



## **Avaliação do ciclo de vida da produção experimental de grãos de pinhão-mansão no semiárido brasileiro**

A. C. G. DONKE<sup>1</sup>, M. I. S. FOLEGATTI-MATSUURA<sup>1</sup>, M. A. DRUMOND<sup>2</sup>, J. B. ANJOS<sup>2</sup>,  
P. P. B. FERREIRA<sup>2</sup>, G. A. SILVA<sup>3</sup> e L. A. KULAY<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>CNPMA - Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP 340 – Km 127,5 - Jaguariúna, São Paulo.

ana.donke@gmail.com; marilia@cnpma.embrapa.br

<sup>2</sup>CPATSA - Embrapa Semiárido

Rodovia BR 428 - Km 152 – Petrolina, Pernambuco.

drumond@cpatsa.embrapa.br; jbanjos@cpatsa.embrapa.br; paulo.bolsista@cpatsa.embrapa.br

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Química - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Av. Prof. Luciano Gualberto, trav. 3, 380, São Paulo, São Paulo.

gil.anderi@poli.usp.br; luiz.kulay@poli.usp.br

O estudo compreende a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) de um sistema de produção de grãos de pinhão-mansão que está sendo desenvolvido para a região do Semiárido brasileiro. Este sistema, que obteve a mais alta produtividade de grãos de pinhão-mansão já relatada para o país, tem como principais diferenciais a prática de podas anuais e de irrigação. O estudo adota uma abordagem “cradle-to-gate” e se encerra na fase agrícola de produção. A função do sistema de produto é produzir grãos de pinhão-mansão destinados à extração de óleo para a síntese de biodiesel; a unidade funcional é 7,68E+03 kg de grãos, que correspondem à produção total obtida em 0,108 ha, durante 20 anos. As fronteiras do sistema incluem a produção de mudas e grãos de pinhão-mansão; a produção e transporte de insumos agrícolas e óleo diesel; e a produção e distribuição de energia elétrica. Os dados utilizados são de fonte primária e secundária. Na avaliação deste sistema destacaram-se as categorias de impacto ambiental Toxicidade Humana, Ecotoxicidade Terrestre e Aquática e Eutrofização, influenciadas pela disposição de resíduos agrícolas no meio ambiente. Este novo sistema de produção também obteve resultados negativos quanto à Depleção de Recursos Hídricos, devido ao consumo de água para irrigação.

### **1. Introdução**

No ano de 2004, foi lançado no Brasil o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), considerado um marco para o desenvolvimento da produção deste combustível. Em 2005, foi publicada a Lei nº 11.097, que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira, estabelecendo a obrigatoriedade de se adicionar no mínimo 5%, em volume, de biodiesel ao óleo diesel comercializado no país, até o ano de 2013.



Muitas foram as motivações para a criação do Programa. No âmbito econômico, o aumento constante dos preços do petróleo nos últimos 30 anos motivou o país a diminuir sua dependência de combustíveis fósseis na matriz energética. O aumento da temperatura global, cuja principal responsável apontada é a intensificação do efeito estufa causada por excessiva queima de combustíveis fósseis, também foi um incentivo ao desenvolvimento de alternativas mais limpas. Esforços mundiais têm sido feitos para a diminuição das emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE) e os biocombustíveis podem contribuir por serem menos poluentes que os combustíveis fósseis na fase de queima e serem capazes de reduzir os níveis de CO<sub>2</sub> da atmosfera na fase de produção (ANP, 2011). Do ponto de vista social, a chegada desse novo combustível traz a oportunidade de introduzir a agricultura familiar brasileira em um novo setor produtivo. Para isso, junto com o PNPB foi criado o Selo Combustível Social, um conjunto de incentivos fiscais à inclusão social na agricultura. Essa articulação é orientada ao desenvolvimento de regiões do país que necessitam de maior atenção, como Norte e Nordeste, e em especial a região do Semiárido, visando atenuar as disparidades regionais (Ministério de Minas e Energia). Com o incentivo à produção de culturas energéticas adaptadas às condições edafoclimáticas e com o desenvolvimento de tecnologias de produção adequadas, as potencialidades naturais destas regiões podem ser aproveitadas, gerando empregos e renda para sua população.

Nesse cenário, o pinhão-manso é reconhecido como uma espécie promissora, já que apresenta relativa tolerância às restrições inerentes a regiões marginais – às quais culturas alimentares não se adaptam - e alta produtividade de óleo por área, alcançando duas toneladas por hectare (CARNIELLE, 2003). Porém, a cultura encontra-se ainda em fase de domesticação, estando sendo desenvolvidas tecnologias de produção adequadas para as diferentes regiões do país. Em um trabalho anterior, foi avaliada a produção de pinhão-manso em sistema adaptado para o Cerrado (FOLEGATTI-MATSUURA, 2011); agora, o estudo é estendido a um novo bioma. No presente trabalho, é avaliado o desempenho ambiental de um sistema de produção de grãos de pinhão-manso adaptado ao Semiárido brasileiro, ainda em fase experimental. Este novo sistema de produção introduziu as práticas de irrigação e podas anuais e resultou em alta produtividade. Os potenciais impactos ambientais deste novo sistema devem ser analisados e para tal adotou-se a metodologia de ACV, com uma abordagem “cradle-to-gate”.

## **2. Objetivo e escopo**

O objetivo do trabalho é avaliar o desempenho ambiental de um sistema de produção de grãos de pinhão-manso adaptado ao Semiárido brasileiro, ainda em fase experimental. A metodologia baseou-se nos requisitos técnicos da norma ABNT NBR ISO 14044 (ABNT, 2009). Considerou-se o seguinte escopo:

- a) Sistema de Produto: sistema de produção de grãos de pinhão-manso (experimental).



b) Função e unidade funcional: a função do sistema é produzir grãos de pinhão-manso destinados à síntese de biodiesel. A unidade funcional é  $7,68E+03$  kg de grãos, que correspondem à produção total obtida em 0,108 ha, durante 20 anos.

c) Fronteiras do sistema: os processos abrangidos são a produção de mudas de pinhão-manso e a produção e transporte de grãos de pinhão-manso, insumos agrícolas, diesel e eletricidade.

d) Tipos de dados: os dados de consumo de água, insumos agrícolas e diesel referentes à produção de mudas e grãos de pinhão-manso foram obtidos na área experimental, portanto são dados primários. Os dados referentes ao consumo de energia elétrica e à produção de biomassa, frutos e grãos foram medidos ou calculados de acordo com os pressupostos expostos abaixo. Os dados referentes à produção dos insumos agrícolas e geração e distribuição de energia elétrica advêm da base de dados Ecoinvent 2.2; aqueles relativos à produção e distribuição de óleo diesel foram modelados por Kulay et al. (2011); as emissões foram calculadas com base em dados e modelos encontrados na literatura científica - todos estes, dados secundários.

e) Critério de qualidade dos dados: abrangência geográfica – área experimental localizada no município de Santa Maria da Boa Vista, PE. Abrangência temporal – de 2007 a 2010. Abrangência tecnológica – o sistema de produção de grãos de pinhão-manso inclui o cultivo mínimo, e introduz as práticas de irrigação por gotejamento e podas anuais.

f) Método de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida: ReCiPe Midpoint (H) V1.06 / World ReCiPe H, excluindo-se as categorias de impacto “Radiação Ionizante”, “Eutrofização e Ecotoxicidade Marinha” e “Ocupação de Terra Urbana”, por não serem pertinentes ao objeto do estudo.

### **3. Inventário do Ciclo de Vida**

Este estudo avaliou duas condições de irrigação: a) a primeira correspondeu à aplicação de água durante dez meses por ano, suspensa durante os dois meses chuvosos; b) a segunda correspondeu à condução da irrigação durante o ano todo. Quando praticada, a irrigação foi feita semanalmente, por gotejamento, com uma aplicação média de 3,3mm de água por planta (sendo que a precipitação pluvial média anual da região é de 600 mm e a temperatura média diária é de  $26,2^{\circ}\text{C}$ ). O consumo de energia elétrica para a irrigação foi estimado considerando-se o uso de uma bomba de 50 CV, de vazão média, funcionando durante 1 hora por semana.

A massa dos frutos produzidos aos 12 meses foi calculada multiplicando-se o número de frutos produzidos, que foi medido, pela massa média de uma unidade. Assumiu-se que a produção de grãos do terceiro ao vigésimo ano foi equivalente à do segundo ano de produção. A biomassa removida por poda foi medida aos 24 meses; este mesmo valor foi adotado para os anos seguintes. A biomassa removida por poda aos 12 meses foi estimada considerando-se uma proporção simples entre altura e biomassa da planta, tomando-se como referência a biomassa retirada por poda aos 24 meses.



Para o cálculo da emissão de gases de efeito estufa por mudança do uso da terra foi considerado como uso anterior a fruticultura permanente de manga e o estoque de C orgânico no solo medido na profundidade de 0-15 cm. Para as estimativas da movimentação de produtos fitossanitários por lixiviação foram utilizados dados do tipo de solo mais comum na região, provenientes da literatura científica (SILVA et al, 2008). Os principais aspectos ambientais, de um total de 81 aspectos quantificados no Inventário do Ciclo de Vida da produção de grãos de pinhão-mansão, são apresentados na Tabela 1.

#### **4. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida**

De maneira geral, as categorias de impacto ambiental mais importantes para a produção de grãos de pinhão-mansão foram a Toxicidade Humana, Ecotoxicidade Terrestre, Eutrofização e Ecotoxicidade de Água Doce.

A disposição de resíduos agrícolas no meio ambiente - sem prévio tratamento e desconsiderando-se o aporte de nutrientes que estes conferem, que deveria ser descontado da quantidade de fertilizante sintético adicionada ao sistema - é o principal responsável pelo potencial de Toxicidade Humana, Ecotoxicidade Terrestre e Eutrofização da produção de grãos de pinhão-mansão. O fósforo, depositado no solo, é a principal substância concorrente para estes impactos. Cabe destacar que nas condições climáticas do Semiárido, com temperaturas altas e constantes, e sob irrigação, a produção de biomassa, e conseqüentemente de resíduos agrícolas, é muito alta.

Também para a Ecotoxicidade de Água Doce, a disposição de resíduos agrícolas é um processo gerador de impacto, embora a disposição de resíduos industriais em fases do ciclo de vida anteriores à agrícola seja o maior contribuinte. O fósforo depositado no solo e metais pesados destinados à água são as substâncias que respondem diretamente por este impacto.

Para todas as categorias de impacto avaliadas, a condição que empregou irrigação durante todos os meses do ano apresentou pior desempenho, por consumir maior quantidade de água e eletricidade. As categorias de impacto Depleção de Água e Transformação de Ambientes Naturais, respectivamente, foram influenciadas por estes consumos. O uso de eletricidade também teve conseqüências no impacto de Mudanças Climáticas, também afetado pelo processo agrícola de produção.

#### **5. Conclusão**

A viabilização do cultivo do pinhão-mansão em áreas marginais, como as do Semiárido Brasileiro, é ainda um desafio para a pesquisa agrícola brasileira. Características climáticas como temperaturas altas e constantes durante o ano podem favorecer o desenvolvimento desta espécie, de origem tropical. Entretanto, a baixa pluviosidade exige irrigação, que pode se restringir à de sobrevivência. Resultados experimentais têm mostrado uma elevada produtividade de biomassa, inclusive de frutos, neste ambiente.



Tabela 1: Principais aspectos ambientais da produção de grãos de pinhão-mansão

	Produção de Mudas	Preparo do Solo e Plantio	Condução e Beneficiamento dos Grãos
Saídas conhecidas para a tecnosfera			
Grãos de pinhão-mansão (kg)	-	-	7.68E+03
Entradas conhecidas da natureza			
Água (m <sup>3</sup> )	3.60E-01	-	-
Água - Irrigação por 10 meses ao ano (m <sup>3</sup> )	-	-	3.10E+03
Água - Irrigação por 12 meses ao ano (m <sup>3</sup> )	-	-	3.74E+03
Solo (kg)	9.30E+01	-	-
Ocupação, cultura perene (ha)	-	1.08E-01	-
Transformação de cultura irrigada (ha)	-	1.08E-01	-
Transformação para cultura perene irrigada (ha)	-	1.08E-01	-
Entradas conhecidas da tecnosfera			
Energia elétrica (kWh)	1.88E+02	-	-
Energia elétrica (kWh) - Irrigação por 10 meses ao ano	-	-	3.42E+04
Energia elétrica (kWh) - Irrigação por 12 meses ao ano	-	-	4.14E+04
Sementes de pinhao-manso (kg)	1.16E-01	-	-
Esterco caprino (kg)	2.55E+01	-	-
Ureia (kg)	-	4.32E+00	5.40E+01
Superfosfato simples (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (kg)	-	9.18E+00	5.40E+01
Óxido de potássio (K <sub>2</sub> O) (kg)	-	5.94E+00	5.40E+01
Formicidol, como Malationa (kg)	-	4.05E-02	-
Diesel (kg)	-	5.60E+00	-
Tetraborato de sódio (kg)	-	-	2.16E-01
Emissões para a atmosfera			
CO <sub>2</sub> , Mudança de Uso da Terra (kg)	-	5.48E+02	-
CO <sub>2</sub> , fóssil (kg)	-	2.06E+01	3.96E-02
N <sub>2</sub> O (kg)	8.59E-01	3.85E+01	5.17E-01
NO <sub>x</sub> (kg)	8.59E-02	4.04E+00	5.17E-02
Emissões para águas superficiais			
Ni (kg)	-	5.78E-09	3.50E-07
Zn (kg)	-	4.48E-08	2.87E-06
Emissões para águas subterrâneas			
PO <sub>4</sub> (kg)	8.69E-06	1.34E-04	7.85E-04
Emissões para o solo			
PO <sub>4</sub> (kg)	2.99E-03	4.59E-02	4.59E-02
Resíduos para tratamento			
Resíduos vegetais (kg)	-	-	2.78E+04



A avaliação de impactos ambientais potenciais nesta fase de pesquisa deve orientar o desenvolvimento do sistema de produção do pinhão-mansão com vistas à melhoria do seu desempenho ambiental. O ponto crítico mais evidente identificado neste estudo de ACV foi a destinação de resíduos agrícolas. Se devidamente manejados, os resíduos que atualmente representam um contaminante ambiental poderiam vir a servir como fertilizante orgânico, substituindo parcialmente o fertilizante sintético e por consequência reduzindo a carga ambiental da sua produção. A otimização do consumo de água, especialmente por se tratar de um ambiente de restrição hídrica, e de energia elétrica são outros pontos que merecem atenção.

### **Agradecimentos**

Este trabalho foi apoiado pela FINEP, por meio do Projeto BRJATROPHA, e pelo PQ 7 da Comissão Europeia, por meio do projeto Jatropa curcas: Applied and Technological Research on Plant Traits (JATROPT).

### **Referências**

- BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 14 jan. 2005. p. 8.
- BIOCOMBUSTÍVEIS. In: Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2011. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/?id=470>>. Acesso em 27 março 2012.
- BIODIESEL – Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel: Selo Combustível Social. In: Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/selo\\_combustivel\\_social.html](http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/menu/selo_combustivel_social.html)>. Acesso em 28 março 2012.
- CARNIELLI, F. O combustível do futuro. Boletim Informativo - UFMG, Belo Horizonte, v. 29, n. 1413, 2003. Disponível em: <<http://www.ufmg.br/boletim/bol1413/quarta.shtml>>. Acesso em: 28 março 2012.
- FOLEGATTI-MATSUURA, M.I.S.; SILVA, G.A. da; KULAY, L.A.; LAVIOLA, B.G. Life cycle inventory of physic nut biodiesel: comparison between the manual and mechanized agricultural production systems practiced in Brazil. In: FINKBEINER, M. (ed.) **Towards Life Cycle Sustainability Management**. Berlin: Springer, 2011. p.425-436.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044**: gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida – requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009.
- KULAY, L. A.; SEO, E. S. M.; GIANELLA, F. Determination of the higher performance blend biodiesel-based on technical and systemic environmental criteria. Disponível em: <http://www.lcacenter.org/LCA8/abstracts/346.htm>. Acesso em: 7 out 2011.
- SILVA, M. S. L. *et al.* Caracterização de atributos do solo em áreas de barragem subterrânea no semi-árido brasileiro. **Embrapa Solos - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, n. 128, 2008.
- SILVA, M. S. L. *et al.* Caracterização morfológica e física dos solos adensados dos tabuleiros sertanejos do estado de Pernambuco. **Embrapa Solos – Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, n.134, 2008.