 2004), mesmo sem o emprego de clones particularmente aptos à produção de etanol.

Por outro lado, com o emprego de clones selecionados para produção de biomassa, com produtividade média de 50 toneladas de raízes por hectare, sob as mesmas recomendações de plantio, obtiveram-se os índices de balanço energético e econômico de 10,91 e de 2,55 respectivamente (Tabela 5). Já com clones-elite (produtividade média de 80 ton/ha), os índices de balanço energético e econômico se elevam para 17,46 e 4,08 respectivamente (Tabela 5).

Todas as situações em que a produtividade foi igual ou superior a 35 ton/ha confirmam a grande aptidão energética e econômica da cultura da batata-doce para a produção de etanol biocombustível (Tabela 5).

O Brasil e os Estados Unidos são líderes mundiais na produção de etanol, utilizando atualmente como principais matérias primas para essa finalidade a cana de açúcar e o milho, respectivamente. Dados de pesquisas indicaram índices de balanços energéticos de 8,96 obtido por Viana (2009) e de 8,54 por Salla (2008) para a produção de etanol a partir da cultura da cana de

açúcar, com produtividades respectivas de 74 e de 84 toneladas por hectare. Já para a produção de etanol a partir da cultura do milho, foi obtido índice energético de 2,64 por Viana (2009), para produtividade de 6 t/ha.

Os resultados do presente trabalho indicam que a batata-doce, mesmo com produtividades de apenas 35 t/ha, iguala ou supera os balanços energéticos encontrados por Viana (2009) e por Sala (2008) para a cana-de-açúcar, enquanto superam amplamente os encontrados para o milho por Viana (2009). Com níveis de produtividade de 50 ou 80 t/ha, os balanços energéticos da batata-doce superam em muito os encontrados tanto para a cana-de-açúcar quanto o milho.

Embora amplamente favoráveis à batata-doce, os balanços energéticos aqui calculados não levam em conta a duração do ciclo da cultura, pois enquanto na cana-de-açúcar o ciclo médio entre cortes é de 12 meses ou mais, o ciclo da batata-doce é de 6 meses ou pouco mais – o que se reflete ainda mais favoravelmente nesta última no tocante à produção de energia por unidade de tempo.

Os estudos aqui realizados, tampouco levaram em conta a substancial produção, pela batata-doce, de biomassa na parte aérea (ramas e folhas), que é rica em proteínas e pode ser empregada na nutrição animal (Lasmar, 2008; Massaroto, 2008). A contabilização desta biomassa (atualmente em grande parte desperdiçada) nos cálculos de balanço energético certamente resultaria em balanços energéticos e econômicos ainda mais favoráveis à batata-doce. Igualmente não contabilizados, foram os resíduos (ricos em proteína) da destilação do álcool de batata-doce, que levariam a ganhos energéticos e econômicos adicionais.

Ressalta-se, ainda, o fato de que, enquanto a cana-de-açúcar conta com um pacote tecnológico consolidado e em constante evolução, na batata-doce resta ainda muito a ser feito até que se obtenha uma tecnologia de produção comparável. Embora a tecnologia disponível (Miranda et al., 1995; Embrapa,

2004) já seja capaz de torná-la uma cultura competitiva para fins energéticos, novos estudos, particularmente relativos à adubação, irrigação, melhoramento genético, e mecanização das operações de plantio e colheita, poderão contribuir para ganhos adicionais nos balanços energéticos e econômicos da batata-doce. Estes resultados demonstram claramente o grande potencial de produção de energia da cultura da batata-doce, e sua viabilidade econômica para este propósito. Sua utilização como matéria-prima para a produção de etanol biocombustível poderia ainda apresentar para o setor alcooleiro as seguintes vantagens:

(1) fornecer uma alternativa à produção de álcool em regiões nas quais a cultura da cana não é recomendada, como no Trópico Úmido;

(2) fornecer, via clones precoces de batata-doce, uma alternativa para consórcio com a própria cana-de-açúcar durante o período inicial de formação do canavial;

(3) ser utilizada como cultura intercalar num esquema de rotação de culturas por ocasião da reforma dos canaviais;

(4) promover a integração usina-lavoura-pecuária, através do aproveitamento, como fonte proteica para alimentação animal, dos resíduos da destilação e da biomassa da parte aérea;

(5) diminuir a dependência do setor alcooleiro de fatores climáticos que afetem negativamente a cana-de-açúcar.

4 CONCLUSÕES

1. A batata-doce, mesmo com produtividades de apenas 35 t/ha, iguala ou supera os balanços energéticos médios descritos na literatura para a cana de açúcar e milho.

2. Com níveis de produtividade de 50 ou 80 t/ha, os balanços energéticos da batata-doce superam em muito os encontrados tanto para a cana-de-açúcar quanto o milho.

3. Os resultados do trabalho indicam a grande aptidão potencial da cultura da batata-doce para a produção de combustível etanol.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES JR, O. M.; LINKE, R. R. A. **Metodologia simplificada de cálculo das emissões de gases do efeito estufa de frotas de veículos no Brasil**. São Paulo: CETESB, 182 p, 2001.

ARAÚJO, N. Q.; CASTRO, H. F.; VISCONTI, A. E. S. Batata-doce: parâmetros preliminares na tecnologia de produção de etanol. **Informativo do Instituto Nacional de Tecnologia**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 22, p. 17-28, maio 1979.

CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. D. Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1977-1985, 2004.

CHECHETTO, R. G.; SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A. Energy balance for biodiesel production by the castor bean crop. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 4, p. 546-553, out./dez. 2010.

DEMIRBAS, A. Progress and recent trends in biodiesel fuels. **Energy Conversion and Management**, Elsevier, v. 50, p. 14–34, 2009.

EMBRAPA. **Cultura da Batata-Doce**, Sistemas de Produção, 6, versão eletrônica. Disponível em:
<http://www.cnph.embrapa.br/sistprod/batatadoce/composicao_uso.htm>. Acesso em: 20/12/2011. Embrapa Hortaliças, Dezembro de 2004.

FERRARO, L. A. **Proposição de método de avaliação de sistemas de produção e de sustentabilidade**. 1999. 131 p. (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz/USP, ESALQ, Piracicaba, 1999.

FREITAS, S. M. D.; OLIVEIRA, M. D. M.; FREDO, C. E. Análise comparativa do balanço energético do milho em diferentes sistemas de produção. In:

CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIEDADE RURAL, 44., 2006, Fortaleza, Ceará. **Anais...** Fortaleza: SOBER, 2006. p. 1-13.

GLIESSMAN, S. **Agroecologia – Processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: Editora Universidade/UFRGS, 653 p., 2000.

GONÇALVES-NETO, Á. C. **Aptidões para consumo humano, produção de etanol e alimentação animal em clones de batata-doce**. 2010. 77 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

GONÇALVES, R. J. S.; CARVALHO, R.C.; GONÇALVES-NETO, A.C.; MALUF, W.R.; LASMAR, A.; GOMES, M.S. Potencial produtivo de clones de batata-doce oriundos de famílias de meio-irmãos em Lavras-MG. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 2, p. S2379-S2384, 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Prod. agric. munic.**, Rio de Janeiro, v. 37, p.1-91, 2010.

IEA – Instituto de Economia Agrícola - **Cana-de-açúcar: preços recebidos pelos produtores no Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12420>. Acesso em: 25/07/2012.

JÄGER-WALDAU, A.; SZABÓ, M.; SCARLAT, N.; MONFORTI-FERRARIO, F. Renewable electricity in Europe. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 15, p. 3703– 3716, 2011.

KAZEM, H. A. Renewable energy in Oman: Status and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 15, p. 3465– 3469, 2011.

KOCH, H. J. **Automotive Fuels for the Future**. Organisation for Economic Co-operation and Development, International Energy Agency: França, Paris, 92 p., 2000.

LASMAR, A. **Análise bromatológica de ramas e raízes de Batata-Doce para produção de silagem.** 2008, 28 p. Monografia (graduação em Agronomia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2008.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **Uso da irrigação no Brasil.** O estado das águas no Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. CD-ROM, 1999.

MASSAROTO, J. A. **Características agronômicas e produção de silagem de clones de batata-doce.** 2008, 85 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Departamento de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 2008.

MIRANDA, J. E. C.; FRANÇA, F. H.; CARRIJO, O. A.; SOUZA, A. F.; PEREIRA, W.; LOPES, C. A.; DILVA, J. B. C. **A cultura da batata-doce.** Brasília: Embapa/CNPH, 1995. 94 p.

PIMENTEL, D.; PATZEK, T. W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; biodiesel production using soybean and sunflower. **Natural Resources Research**, New York, v. 14, n. 1, p. 65-76, Mar. 2005.

SALLA, D. A. **Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho.** 2008. 168 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agronômicas. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2008.

SHEEHAN, V.; CAMOBRECO, V.; DUFFIELD, J.; GRABOSKI, M.; SHAPOURI, H. **An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles.** [S.l.]: Report of National Renewable Energy Laboratory (NREL) - US-Department of Energy (DOE), 1998. Disponível em: <<http://www.nrel.gov/vehiclesandfuels/nprf/pdfs/24772.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2012.

SILVEIRA, M. A. Batata-doce: uma nova alternativa para a produção de etanol. In: Instituto Euvaldo Lodi. **Álcool combustível.** Brasília: IEL, 2008. p. 109-122.

SINGH, S. P.; SINGH, D. Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 14, p. 200–216, 13 de julho de 2009.

SIQUEIRA, R.; GAMERO, C. A.; BOLLER, W. Balanço de Energia na Implantação e Manejo de Plantas de Cobertura do Solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n.1, p.80-89, set. 1999.

SOUZA, R. D. **Análise da conjuntura agropecuária safra 2008/09: biodiesel**. 2008. Disponível em:
<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/biodiesel_0809.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2012.

STEPHENSON, A. L.; VON BLOTTNITZ, H.; BRENT, A. C.; DENNIS, J. S.; SCOTT, S. A. Global Warming Potential and Fossil-Energy Requirements of Biodiesel Production Scenarios in South Africa. **Energy & Fuels**, American Chemical Society, v. 24, p. 2489–2499, 3, 2010.

TRIANA, C. A. R. Energetics of Brazilian ethanol: Comparison between assessment approaches. **Energy Policy**, Elsevier, v. 39, p. 4605–4613, 2011.

UNITED NATIONS. **Kyoto Protocol to the United Nations framework convention on climate change**. 1998. Disponível em:
<<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2011.

VENTURI, P.; VENTURI, G. Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. **Biomass & Bioenergy**, Elsevier, v. 25, n. 3, p. 235-255, 2003.

VIANA, L. D. D. S. **Estimativa do balanço energético e econômico das culturas de batata-doce, cana-de-açúcar e milho nas condições brasileiras para produção do etanol**. 2009. 47 p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

ANEXOS

Tabela 1: Inputs e outputs referentes ao processo produtivo de etanol a partir de raízes de batata-doce e seus correspondentes energéticos.

	Unidade	Correspondente energético	Referências
Fase agrícola: inputs/ha			
Operações Mecanizadas*:			
Aração	hectare	40959 kcal	(SIQUEIRA et al., 1999)
Gradagem niveladora	hectare	9088,09 kcal	(SIQUEIRA et al., 1999)
Adubação e enleiramento	hora/máquina	3345 kcal	(VIANA, 2009)
Irrigação	hectare	694754,95 kcal	(LIMA, 1999)
Revolvimento da leira	hora/máquina	15992 kcal	(VIANA, 2009)
Transporte interno	hora/máquina	1321,4 kcal	(FREITAS et al., 2006)
Mão de obra:			
Marcação das leiras	dia/homem	1500 kcal	(FERRARO, 1999) e (GLIESSMAN, 2000)
Mudas (preparo e seleção)	dia/homem	2400 kcal	(FERRARO, 1999) e (GLIESSMAN, 2000)
Plantio manual	dia/homem	1500 kcal	(FERRARO, 1999) e (GLIESSMAN, 2000)
Capina manual	dia/homem	4000 kcal	(FERRARO, 1999) e (GLIESSMAN, 2000)
Colheita	dia/homem	4000 kcal	(FERRARO, 1999) e (GLIESSMAN, 2000)
Insumos:			
Nitrogênio	kg	16000 kcal	(PIMENTEL ;PATZEK, 2005)
Fósforo	kg	4154 kcal	(PIMENTEL ;PATZEK, 2005)
Potássio	kg	3260 kcal	(PIMENTEL ;PATZEK, 2005)
Diesel	L	11400 kcal	(PIMENTEL ;PATZEK, 2005)
Fase Industrial:			
Motorização e outros(eletricidade)	Kcal/ha	403305,40	(VIANA, 2009)
Combustão nas caldeiras (madeira)	Kcal/ha	358493,70	(VIANA, 2009)
Enzimas, nutrientes e corretores (prod. Químicos)	Kcal/ha	89623,42	(VIANA, 2009)
Rendimento			
Etanol	L	5141,00 kcal	(ÁLVAREZ, 2001)

*Os gastos consumidos nas operações mecanizadas foram estimados considerando-se a energia direta (combustíveis, mão de obra, fertilizantes e defensivos) e a energia indireta (trator e implemento) investidas no processo produtivo de cada cultura.

Tabela 2: Inputs monetários investidos na fase agrícola de produção de 1 hectare de batata-doce relacionados aos seus correspondentes monetários para a região de Lavras, MG.

	Quantidade/ha	Valor/Unidade
Fase agrícola		R\$
Operações Mecanizadas:		
Aração	1,0 hora/máquina	50,00
Gradagem niveladora	2,0 hora/máquina	50,00
Adubação e enleiramento	3,0 hora/máquina	90,00
Irrigação	808 kw/hora	0,17634
Revolvimento da leira	3,0 hora/máquina	70,00
Transporte interno	0,5 hora/máquina	50,00
Mão de obra (dia/homem)	40 d/h	25,00
Insumos:		
Formulado (4-14-8)	1000 kg	0,80
Combustível (litros diesel)	40 L	2,20

Tabela 3: Consumo em energia referente à fase agrícola de produção de 1 hectare de batata-doce e à fase industrial de produção de etanol a partir das raízes de batata-doce.

	Consumo/ Unidade	Índice energético (kcal)	Totais	
Fase agrícola			kcal	%
Operações mecanizadas:				
Aração	hectare	40959 kcal	40959	1,10
Gradagem niveladora	hectare	9088,09 kcal	9088,09	0,24
Adubação e enleiramento	3 hora/máquina	3345 kcal	10035	0,27
Irrigação	hectare	694754,95	694755	18,66
Revolvimento da leira	3 hora/máquina	15992 kcal	47976	1,29
Transporte interno	0,5 hora/máquina	1321,4 kcal	661	0,02
<i>Total</i>	-	-	803473,74	21,58
Operações manuais:				
Marcação das leiras	1 dia/homem	1500 kcal	1500	0,04
Mudas (preparo e seleção)	2 dia/homem	2400 kcal	4800	0,13
Plantio manual	10 dia/homem	1500 kcal	15000	0,40
Capina manual	7 dia/homem	4000 kcal	28000	0,75
Colheita	20 dia/homem	4000 kcal	80000	2,15
<i>Total</i>	40 dia/homem	-	129300	3,47
Insumos:				
Nitrogênio	40 kg	16.000/kg	640000	17,19
Fósforo	140 kg	4.154/kg	581560	15,62
Potássio	80 kg	3.260/kg	260800	7,01
Combustível diesel	40 L	11.400/L	456000	12,25
<i>Total</i>	-	-	1938360,00	52,07
Total da Etapa Agrícola	-	-	2871133,74	77,13
Fase Industrial:				
Motorização e outros (eletricidade)	-	403305,40/ha	403305,40	10,83
Combustão nas caldeiras (madeira)	-			
Enzimas, nutrientes e corretores (prod. Químicos)	-	358493,70/ha	358493,70	9,63
<i>Total</i>	-	89623,42/ha	89623,42	2,41
	-	-	851422,52	22,87
Total de Energia consumida/hectare	-	-	3722556	100,00

Tabela 4: Consumo monetário referente à fase agrícola de produção de 1 hectare de batata-doce.

Fase agrícola	Quantidade	Valor/Unidade	Total	Porcentagem %
		R\$	R\$	
Operações Mecanizadas:				
Aração	1 hora/máquina	50	50	1,86
Gradagem niveladora	2,0 hora/máquina	50	100	3,72
Adubação e enleiramento	3,0 hora/máquina	90	270	10,05
Irrigação	808 kw/hora	0,17634	142	5,31
Revolvimento da leira	3,0 hora/máquina	70	210	7,82
Transporte interno	0,5 hora/máquina	50	25	0,93
<i>Total</i>	-	-	797,48	29,70
Operações manuais				
<i>Total</i>	40 dia/homem	25,00	1000,00	37,24
<i>Total</i>	40 dia/homem	25,00	1000,00	37,24
Insumos:				
Formulado (4-14-08)	1000 kg	0,80	800,00	29,79
Combustível (Óleo diesel)	40 L	2,20	88,00	3,28
<i>Total</i>			888,00	33,07
Consumo total	-	-	2685,48	100

Tabela 5: Análise resumida do balanço energético e econômico da batata-doce para as produtividades de 35; 50 e 80 toneladas de raízes por hectare.

	Energia total (kcal)	Valores monetários (R\$)
Total das operações mecanizadas	803473,74	797,48
Total da mão de obra	129300	1000,00
Total dos insumos	1938360	888,00
Total da fase industrial	851422,52	-
Total de consumo:	3722556	2685,48
Total dos rendimentos (35 t de raízes)	28429730	4788,00
Total dos rendimentos (50 t de raízes)	40613900	6840,00
Total dos rendimentos (80 t de raízes)	64982240	10944,00
Índices do balanço energético e econômico:		
Produção de 35 t de raízes	7,64	1,78
Produção de 50 t de raízes	10,91	2,55
Produção de 80 t de raízes	17,46	4,08