

Nabo forrageiro: do cultivo a produção de biodiesel

Paulo André Cremonez¹, Armin Feiden¹, Filipe Eliazar Cremonez², Eduardo de Rossi¹, Jhonatas Antonelli¹, Willian César Nadaleti¹, Fabiola Tomassoni¹.

¹Mestrado em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Rua Universitária, n.2069, CEP: 85.819-110, Bairro Universitário, Cascavel, PR.

²Graduando de Agronomia, Universidade Federal do Paraná. Rua Pioneiro, n. 2153, CEP: 85.950-000, Palotina, PR.

pa.cremonez@gmail.com, armin_feiden@yahoo.com.br, filipecall_@hotmail.com, eduardoderossi@ufpr.br, jonatas-a@hotmail.com, wltparana@yahoo.com.br, fabiola_tomassoni@hotmail.com

Resumo: Apesar de grande parte da energia utilizada no mundo ser de origem não renovável, a busca crescente por outras fontes de energias, tem levado a pesquisas de produtos que possam ser utilizados com finalidade de produzir biocombustíveis. Neste cenário destaca-se o biodiesel produzido do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). O presente trabalho tem como objetivo apresentar de modo claro e conciso informações técnicas desta cultura, desde características botânicas e manejo, aplicabilidade do nabo forrageiro na rotação de culturas, além de fazer uma análise do potencial do emprego da cultura visando a produção de biodiesel. É importante ressaltar que informações técnicas sobre seu cultivo são escassas em todos seus aspectos, tanto econômicos, sociais, produtivos, quanto ambientais e energéticos.

Palavras-chave: culturas energéticas, bioenergia, manejo.

Oilseed radish: the growing biodiesel production

Abstract: Although large part of the energy used worldwide is non-renewable source, the increasing search for other sources of energy has led to research that can be used with the purpose of producing biofuels. In this setting highlights the biodiesel produced from oilseed radish (*Raphanus sativus* L.). The present paper aims to present in a clearly and concisely technical information of this culture, from botanical characteristics and management, applicability of the turnip crop rotation, besides to make an analysis of the usage potential of culture in order to produce biodiesel. Is worth noting that technical information about their cultivation are scarce in all its aspects, both economic, social, environmental and energetic.

Keywords: energy crops, bioenergy, management.

Introdução

Atualmente o Brasil vem se destacando pela sua grande diversidade e produtividade de grãos que podem ser utilizados na obtenção de óleos vegetais, apresentando neste sentido, uma grande abertura para uma nova alternativa energética, como no caso da substituição do diesel por biocombustíveis produzidos a partir destes óleos vegetais (Bilich e Silva, 2006).

O nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) faz parte do grupo de oleaginosas pertencente a família *Brassicaceae*, sendo muito empregado nas regiões sul e centro-oeste do Brasil, além do estado de São Paulo, como composto para adubação de inverno em alguns sistemas de cultivo diferenciados, como o plantio direto e o cultivo mínimo (Crusciol et al., 2005).

Essa cultura se apresenta como uma promissora fonte para produção de biodiesel, pois contém alto teor de óleo nas sementes, com relativa facilidade de extração (processo mecânico), além de propiciar melhorias nos atributos químicos e físicos do solo sendo muito empregado em sistemas de rotação de culturas (Silva et al., 2005).

O presente trabalho tem como objetivo apresentar de modo claro e conciso informações técnicas desta cultura, desde características botânicas e manejo, aplicabilidade do nabo forrageiro na rotação de culturas, além de fazer uma análise do potencial do emprego da cultura visando a produção de biodiesel.

Características da Cultura

O nabo forrageiro (Figura 1) pertence à ordem *Brassicales* e família botânica *Brassicaceae*, denominado genericamente como crucífera devido ao seu arranjo de 4 pétalas de suas flores em forma de cruz. É uma planta herbácea anual, alógama, ereta e muito ramificada, podendo atingir de 60 a 100centímetros de altura (Lorenzi, 2006). Tem características de rápido crescimento inicial, sendo que após 60 dias da germinação promove cobertura de 70% do solo, seu ciclo de produção varia entre 150 e 180 dias (Theisen, 2008; Derpsch e Calegari, 1992; Calegari, 1990).

Suas síliquas são relativamente uniformes, apresentando pouco ou nenhum estrangulamento entre as sementes. Suas flores ocorrem na porção terminal das ramificações, com pedicelo de até 2 cm de comprimento, com cálice formado por 4 sépalas verticais, de cor esverdeada. Suas pétalas são normalmente lilases com flor formando uma cruz (Theisen, 2008). Seu sistema radicular é do tipo pivotante, que pode ultrapassar 2 metros de profundidade, sendo uma cultura altamente rústica.

A cultivar apresenta como característica interessante, alta capacidade de reciclagem de nutrientes, como o nitrogênio e o fósforo, desenvolvendo-se de forma normal em solos pobres e apresentando problemas de acidez (Sluszz e Machado, 2006).



Figura 1. Plantas de Nabo Forrageiro (Fonte: www.agroads.com.br. 2013).

O fruto indeiscente do nabo forrageiro é interpretado como um bico totalmente desenvolvido sem a parte valvar. Na identificação, com ajuda de um estereomicroscópio podem frequentemente ajudar a visualizar pequenas escamas a base do fruto representando a ausências de válvulas (Campo, 1999). Possui como meio de reprodução apenas sementes e pode ser considerada uma planta invasora de varias culturas, tendo como o herbicida mais eficiente em seu controle o Imazapyr (Lorenzi 2006).

Cultivo do Nabo Forrageiro

Na escolha de regiões para o plantio do *Raphanus sativus*, se deve levar em consideração que esta planta pode ser cultivada em climas temperados, continental e tropical, sendo resistente a geadas tardias, além de que temperaturas relativamente baixas favorecem a floração abundante, de mesma forma, o maior rendimento em grãos (Derpsch e Calegari, 1992).

Com relação aos espaçamentos de plantio, Teixeira e Zampierom (2007), em experimentação realizaram o plantio do nabo em espaçamento entre linhas de 50 cm. Em trabalho de Silva et al. (2005), os espaçamentos empregados foram de 15, 30 e 45 cm. Por ser uma planta destinada basicamente a ciclagem de nutrientes, poucas informações relacionadas ao seu cultivo e manejo estão disponíveis em literatura.

O cultivo do nabo além de apresentar bom potencial de produção de fitomassa, já possui técnica de cultivo economicamente viável, viabilizando o plantio de culturas de inverno como o trigo, proporcionando uma economia de até 50% do nitrogênio utilizado na

cultura subsequente, esta necessidade é suprimida devido a reciclagem realizada pelo nabo forrageiro (Fiorin, 1999). Além do nitrogênio, o nabo forrageiro apresenta excelente capacidade de ciclagem de potássio (Wietholter, 2003), características estas, comprovadas em trabalho de Rossato (2004).

Conforme pesquisa de Lima et al. (2007), concluindo e comprovando que o nabo forrageiro apresenta atributos desejáveis para utilização como adubo verde no período de inverno.

Dentre os aspectos mais importantes, quanto ao uso da cultura para cobertura de solo, especialmente no plantio direto, encontra-se o tratamento que é dado a massa vegetal aérea dessa cultura, além da variedade de alternativas para efetuar o manejo, tendo como alternativas, sistemas físicos e químicos. O nabo forrageira ainda apresenta característica de proporcionar a redução de plantas invasoras (Salton et al., 1995).

Óleo de Nabo Forrageiro e a Produção de Biodiesel

Dentre as culturas oleaginosas, visando obtenção do óleo para produção de biodiesel, o nabo (*Raphanus sativus* L.), apresenta-se como cultivo de enorme interesse, principalmente no estado do Paraná, pela sua facilidade de produção e vantagens relativas à manutenção do solo (Sluszz e Machado, 2006).

A extração do óleo pode ser realizada através de simples processo de prensagem a frio. Um fator importante é a sua baixa viscosidade, melhorando o desempenho do motor, destinando-se como bom óleo para produzir biodiesel. O teor médio de óleo nas sementes é de 35% em massa e a produtividade é de 1500 Kg/ha, então, quando submetido a prensagem a frio, disponibiliza em média de 284 L/ha de óleo (Pereira, 2012). Os teores de ácidos graxos presente no óleo de nabo forrageiro podem ser conferidos na Tabela 1.

Nota-se como ácido predominante no óleo de nabo o ácido oléico (C18:1), sendo encontrado em concentrações muito superiores ao ácido linoléico (C18:2), essas proporções superiores de ácido mono insaturado proporcionam maior estabilidade oxidativa, menor degradação e menor quantidade de resíduos sólidos no biodiesel gerado pelo óleo desta cultura, diferente da soja e do girassol (Knothe et al., 2006).

Tabela 1. Perfil de Ácidos Graxos de Nabo Forrageiro

Ácidos Graxos	%
Mirístico (C14:0)	6,0
Palmítico (C16:0)	7,9
Esteárico (C18:0)	3,1
Vacênico (C18:1 cis 9)	1,4
Oléico (C18:1)	29,1
Linoléico (C18:2)	16,3
Linolênico (C18:3)	12,7
Araquídico (C20:0)	8,2
Behênico (C22:0)	14,1
Erúcico (C22:1)	1,2

Fonte: Cerbio (2007).

Se comparado ao óleo de soja e de girassol, o óleo obtido do nabo forrageiro apresenta superior poder calorífico e também detém interessante ponto de fluidez. Além disto, o óleo de soja apresenta em sua composição lecitina e outras gomas, que necessitam ser retiradas através do processo de degomagem, para produção de biodiesel, elevando os custos do processo. Outra característica interessante do óleo de nabo é que este apresenta alto ponto de fulgor, indicando que este óleo se torna inflamável sob temperaturas mais elevadas, sendo, portanto, mais seguro de se transportar, armazenar e manusear. O emprego do óleo de nabo forrageiro é uma importante alternativa na produção de biodiesel, evitando que óleos vegetais, considerados commodities, sejam utilizados para este fim (Hass e Foglia, 2006; Dambiski, 2007).

O processo de transesterificação tem sido o método mais empregado na produção de biodiesel, pois a partir dele se é possível diminuir consideravelmente os problemas associados à combustão de óleos vegetais no estado bruto. Problemas como a baixa qualidade de ignição, ponto de fluidez elevado devido aos altos índices de viscosidade, buscando a geração de um combustível muito semelhante ao óleo diesel convencional (Dambiski, 2007).

Conforme estudo realizado por Chammoun et al. (2013), o biodiesel produzido utilizando como matéria-prima o nabo forrageiro, se enquadrava nas normas ASTM e da União Européia. Com quantidades significativas de ácido erúcico o óleo de nabo fica fora do mercado de alimentos, melhorando sua adequação no mercado como cultura dedicada a produção de bioenergia.

Segundo trabalho produzido por Ávila e Sodré (2012), as propriedades do biodiesel de nabo forrageiro atendem as especifica es para densidade, viscosidade cinemática, teor de

enxofre, resíduo de carbono e índice de iodo (Tabela 2). O índice de enxofre, no entanto pode limitar sua aplicação na produção de combustíveis com baixo teor de enxofre (Diesel S10).

Tabela 2. Propriedades físico-químicas do óleo bruto e biodiesel de nabo forrageiro, com métodos aplicados e limites da Agência Nacional de Petróleo (ANP).

Propriedade	Óleo cru	Biodiesel	ANP	Método
Acidez (mg KOH/g)	3,84	1,15	<0,5	ASTM D664
Índice de Iodo (g I ₂ /100 g)	110	112	Informar	EN 14111
Resíduo de Carbono (m.%)	0,4	0,02	<0,05	ASTM D4530
Conteúdo de Enxofre (m.%)	0,002	0,002	<0,005	ASTM D5453
Viscosidade a 40°C (mm ² /s)	37,77	4,87	3,0-6,0	ASTM D7042-04
Densidade a 20°C (Kg/m ³)	913	877	850-900	ASTM D7042-04

Fonte: Ávila e Sodré (2012).

Partindo de transesterificação alcalina básica com emprego de aquecimento, melhores rendimentos são obtidos com relação molar álcool/óleo de 12:1, já com emprego de temperaturas mais baixas, a relação deve ser de 6:1 para óleo de *Raphanus sativus* (Da Silva et al., 2009). Valle et al. (2009), realizaram um amplo estudo sobre a influência das variáveis no processo de obtenção de ésteres etílicos de nabo forrageiro, e estabeleceram que, ao contrário de outros pesquisadores, a diferença da relação etanol/óleo na faixa de 6/1 até 14/1, não apresenta influência significativa sobre os ésteres produzidos.

Outra forma estudada visando otimização de operação do processo de produção de biodiesel é o emprego de alcoóis supercríticos. Em pesquisa realizada por Valle et al. (2010), elevados teores de ésteres foram obtidos tanto para metanol, quanto para etanol partindo de condições operacionais de relação molar álcool/óleo de 39/1, temperatura de reação de 592K e 22 minutos de tempo de reação.

O balanço energético de uma cultura pode ser considerado o parâmetro mais adequado para se definir a viabilidade de algum programa bioenergético, sendo que os fatores que determinam esta viabilidade são os custos energéticos (Alves, 2007). Em comparação com outras culturas, o nabo forrageiro leva vantagem em questões de balanço energético como pode ser visualizado na Tabela 3.

Alguns valores de balanços energéticos de determinadas culturas podem variar conforme literatura, isso pode ser explicado por diferentes sistemas de produção empregados e pelo nível de tecnologia envolvido no processo, no entanto fica evidente a superioridade no retorno energético apresentado pelo nabo forrageiro se comparado com as demais oleaginosas.

Tabela 3. Balanço energético para produção de biodiesel a partir de diferentes fontes.

Cultura	Índice de Balanço Energético	Fonte
Nabo Forrageiro	8,44	Siqueira et al. (2008)
Canola	2,19	Gazzoni et al. (2009)
Dendê	4,6	Gazzoni et al. (2009)
Mamona	1,28	Almeida Neto et al. (2004)
Soja	5,44	Melo et al. (2007)

Adaptado de SILVA (2013).

Conclusões

Com o presente trabalho se é possível concluir que o biodiesel produzido partindo do óleo das sementes de nabo se enquadra nas especificações internacionais, apresentando qualidade superior ao produzido a partir de outras oleaginosas.

A cultura do nabo forrageiro apresenta grande aplicabilidade na rotação de culturas, tendo em vista sua alta capacidade de reciclar nutrientes e atuação na descompactação do solo. É importante ressaltar que informações técnicas sobre seu cultivo são escassas em todos seus aspectos, tanto econômicos, sociais, produtivos ambientais e energéticos.

Referências

ALMEIDA NETO, J.A.; CRUZ, R.S. da; ALVES, J.M.; PIRES, M. de M.; ROBRA, S.; PARENTE JR., E. Balanço energético de ésteres metílicos e etílicos do óleo de mamona. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 7, Campina Grande. **Anais eletrônicos**. 2004.

ALVES, J.O. **Eco-eficiência na produção de energia com biomassa de mamona: além do biodiesel**. Dissertação (Mestrado), Programa em Regulação da Indústria de Energia, Universidade Salvador. 2007.

ÁVILA, R.N. de A.; SODRÉ, J.R. Physical–chemical properties and thermal behavior of fodder radish crude oil and biodiesel. **Industrial Crops and Products**, v.38, p.54–57. 2012.

BILICH, F.; SILVA, R. da; Análise Multicritério da Produção de Biodiesel. **XIII SIMPEP**, Bauru – SP. 2006.

CALEGARI, A. Espécies para cobertura de solo. In: **Plantio direto: pequena propriedade sustentável**. Londrina: Iapar, 1998. p.65-94. (Circular, 101).

CAMPO, C.G. Taxonomy. **Biology of Brassica Coenospecies**, p.3-32. 1999.

CHAMMOUN, N.; GELLER, D.P.; DAS, K.C. Fuel properties, performance testing and economic feasibility of *Raphanus sativus* (oilseed radish) biodiesel. **Industrial Crops and Products**, v.45, p.155–159. 2013.

CRUSCIOL, C.A.C.; COTTICA, R.L.; LIMA, E. de V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.40, n.2, p.161-168. 2005.

DA SILVA, N.L.; BATISTELLA, C.D.; FILHO, R.M.; MACIEL, M.R.L. Biodiesel production from castor oil: optimization of alkaline ethanolysis. **Energy Fuels**, v.23, p.5636–42. 2009.

DAMBISKI, L. **Síntese de biodiesel de óleo de nabo forrageiro empregando metanol supercrítico**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, UTFPR, Curitiba-PR. 2007

DERPSCH, R.; CALEGARI, A. **Plantas para adubação verde de inverno**. Londrina: Iapar, 1992. 80p. (Circular, 73).

GAZZONI, D.L.; BORGES, J.L.B.; ÁVILA, M.T. de; FELICI, P.H.N. Balanço energético da cultura da canola para a produção de biodiesel. **Espaço Energia**, Curitiba, v.11, p.24-28. 2009.

HASS, M.J.; FOGLIA, T. A. Matérias primas alternativas e tecnologias para a produção de biodiesel. In: KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J. **Manual de Biodiesel**. Tradução de Luiz Pereira Ramos. São Paulo: Editora Edgard Blucher. 340p. 2006.

KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J. **Manual de Biodiesel**. Tradução de Luiz Pereira Ramos. São Paulo: Editora Edgard Blucher, Cap.1, 340p. 2006.

LIMA, J.D.; ALDRIGHI, M.; SAKAI, R.K.; SOLIMAN, E.P.; MORAES, W. da S. Comportamento do nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e da nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.) como adubo verde. **Pesq. Agropec. Trop.**, v.37, n.1, p.60-63. 2007.

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas**. 6ª Ed. CEP 13.460-000, Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2006.

MELO, D.; PEREIRA, J.O.; SOUZA, E.G.; FILHO, A.G.; NÓBREGA, L.H.P.; NETO, R.P. Balanço energético do sistema de produção de soja e milho em produtividade agrícola do oeste do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.2, p.173-178. 2007.

PEREIRA, P.P. **Biodiesel e agricultura familiar: estudos do nabo forrageiro**. Dissertação (Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco-PR. 2012.

ROSSATO, R.R. **Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo do milho e trigo sob plantio direto**. Dissertação (Mestrado), Pós-Graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal de Santa Maria – RS. 2004.

SALTON, J.C.; PITOL, C.; SIEDE, P.K.; HERNANI, L.C.; ENDRES, V.C. **Nabo Forrageiro: Sistemas de Manejo**. Fundação MS para pesquisa e difusão de tecnologias agropecuárias. Dourados-MS. 1995.

SILVA, A.R.B. da; MARTINEZ, M.M.; MAIA, J.C. de S.; SILVA, M.L.L.; SILVA, T.R.B. Comportamento de cultivares de nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) em função da variação

da população de espaçamento entre linhas. **II Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, Gorduras e Biodiesel**, p.113-117. Varginha. MG. 2005.

SILVA, L.F.L. **Viabilidade econômica das culturas de canola, nabo forrageiro e batata doce para a produção de biocombustíveis no sul de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação em Agronomia, Lavras-MG. 2013.

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., Foz do Iguaçu, **Anais...** Foz do Iguaçu: CIGR, 2008.

SLUSZZ, T.; MACHADO, J.A.D. características das potenciais culturas matérias-primas do biodiesel e sua adoção pela agricultura familiar. **XLIV Congresso da Sober**, pp.20. Fortaleza. 2006.

TEIXEIRA, L.M.R.; ZAMPIEROM, S.L.M. Estudo da Biologia Floral e Entomo fauna Associada ao Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus*): Cruciferae, Resultados Prévios. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, p.135-137. 2007.

THEISEN, G. Aspectos botânicos e relato da resistência de nabo silvestre aos herbicidas inibidores de ALS. **Documentos 239**, Embrapa. 2008.

VALLE, P.W.P.A.; REZENDE, T.F.; SOUZA, R.A.; FORTES, I.C.P.; PASA, V.M.D. Combination of fractional factorial and Doehlert experimental designs in biodiesel production: ethanolysis of *Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* stokes oil catalyzed by sodium ethoxide. **Energy Fuels**, v.23, p.5219–27. 2009.

VALLE, P.; VELEZ, A.; HEGEL, P.; MABE, G.; BRIGNOLE, E.A. Biodiesel production using supercritical alcohols with a non-edible vegetable oil in a batch reactor. **Journal of Supercritical Fluids**, v.54, p.61–70. 2010.

WIETHÖLTER, S. Nitrogênio para Trigo obtido através do cultivo intercalar de Nabo forrageiro. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, Ribeirão Preto. Anais. Ribeirão Preto. 2003.

Recebido para publicação em: 28/05/2013

Aceito para publicação em: 29/06/2013