

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CULTURA DO CRAMBE (*Crambe abyssinica* Hochst):
AVALIAÇÃO ENERGÉTICA, DE CUSTO DE PRODUÇÃO E
PRODUTIVIDADE EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

SAMIR PAULO JASPER

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu - UNESP, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP

Agosto – 2009

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CULTURA DO CRAMBE (*Crambe abyssinica* Hochst):
AVALIAÇÃO ENERGÉTICA, DE CUSTO DE PRODUÇÃO E
PRODUTIVIDADE EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO**

SAMIR PAULO JASPER

Orientador: Marco Antônio Martin Biaggioni

Co-orientador: Paulo Roberto Arbex Silva

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu - UNESP, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Energia na Agricultura.

BOTUCATU-SP

Agosto – 2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

J39c Jasper, Samir Paulo, 1982-
Cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst): avaliação energética, de custo de produção e produtividade em sistema de plantio direto / Samir Paulo Jasper. - Botucatu : [s.n.], 2009.
xiv, 103 f. : ils. color, fots. color, tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2009
Orientador: Marco Antônio Martin Biaggioni
Co-orientador: Paulo Roberto Arbex Silva
Inclui bibliografia.

1. Biodiesel. 2. Crambe. 3. Análise econômica. 4. Análise energética. I. Biaggioni, Marco Antônio Martin. II. Silva, Paulo Roberto Arbex. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CULTURA DO CRAMBE (*Crambe abyssinica* Hochst): AVALIAÇÃO
ENERGÉTICA, DE CUSTOS DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE
EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO",

ALUNO: SAMIR PAULO JASPER

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI
CO-ORIENTADOR: PAULO ROBERTO ARBEX SILVA

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI



PROF. DR. ANTONIO RENAN BERCHOL DA SILVA



PROF. DR. LUIS FERNANDO NICOLOSI BRAVIN



PROF. DR. OSMAR DE CARVALHO BUENO



PROF. DR. MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI

Data da Realização: 10 de agosto 2009.

“Temos que investir em fontes alternativas de energia, como energia solar, eólica e biodiesel.”

Barack Obama, presidente dos EUA.

DEDICO

*Aos Meus Avós Maternos (in memoriam),
Max Pedro Beims e Natálice Gomes Beims*

“... SEI QUE ONDE ESTIVEREM ME PROTEGERAM...”.

A Namir José Jasper e Maria Aparecida Jasper, meus pais.

*MEU AMOR E GRATIDÃO POR ME PERMITIREM A GRAÇA
DO NASCIMENTO E PELA LUTA ABNEGADA AOS SEUS
FILHOS.*

*QUE INCANSAVELMENTE EMBALARAM CADA SONHO
LAPIDARAM COM SABEDORIA E SUTILEZA MINHA
PERSONALIDADE, APOIARAM CADA PROJETO,
REVERTERAM PROBLEMAS, TORCERAM PARA QUE MEUS
OBJETIVOS FOSSEM ALCANÇADOS, MEU ETERNO,
“OBRIGADO”.*

*Aos meus irmãos **Samuel** e **Caroline** que participaram desta
luta, ao meu cunhado **Haroldo** e aos meus sobrinhos **Marcos e
Valentina**. Obrigado por SEMPRE e TUDO, especialmente por
dividirem comigo este momento tão ímpar em minha vida.*

*“Ofereço essa conquista, com o mais profundo amor, admiração e
respeito”.*

AGRADECIMENTOS

Deus, fonte da minha sabedoria, eterna gratidão!

Não existem palavras, que possam agradecer às pessoas do Professor Alberto Kazushi Nagaoka e do Professor Marco Antônio Martin Biaggioni, meus orientadores, pela competente orientação, entusiasmo e energia, que transmitiram com convicção, durante o período da graduação e pós-graduação, respectivamente.

Aos Coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia / Energia na Agricultura, Professores Zacarias Xavier de Barros e Marco Antônio Martin Biaggioni, pela vaga concedida, apoio e atenção durante o curso.

Ao grande colega, ou melhor, amigo Paulo Roberto Arbex Silva, pelos questionamentos, sugestões, oposições, etc. Mas, no fim, tenho certeza de que queria o melhor do presente trabalho.

Aos colegas de curso, em especial, André Satoshi Seki, Fabrício Campos Masiero, Fernando de Lima Caneppele e Marcelo Ferrasa pela convivência, companheirismo e amizade.

Ao Saulo Philipe Sebastião Guerra.

Aos Amigos de Lages e de Botucatu.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural, especialmente a Sílvia Scolastici, Gilberto Winckler, Maury Torres da Silva, Pedro Alves, e Rita de Cássia M. Gomes.

Às funcionárias da Seção de Pós-Graduação e aos funcionários da Biblioteca Paulo de Carvalho Mattos da FCA/UNESP pelos serviços prestados e atenções dispensadas.

À Universidade Estadual de Paulista / UNESP, pelos conhecimentos adquiridos durante a realização do curso. À CNPQ pela ajuda financeira durante o curso, possibilitando a realização das atividades para a conclusão do trabalho de pesquisa.

Ao Grupo HR, ao Portal CRAMBEBIODIESEL e Fundação MS.

Enfim, agradeço a todos que nestes últimos anos me ajudaram a ser hoje uma pessoa melhor em todos os aspectos e àqueles que até neste momento não foram lembrados, porém jamais esquecidos.

"O lucro do nosso estudo é tornarmo-nos melhores e mais sábios."

(Michel de Montaigne)

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE FIGURAS	XIV
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
4.1 Matriz energética mundial e brasileira.....	8
4.2 Matérias-primas para combustíveis renováveis.....	9
4.3 Biodiesel	11
4.4 Propriedades e Especificações	14
4.5 A agricultura brasileira e seu potencial ao cultivo de plantas energéticas.....	15
4.6 Crambe.....	17
4.7 Relações energéticas na produção agrícola.....	25
4.7.1 Classificação de energia.....	25
4.7.2 Análise energética.....	25
4.7.3 Matriz energética	27
4.7.3.1 Entradas energéticas	27
4.7.3.2 Saídas energéticas	30
4.8 Custos de Produção.....	30
4.8.1 Custos Fixos.....	31
4.8.1.1 Depreciação	31
4.8.1.2 Demais Custos Fixos	31
4.8.2 Custos Variáveis	31
5 MATERIAL E MÉTODOS	33
5.1 Material.....	33
5.1.1 Área experimental.....	33
5.1.2 Caracterização do solo	34
5.1.3 Dados climatológicos.....	35

5.1.4	Máquinas e Implementos	36
5.1.5	Sementes, fertilizantes e defensivos agrícolas.....	37
5.1.6	Sistema de aquisição de dados.....	38
5.1.7	Determinação do consumo horário de combustível.....	38
5.1.8	Determinação da força de tração	39
5.1.9	Determinação do torque na tomada de potência (TDP).....	40
5.1.10	Determinação da rotação na tomada de potência (TDP)	41
5.2	Métodos	41
5.2.1	Instalação e condução do experimento	41
5.2.2	Instalação e condução do experimento	44
5.2.2.1	Dessecação da área	44
5.2.2.2	Semeadura do crambe.....	44
5.2.2.3	Transporte do crambe	45
5.2.3	Avaliação fitotécnica da cultura	45
5.2.3.1	Altura das plantas.....	45
5.2.4	Componentes de produção.....	45
5.2.4.1	População inicial e final de plantas.....	45
5.2.4.2	Produtividade de Grãos.....	45
5.2.4.3	Produtividade de óleo	46
5.2.5	Caracterização das operações mecanizadas.....	46
5.2.5.1	Aquisição dos dados	46
5.2.5.2	Determinação da velocidade de deslocamento	47
5.2.5.3	Capacidade de campo efetiva.....	48
5.2.5.4	Tempo efetivo demandado.....	48
5.2.5.5	Consumo horário de combustível	49
5.2.5.6	Consumo de combustível por área.....	49
5.2.5.7	Força média na barra de tração.....	50
5.2.5.8	Força máxima na barra de tração	50
5.2.5.9	Potência média requerida na barra de tração do trator.....	50
5.2.5.10	Potência máxima requerida na barra de tração do trator	51
5.2.5.11	Força de tração média requerida por linha de semeadura.....	51

5.2.5.12	Torque médio na tomada de potência (TDP) do trator	52
5.2.5.13	Torque máximo na tomada de potência (TDP) do trator	52
5.2.5.14	Rotação instantânea da tomada de potência do trator (TDP).....	52
5.2.5.15	Potência média na tomada de potência (TDP).....	53
5.2.5.16	Potência máxima na tomada de potência (TDP).....	53
5.2.5.17	Potência determinada através do consumo horário de combustível	54
5.2.5.17.1.	Potência teórica.....	54
5.2.5.17.2.	Potência efetiva	54
5.2.5.17.3.	Uso específico de energia por área	55
5.2.6	Indicadores de eficiência energética do crambe	55
5.2.7	Análise do custo de produção da cultura do crambe.....	58
5.2.7.1	Custos fixos.....	58
5.2.7.1.1.	Depreciação	58
5.2.7.1.2.	Juros	59
5.2.7.1.3.	Manutenção, Lubrificantes, Graxas, Alojamento e Seguro	59
5.2.7.1.4.	Mão-de-obra.....	60
5.2.7.2	Custos variáveis	60
5.2.7.2.1.	Insumos.....	60
5.2.7.2.2.	Combustível.....	60
5.2.8	Análise de qualidade do óleo e do biodiesel do crambe.....	61
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
6.1	Avaliação fitotécnica da cultura do crambe.....	62
6.2	Caracterização das operações mecanizadas	63
6.2.1	Caracterização da operação de pulverização	63
6.2.2	Caracterização da operação de semeadura do crambe.....	64
6.2.3	Caracterização da operação de colheita do crambe	66
6.2.4	Caracterização do transporte do crambe.....	66
6.2.5	Caracterização das diversas operações realizadas no crambe.....	67
6.3	Custo de implantação do crambe.....	68
6.3.1	Custo da dessecação da área	68
6.3.2	Custo da semeadura do crambe	69

6.3.3	Custo da colheita do crambe.....	70
6.3.4	Custo do transporte interno do crambe.....	71
6.3.5	Custo total das diversas operações.....	72
6.4	Análise Energética.....	73
6.4.1	Dessecação da área.....	73
6.4.2	Tratamento da semente.....	73
6.4.3	Semeadura e adubação.....	74
6.4.4	Colheita e transporte interno.....	75
6.4.5	Dispêndio energético da produção de crambe.....	76
6.4.6	Matriz energética da produção de crambe.....	77
6.5	Propriedades físicas e químicas do óleo do crambe.....	79
6.5.1	Propriedades físicas e químicas do biodiesel.....	82
7	CONCLUSÕES.....	85
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
	APÊNDICE.....	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resumo da oferta interna de energia no Brasil.	9
Tabela 2. Características de algumas culturas oleaginosas com potencial de uso energético. 15	
Tabela 3. Análise química do solo da área experimental nas camadas de 0,00 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m.	35
Tabela 4. Equipamentos utilizados, suas características, vida útil, horas de uso anual e valor de mercado.	37
Tabela 5. Insumos e defensivos utilizados na cultura do crambe.	38
Tabela 6. Ordem cronológica das atividades realizadas no experimento.	42
Tabela 7. Coeficientes para conversão de unidades físicas em unidades energéticas.	56
Tabela 8. Dispendio de energia de agricultores por tipo de trabalho agrícola, em fração correspondente ao GER.	57
Tabela 10. Valores mínimos, máximos e médios da altura de plantas, população inicial e final de plantas por hectares e produtividade de grãos e litros de óleo por hectare, na cultura do crambe implantada sob plantio direto.	62
Tabela 11. Valores mínimo, máximo e médio da velocidade de deslocamento (km h^{-1}), capacidade operacional efetiva - CE (ha h^{-1}), tempo efetivo demandado – Td (h ha^{-1}); consumo horário de combustível - CCh (L h^{-1}) e consumo de combustível por área – CCa (L ha^{-1}), nas operações de pulverização com taxa de aplicação de 210 L ha^{-1} e pressão de 50 Lb po^2	63
Tabela 12. Valores mínimo, máximo e médio de tração (kN); tração máxima (kN); torque médio (Nm); torque máximo (Nm); rotação TDP (rpm); potência média na barra (kW); potência máxima na barra (kW); potência média na TDP (kW); potência máxima na TDP (kW); potência requerida (kW); potência máxima requerida (kW) e uso específico de energia por área – Uea (kW h ha^{-1}).	64
Tabela 13. Valores mínimo, máximo e médio da velocidade de deslocamento (km h^{-1}), capacidade operacional efetiva - CE (ha h^{-1}), tempo efetivo demandado – Td (h ha^{-1}); consumo horário de combustível - CCh (L h^{-1}) e consumo de combustível por área – CCa (L ha^{-1}), na operação de semeadura do crambe.	65

Tabela 14. Valores médios de força média de tração (kN); tração máxima (kN); força média requerida por linha de semeadura (kN); potência média na barra (kW); potência máxima na barra (kW) e uso específico de energia por área – Uea (kW h ha ⁻¹), na operação de semeadura do crambe.....	65
Tabela 15. Valores médios da velocidade de deslocamento (km h ⁻¹), capacidade operacional efetiva - CE (ha h ⁻¹), tempo efetivo demandado – Td (h ha ⁻¹); consumo horário de combustível - CCh (L h ⁻¹); consumo de combustível por área – CCa (L ha ⁻¹); potência efetiva (kW) e uso específico de energia por área – Uea (kW h ha ⁻¹), na operação de colheita do crambe.	66
Tabela 16. Valores médios da velocidade de deslocamento (km h ⁻¹), capacidade operacional efetiva - CE (ha h ⁻¹), tempo efetivo demandado – Td (h ha ⁻¹); consumo horário de combustível - CCh (L h ⁻¹) e consumo de combustível por área – CCa (L ha ⁻¹), nas operações de transporte do crambe.....	67
Tabela 17. Valores médios de força média de tração (kN); tração máxima (kN); potência média na barra (kW); potência máxima na barra (kW) e uso específico de energia por área – Uea (kW h ha ⁻¹), para cada 1 quilômetro percorrido, nas operações de transporte do grão de milho.	67
Tabela 18. Valores médios da capacidade operacional efetiva – CE (ha h ⁻¹), consumo horário de combustível – CCh (L h ⁻¹), consumo de combustível por área – Cca (L ha ⁻¹) e uso específico de energia por área – UEA (kWh ha ⁻¹), nas operações realizadas no crambe.	68
Tabela 19. Valores médios dos custos fixos e variáveis do conjunto trator-pulverizador, por hora (R\$ h ⁻¹) e por hectare (R\$ ha ⁻¹), para dessecação da área, juntamente com o custo por hectare do herbicida.....	69
Tabela 20. Valores médios e porcentagens de participação dos custos fixos e variáveis, por hora (R\$ h ⁻¹) e por hectare (R\$ ha ⁻¹), para semeadura do crambe, em plantio direto.....	70
Tabela 21. Valores médios e porcentagem de participação dos custos fixos e variáveis, por hora (R\$ h ⁻¹) e por hectare (R\$ ha ⁻¹), para colheita do crambe.....	71
Tabela 22. Valores médios e porcentagem de participação dos custos fixos e variáveis, por hora (R\$ h ⁻¹) e por hectare (R\$ ha ⁻¹), para o transporte interno do crambe.....	71
Tabela 23. Custo médio por hectare (R\$ ha ⁻¹), porcentagem e produtividade (kg ha ⁻¹ e L ha ⁻¹), para a cultura do crambe.....	72

Tabela 24. Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ ha ⁻¹ , e participações percentuais na operação de dessecação.....	73
Tabela 25. Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ ha ⁻¹ , e participações percentuais na operação de tratamento da semente.....	74
Tabela 26. Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ ha ⁻¹ , e participações percentuais na operação de semeadura e adubação.....	75
Tabela 27. Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ ha ⁻¹ , e participações percentuais na operação de colheita e transporte interno.....	76
Tabela 28. Participação das operações no itinerário técnico na produção de crambe, em sistema de plantio direto, em MJ ha ⁻¹	76
Tabela 29. Estrutura de dispêndios, por tipo, fonte e forma; “entradas” culturais, “saídas” úteis, energia cultural líquida e eficiência cultural da produção de crambe.	77
Tabela 30. Parâmetros físicos e químicos do óleo de crambe.	81
Tabela 31. Composição dos ácidos graxos do óleo do crambe.....	81
Tabela 32. Parâmetros físicos e químicos do biodiesel (rota metílica).....	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Potencialidades brasileiras para o cultivo de oleaginosas.....	16
Figura 2. Estruturas reprodutivas do <i>Crambe abyssinica</i> . 1 – Parte inferior e superior da planta; 2 – Flor; 3 – Fruto; e 4 – Corte longitudinal do fruto. Fonte: Google (22/05/2009). ...	19
Figura 3. Croqui da área experimental, utilizada para produção do crambe em sistema de plantio direto, na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP).	34
Figura 4. Precipitação pluvial acumulada (mm) e temperatura média (°C) mensais no ano 2008. Fonte: Departamento de Recursos Naturais - Ciências Ambientais - FCA - UNESP/Lageado - Campus de Botucatu.	35
Figura 5. Fluxômetro instalado no trator para determinação do consumo de combustível. Acoplamento ao sistema de aquisição de dados (1), fluxômetro (2) e filtro de combustível (3).	39
Figura 6. Conjunto para ensaio de força de tração na barra. Suporte metálico “berço” (1) e célula de carga (2).....	40
Figura 7. Conjunto para ensaio de torque na TDP. Torciômetro (1), sensor de rotação (2), roda dentada (3) e mesa de suporte do conjunto torciométrico (4).	41
Figura 8. Operação de semeadura do crambe, com semeadora de fluxo-contínuo, com 15 linhas espaçadas em 0,17m, em sistema de plantio direto.....	42
Figura 9. Vista geral da área experimental do crambe em fase de florescimento, com 60 dias após a semeadura.	43
Figura 10. Área experimental da cultura do crambe antes da colheita, com 90 dias após a semeadura.	43
Figura 11. Operação de colheita, com a colhedora automotriz, com 102 dias após a semeadura.	44
Figura 12. Fluxograma das avaliações realizadas nas operações mecanizadas na cultura do crambe implantada sob sistema plantio direto.....	47

1 RESUMO

O biodiesel é uma realidade no Brasil, devido ao Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), que tornou obrigatório em 2008, adição de 2% de biodiesel em todo diesel comercializado, numa mistura denominada B2. O setor agroindustrial respondeu ao programa federal, enfrentando várias dificuldades para produção do biodiesel, em que se destaca a matéria-prima. Os problemas relacionados com a produção de biodiesel foram, principalmente, a escassez do óleo do vegetal, por causa das demandas dos mercados interno e externo, e as altas dos preços das matérias-primas disponíveis para a produção, tornando a fabricação deste biocombustível inviável até mesmo no Brasil, onde os custos de produção agrícolas estão entre os mais competitivos do mundo. O crambe é uma espécie vegetal que tem despertado interesse dos produtores brasileiros, devido ao teor de óleo, rusticidade, cultivo mecanizado e, principalmente, por ser uma cultura de inverno, torna-se uma opção a mais para o agricultor neste período. Além disso, pode compor sistemas de rotação de culturas, bem como ser utilizada como cobertura vegetal do solo no período de inverno. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de produção do crambe, avaliando os custos de produção e a análise energética da sua produção, em sistema de plantio direto, bem como as características físico-químicas do óleo e do biodiesel obtidas desses grãos. O ensaio foi conduzido no ano agrícola 2008, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, localizada no município de Botucatu - SP. A produtividade obtida foi de 1.507,05 kg ha⁻¹, resultando numa produção de 561,94 litros de

óleo por hectare. O consumo de combustível foi de 17,68 L ha⁻¹ e a demanda energética das operações mecanizadas constataram um consumo energético de 41,82 kWh ha⁻¹. O custo de implantação e condução do crambe, por hectare, foi de R\$ 830,39, que originou um custo de R\$ 1,48 por litro de óleo. A eficiência cultural encontrada foi de 10,22, apontando que, para cada unidade calórica aplicada na produção do crambe, o retorno foi de 9,22 unidades. A eficiência energética foi 43,96, tendo a energia cultural líquida atingido 37.254,64 MJ ha⁻¹. As estruturas de dispêndios energéticos por tipo, fonte e forma, mostraram que a energia indireta participou com 66,66%; as fontes industrial, fóssil e biológica representaram 66,66%, 21,76% e 11,58%, respectivamente. Quanto às formas em que se apresentaram, os fertilizantes químicos contribuíram com 45,42% e o óleo diesel com 21,12%. A análise físico-química do óleo do crambe indicou elevada concentração de ácidos graxos insaturados, o que pode não ser adequado para o uso do biodiesel em regiões muito frias, caso seja usado puro ou em misturas com diesel em grandes proporções. O biodiesel produzido a partir do crambe revelou estar dentro das normas estabelecidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.

Palavras-chave: Análise econômica e energética, eficiência cultural, biodiesel, crambe.

CULTURE OF CRAMBE (*Crambe abyssinica* Hochst): EVALUATION ENERGY, COST OF PRODUCTION AND PRODUCTIVITY IN NO TILLAGE. Botucatu, 2009. 120p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: SAMIR PAULO JASPER

Adviser: MARCO ANTÔNIO MARTIN BIAGGIONI

Co-Adviser: PAULO ROBERTO ARBEX SILVA

2 SUMMARY

Biodiesel is a reality in Brazil, due to the National Program for Production and Use of Biodiesel (PNPB), which became mandatory in 2008, addition of 2% biodiesel in all diesel sold in a blend known as B2. The agribusiness sector, said the federal program faced several difficulties in production of biodiesel, which stresses the material. The problems related to raw materials were mainly the shortage of vegetable oil, because of the demands of domestic and foreign markets, and the high prices of raw materials available for production, the production of biofuel made impossible by even in Brazil, where the costs of agricultural production are among the most competitive in the world. The Crambe is a species that has attracted interest of Brazilian producers due to oil content, rusticity, and mechanized cultivation, mainly as a crop of winter it becomes an option for most farmers in this period. Additionally, you can make crop rotation systems, and be used as a cover crop soil during the winter. The objective of this study was to evaluate the production potential of Crambe, evaluating production costs and energy balance of its production of Crambe no tillage and the physicochemical characteristics of oil and biodiesel obtained from these grains. The test was conducted in the agricultural year 2008 in Lageado Experimental Farm, belonging to the Faculty of Agricultural Sciences - UNESP, located in Botucatu - SP. The yield obtained was 1507.05 kg ha⁻¹, resulting in production of 561,94 liters of oil per hectare. The fuel consumption was 17,68 L ha⁻¹ and the energy demand of mechanized operations found an energy consumption of 41,82 kWh ha⁻¹. The cost of deployment and conduct of Crambe per

hectare, were R\$ 830,69, giving a cost of R\$ 1,48 per liter of oil. The cultural performance was found to 10,22, indicating that for every unit of heat applied in the production Crambe the return was 9,22 units. Energy efficiency was 43,69, the net energy reaching cultural 37.254,64 MJ ha⁻¹. The structures of energy expenditure by type, source and form, showed that the indirect energy contributed 66.66%, industrial sources, fossil and organic represented 66.66%, 21.76% and 11.48% respectively. On ways in which they presented, chemical fertilizers contributed 45.42% and 21.12% with diesel oil. The physical-chemical analysis of oil Crambe indicated high concentration of unsaturated fatty acids, which may not be suitable for the use of biodiesel in very cold regions, where it is used pure or in mixtures with diesel in large proportions. The biodiesel produced from Crambe proved to be within the standards established by the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels.

Keywords: analysis economic and energy, cultural efficiency, biodiesel and Crambe.

3 INTRODUÇÃO

Os biocombustíveis são fontes de energias renováveis, derivados de produtos agrícolas como a cana-de-açúcar, plantas oleaginosas, biomassa florestal e outras fontes de matéria orgânica. Em alguns casos, os biocombustíveis podem ser usados tanto isoladamente, como adicionados aos combustíveis convencionais. Como exemplos, podem-se citar o biodiesel, o etanol, o metanol, o metano e o carvão vegetal.

O biodiesel é um biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustível de origem fóssil (BRASIL, 2005). Assim, há amplas possibilidades de uso do biodiesel em transportes urbanos, rodoviários, ferroviários e aquaviários de passageiros e cargas, geradores de energia, motores estacionários, etc.

A implantação de um programa energético com biodiesel abre oportunidades para grandes benefícios sociais decorrentes do alto índice de geração de empregos por capital investido, culminando com a valorização do campo e a promoção do trabalhador rural, além das demandas por mão-de-obra qualificada para o processamento e, em muitos casos, beneficiamento do óleo vegetal. Salienta-se, entretanto, a reversão no fluxo internacional de capitais, uma vez que o aproveitamento do biodiesel permite uma redução das importações de diesel e a comercialização internacional de Certificados de Redução de Emissões de gases causadores do efeito estufa.

Como combustível, o biodiesel possui características vantajosas em relação aos combustíveis derivados do petróleo, podendo ser citada a condição de ser possivelmente livre de enxofre e de compostos aromáticos; alto número de cetano; teor médio de oxigênio; maior ponto de fulgor; menor emissão de partículas, HC, CO e de CO₂; caráter não tóxico e biodegradável, além de ser proveniente de fontes renováveis. Ele permite que se estabeleça um ciclo fechado de carbono no qual o CO₂ é absorvido quando a planta cresce e é liberado quando o mesmo é queimado na combustão do motor. Estudo conjunto realizado pelos Departamentos de Energia e de Agricultura dos Estados Unidos mostra que o biodiesel reduz em 78% as emissões líquidas de CO₂ (D'ARCE, 2005).

O Brasil é um país que, por sua extensa área territorial, clima tropical e subtropical favorece uma ampla diversidade de matérias-primas para a produção de biodiesel. Destacam-se, dentre as principais matérias-primas cotejadas para o biodiesel como o algodão, amendoim, dendê, girassol, mamona, pinhão manso e soja. Cada cultura, dependendo da região na qual é cultivada e segundo as condições de clima e de solo, apresenta características específicas na produtividade por hectare e na percentagem de óleo obtida da amêndoa ou grão, além da produtividade obtida, também, está diretamente associada com as tecnologias de cultivo e de processamento praticadas.

A produção de biodiesel nacional encontra-se, porém, alicerçada em culturas anuais, principalmente de ciclo primavera/verão, faltando alternativas para o outono/inverno a fim de dar continuidade à produção de biodiesel, além de fazer o papel da rotação de cultura. As espécies escolhidas devem ter propósitos comerciais e de manutenção ou recuperação do ambiente. Para a obtenção de máxima eficiência da capacidade produtiva do solo, o planejamento de rotação deve considerar, além das espécies comerciais, aquelas destinadas à cobertura do solo, que produzam grandes quantidades de biomassa, cultivadas quer em condição solteira ou em consórcio com culturas comerciais.

O crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) surge como planta com grande potencial para a produção de matéria-prima para biodiesel, além de atuar na rotação de cultura. As pesquisas realizadas pela Fundação do Mato Grosso do Sul (2007), em Maracaju/MS, apontaram para uma produção entre 1.000 e 1.500 quilos por hectare, tolerância a seca e geadas depois de estabelecida, e elevada precocidade destacando-se como as principais

vantagens da cultura, que floresce aos 35 dias e pode ser colhida aos 85/90 dias, dependendo da maturação das plantas.

A busca por matérias-primas de baixo custo para produção de biodiesel tornou-se necessária, tanto do ponto de vista tecnológico, como econômico; assim sendo, objetivou-se, neste trabalho, avaliar a cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst).

Objetivos específicos:

- Avaliar capacidade fitotécnica do crambe;
- Avaliar as características das operações mecanizadas;
- Determinar o custo de produção;
- Análise energética;
- Avaliar a qualidade física e química do óleo e do biodiesel.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O Brasil apresenta grande potencial na produção de biodiesel, destacando a utilização de fatores de produção baratos e abundantes, como disponibilidade de mão-de-obra e terra. O país possui a maior extensão de terras não utilizada para produção agrícola. Há, aproximadamente, 90 milhões de hectares de terras que podem ser utilizadas no processo produtivo. Na região do cerrado, por exemplo, mais de 20 milhões de hectares poderão ser utilizados nos próximos anos na integração agricultura-pastagem. Neste cenário, o agronegócio brasileiro do biodiesel mostra vantagem competitiva nas exportações desses produtos em relação aos demais países (FERRUCIO et al., 2007).

Para Peres et al. (2005), os motivos que impulsionam maiores demandas por fontes alternativas de energia podem ser a necessidade de os países signatários atenderem ao Protocolo de Kyoto e o estímulo adicional dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), conduzindo o desenvolvimento de novas tecnologias para a produção em grande escala de energia limpa, derivadas de biomassa.

4.1 Matriz energética mundial e brasileira

A Oferta Interna de Energia (OIE) em 2007 foi de 238,8 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (TEP), e o crescimento da OIE em 2007 foi de 5,5%, praticamente o mesmo patamar de crescimento da economia brasileira, de 5,4% conforme

dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Dois fatores contribuíram para o crescimento acentuado da demanda por energia: os bons resultados alcançados pelos setores exportadores, especialmente os intensivos em energia (aço, celulose, álcool, etc.) e o bom desempenho da demanda interna de bens e serviços (MME, 2008).

O aumento na demanda total por energia se deu pelo incremento no uso das fontes renováveis; de fato, houve crescimento de 7,6% na energia proveniente dessas fontes, enquanto as não renováveis (petróleo e derivados, gás natural, carvão mineral e urânio) cresceram 3,7%. Segundo O Ministério de Minas e Energia (2008), a energia renovável passou a representar 45,9% da Matriz Energética Brasileira (MEB) em 2007, conforme Tabela 1. Essa proporção é das mais altas do mundo, contrastando significativamente com a média mundial, de 12,9%, e mais ainda com a média dos países da Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômicos (OECD), em sua grande maioria países desenvolvidos, de apenas 6,7%.

Tabela 1. Resumo da oferta interna de energia no Brasil.

Especificação	Estrutura (%)	
	2006	2007
Não Renovável	55,0	54,1
Petróleo	37,8	37,4
Gás Natural	9,6	9,3
Carvão Mineral	6,0	6,0
Nuclear	1,6	1,4
Renovável	45,0	45,9
Hidráulica	14,8	14,9
Carvão Vegetal	12,6	12,0
Cana-de-açúcar (Derivados)	14,6	15,8
Outras Renováveis	3,0	3,2
TOTAL	100,0	100,0

Fonte: Ministério de Minas e Energia, 2008.

4.2 Matérias-primas para combustíveis renováveis

A biomassa tem atraído muita atenção nestas últimas décadas por se tratar de uma fonte de energia renovável, e por seu uso sustentado não provocar danos ao meio ambiente. A mesma compreende todo material orgânico, não-fóssil, que tenha conteúdo de

energia química no seu interior, o que inclui todas as vegetações aquáticas ou terrestres, árvores, lixo orgânico, resíduo de agricultura, esterco de animais e outros tipos de restos industriais (OMACHI et al., 2004). Dentre as fontes de biomassa consideradas adequadas e disponíveis para a consolidação de programas de energia renovável, os óleos vegetais têm sido priorizados por representarem alternativa para a geração descentralizada de energia, atuando como forte apoio à agricultura familiar, pois criam melhores condições de vida (infra-estrutura) em regiões carentes, valorizam potencialidades regionais e oferecem alternativas aos problemas econômicos e socioambientais de difícil solução (DEMIRBAS, 2003; RAMOS, 2003; KUCEK, 2004).

Segundo estes autores, as opções de fontes de matéria-prima para produção dos combustíveis renováveis são bem diversificadas; entretanto, as principais fontes para a produção de biodiesel são:

A) Óleos Vegetais: são enquadrados na categoria de óleos fixos e essenciais ou voláteis. Entre as inúmeras culturas que se têm conhecimento na literatura, as mais comuns são soja, canola (ou colza), milho, mamona, girassol, amendoim, algodão, palma, babaçu, entre muitos outros vegetais em forma de sementes, amêndoas ou polpas.

B) Gorduras animais: as gorduras e óleos de animais são semelhantes, nas suas estruturas químicas aos óleos vegetais, sendo diferenciados na distribuição e nos tipos dos ácidos graxos combinados com o glicerol. Assim, podem ser transformados em biodiesel: sebo bovino, óleo de peixe, óleo de mocotó, banha de porco, entre outras.

C) Óleos Usados e Gorduras Residuais: são os resultantes de processamentos domésticos, comerciais e industriais, como de: lanchonetes, restaurantes e cozinhas industriais, comerciais e domésticas (frituras de alimentos); os esgotos ricos em matéria graxa, possível de extraírem-se óleos e gorduras; águas residuais de processos de indústrias de alimentos, como de pescados, couro etc.

Todas essas matérias-primas são compostas por triacilglicerídeos, proveniente de fontes de lipídios renováveis. Logo, podem ser usados puros ou em mistura com o diesel, ou com álcool nos motores ciclo a diesel já que possuem alto índice de cetano. Entretanto, segundo estudos de Knothe e Steidley (2005) e Meher et al. (2006), os óleos vegetais in natura, não são ideais para aplicações diretas ao motor, por não apresentarem

conformidade do tipo: ocorrência excessiva depósitos de carbono no motor; obstrução nos filtros de óleo e bicos injetores; diluição parcial do combustível no lubrificante; comprometimento da durabilidade do motor e aumento considerável em custo de manutenção.

Para tentar reduzir tais problemas, atribuíram-se algumas soluções: diluição de óleos vegetais com diesel fóssil; formação de microemulsões dos óleos vegetais com alcoóis de cadeia curta; pirólise dos óleos vegetais; e reação de transesterificação (VARGAS et al., 1998; ZAGONEL et al., 2000).

Em relação ao biodiesel, segundo estudos de Ramos et al. (2003), para que a sua qualidade seja garantida, certos óleos vegetais in natura poderão exigir etapas de pré-tratamento ou de refino, citando como exemplo, a soja, cujo óleo é rico em gomas e fosfolipídios, que devem ser retirados na etapa de degomagem. No caso dos óleos usados, estes passarão por processos de pré-tratamento como filtragem, e em seguida é realizada a correção da acidez, para só então serem manuseados na produção de biodiesel.

Diante da diversidade de oleaginosas promissoras para a produção do biodiesel no Brasil, fazem-se necessárias avaliações das reais potencialidades tecnológicas, econômicas, agrícolas, levando em consideração as características da regionalização, como sazonalidade e escala periódica, características físicas e químicas, por exemplo, teor de óleo no grão ou amêndoa, composição, e outros.

4.3 Biodiesel

No Brasil, a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2005), através da lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005, definiu o Biocombustível como sendo: “Combustível derivado da biomassa renovável para uso em motores a combustão interna ou, conforme regulamento para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustível de origem fóssil”. E para o Biodiesel, a definição na mesma lei foi: “Biocombustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão”.

Quimicamente, o biodiesel pode ser definido como um combustível alternativo constituído por ésteres alquílicos de ácidos carboxílicos de cadeia longa, proveniente de fontes renováveis como óleos vegetais, gorduras animal e/ou residual, cuja

utilização está associada à substituição de combustíveis fósseis em motores de ignição por compressão (CANDEIA, 2008).

Segundo a literatura, (WANG et al., 2000; OLIVEIRA e COSTA, 2002; Biodiversidade, 2004; TecBio, 2004; GERPEN, 2005), o biodiesel aponta algumas vantagens e desvantagens.

Vantagens:

- Ausência de enxofre e compostos aromáticos. Proporcionando uma combustão limpa, e sem a formação de SO₂ (gás que provoca a chuva ácida), e de compostos cancerígenos (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos);
- Número de cetano elevado (superior a 50) e, conseqüentemente, elevado poder de autoignição e combustão, qual é refletido de modo especial na partida a frio, no ruído do motor e no gradiente de pressão nos motores a diesel;
- Possui teor médio de oxigênio em torno de 11%, e composição química homogênea, favorecendo uma combustão mais completa, eficiente, além de expelir menos resíduos para a atmosfera;
- Possui maior ponto de fulgor quando comparado ao diesel convencional, de modo que, em condições normais de transporte, manuseio e armazenamento, não é inflamável, proporcionando uma maior segurança;
- Biodegradável e não tóxico (quando atendido as normas da ANP).

Desvantagens:

- O biodiesel possui um menor poder calorífico. Todavia, esta desvantagem é pequena, em torno de 5%, em relação ao diesel convencional;

- **Cristalização em baixas temperaturas:** Em regiões de clima muito frio, a viscosidade do biodiesel aumenta bastante. Assim como o diesel, podem ocorrer formações de pequenos cristais, que se unem e impedem o bom funcionamento do motor.

Todas estas características apontadas são importantes para a viabilização do biodiesel, nos aspectos:

A) Ambiental: O gás carbônico liberado durante a combustão do biodiesel nos motores pode ser absorvido durante a fase de crescimento das próprias plantas oleaginosas utilizadas para a obtenção dos óleos vegetais, favorecendo, então, a fixação do carbono atmosférico como matéria orgânica, e promovendo a diminuição de CO₂ na atmosfera, o que reduziria o aquecimento global. Deste modo, o biodiesel possibilitaria ao Brasil o atendimento dos compromissos firmados no âmbito do Protocolo de Kyoto sobre a redução de emissões de gases que provocam efeito estufa;

B) Social: Destaca-se a possibilidade de ampliação da área plantada e de geração de trabalho e renda no meio rural;

C) Tecnológico: O biodiesel promoverá o aprimoramento de tecnologias, favorecendo a indústria nacional de bens e serviços. Uma vez que não haveria a necessidade de adaptações dos motores do ciclo a diesel com injeção direta de combustível, a utilização do biodiesel (especificado dentro das normas de qualidade da ANP) puro ou misturado ao diesel convencional, melhoraria o desempenho dos motores onde fosse empregado;

D) Econômico: Ressalta a possibilidade da produção de biodiesel contribuir para a redução da dependência externa do país, com a substituição de parte do diesel mineral importado, favorecendo a balança comercial do país. Segundo dados estatísticos da ANP, o Brasil importou em 2006, 3.545.075 m³ de diesel, no valor total de US\$ 1.746.709.380, e em 2007, os gastos com a importação de petróleo chegaram a US\$ 2.053.875.429 para 3.686.051 m³ de óleo diesel (MME, 2008).

Trabalhos veem sendo desenvolvidos e aprimorados, com o intuito de não só utilizar o biodiesel puro nos motores por compressão, mas misturá-lo ao diesel fóssil, em proporções ajustadas de forma que a mistura resultante, quando empregada na combustão

do motor a diesel, minimize tanto os efeitos nocivos ambientais, como os fatores que afetam a vida útil do motor. Essa mistura é representada em todo o mundo por “BXX”, em que o XX significa a percentagem de biodiesel nessa mistura (por exemplo: B20 significa 20% do biodiesel e 80% de diesel) (THE NON TECHNICAL BARRIERS NETWORK, 1998).

4.4 Propriedades e Especificações

O biodiesel é produzido das mais variadas fontes de óleos vegetais, gorduras animais e/ou residuais, e estas, por sua vez, são de origem e características físico-químicas diversificadas. Faz-se necessário uma padronização do controle de qualidade para o combustível, com o intuito de garantir um bom desempenho do motor a diesel. Logo, a padronização é um pré-requisito para que o produto desejado (por exemplo, biodiesel), seja introduzido no mercado comercial. Deste modo, países como a Alemanha (primeiro país no mundo a definir e aprovar os padrões do biodiesel proveniente do óleo de canola como combustível), Áustria, Itália, França, República Tcheca e os Estados Unidos estabeleceram padrões e diretrizes para a qualidade do biodiesel (CANDEIA, 2008).

No Brasil, as especificações foram editadas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), com as portarias nº 240 (a qual consiste no uso de combustíveis não especificados, isto é, aquelas cujas características não estão definidas por dispositivos legais expedidos pela ANP), e a de nº 255 (trata das limitações que oferece para o aproveitamento de todos os óleos vegetais que se encontram disponíveis no território nacional. No entanto, é importante frisar que a especificação define a qualidade do produto a ser utilizado puro, ou seja, sem a sua diluição com diesel de petróleo). Essas portarias foram baseadas nas normas da Alemanha (DIN) e dos Estados Unidos (ASTM), entretanto, a regulamentação da produção, comercialização e o uso do biodiesel, ainda se encontram em fase de questionamentos em alguns itens impostos na especificação brasileira (ALBUQUERQUE, 2006; ANP, 2005).

Os parâmetros de qualidade atribuídos ao biodiesel podem ser definidos em dois grupos, que são: parâmetros gerais e composição química (MITTELBAACH, 1996).

4.5 A agricultura brasileira e seu potencial ao cultivo de plantas energéticas

O Brasil é um país que, por sua extensa área territorial, clima tropical e subtropical favorece uma ampla diversidade de matérias-primas para a produção de biodiesel. Destacam-se, dentre as principais matérias-primas para produção do biodiesel o algodão, amendoim, dendê, girassol, mamona, pinhão manso e soja. São também consideradas matérias-primas para biocombustíveis os óleos de descarte, gorduras animais e óleos já utilizados em frituras de alimentos (SEBRAE, 2006).

Cada oleaginosa, dependendo da região onde é cultivada e segundo as condições de clima e de solo, apresenta características específicas de produtividade por hectare e na percentagem de óleo obtida da amêndoa ou grão. A produtividade obtida, também, está diretamente associada às tecnologias de cultivo, à qualidade de semente e às tecnologias de processamento praticadas. A Tabela 2 ilustra a relação das espécies, produtividade e rendimento de acordo com as regiões produtoras:

Tabela 2. Características de algumas culturas com potencial de uso energético.

Espécie	Produtividade (toneladas/ha)	Porcentagem de óleo	Ciclo de vida	Regiões produtoras	Colheita	Rendimento (tonelada óleo/ha)
Algodão	0,86 a 1,4	15	Anual	MT, GO, MS, BA e MA	Mecanizada	0,1 a 0,2
Amendoim	1,5 a 2	40 a 43	Anual	SP	Mecanizada	0,6 a 0,8
Dendê	15 a 25	20	Perene	BA e PA	Manual	3 a 6
Girassol	1,5 a 2	28 a 48	Anual	GO, MS, SP, RS e PR	Mecanizada	0,5 a 0,9
Mamona	0,5 a 1,5	43 a 45	Anual	Nordeste	Mecanizada e manual	0,5 a 0,9
Pinhão manso	2 a 12	50 a 52	Perene	Nordeste e MG	Manual	1 a 6
Soja	2 a 3	17	Anual	MT, PR, RS, GO, MS, MG e SP	Mecanizada	0,2 a 0,4

Fonte: Adaptado de Meireles, 2003.

Com a finalidade de ilustrar a distribuição das culturas com potencial de uso energético no território brasileiro, o mapa, descrito por Meireles (2003) permite a visualização das regiões brasileiras segundo as principais matérias-primas considerando-se as condições edafoclimáticas do zoneamento agroecológico.



Fonte: Adaptado Meireles, 2003.

Figura 1. Potencialidades brasileiras para o cultivo de oleaginosas.

De acordo com Meireles (2003), verifica-se que a produção nacional de biodiesel encontra-se alicerçada em culturas anuais, principalmente culturas de ciclo primavera/verão, faltando alternativas para o outono/inverno, que passa dar continuidade ao

processo de produção de biodiesel durante o ano todo, além de fazer o papel da rotação de cultura. Segundo números divulgados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2006), a área agrícola brasileira divide-se em: 42 milhões de hectares com culturas anuais (grãos e fibras), 15 milhões de hectares de culturas perenes, 6,5 milhões de hectares com a cultura da cana-de-açúcar e 220 milhões de hectares destinados a pastagens, totalizando 282 milhões de hectares.

De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2005), o Brasil ainda dispõe de mais 90 milhões de hectares de terras agricultáveis não exploradas. Com emprego de tecnologia será possível liberar mais 30 milhões de hectares hoje destinados à pecuária, para a agricultura, totalizando 120 milhões de hectares em novas áreas para a produção de grãos e cana. A pecuária brasileira tem 190 milhões de cabeças e utiliza 220 milhões de hectares; portanto, na média, a pecuária subutiliza as pastagens com menos de uma cabeça por hectare.

Outro aspecto a ser considerado na área de produção de grãos é que, dos 42 milhões de hectares ocupados com culturas anuais, em apenas 7 milhões é realizado o plantio de uma segunda safra. Assim, há possibilidade de se efetuar, nos demais 35 milhões de hectares, plantios de oleaginosas de segunda safra (safrinha) ou plantios de inverno de girassol, nabo forrageiro, crambe, canola, linhaça, entre outras especificamente para biodiesel.

4.6 Crambe

O crambe é uma cultura importante por seu óleo que contém alto teor de ácido erúico, um ácido graxo de cadeia longa que tem alto valor industrial. É utilizado para fabricação de produtos químicos intermediários, que posteriormente são utilizados como insumos na fabricação de sacos plásticos, cosméticos, produtos de higiene pessoal, detergentes para roupa, etc. O óleo de crambe é um lubrificante com alta eficiência, sendo altamente biodegradável quando comparado com os óleos minerais, utilizado isoladamente ou como aditivo, nos mais diversos fins industriais.

A colza era a fonte tradicional de ácido erúico no mercado mundial, mas com o início do cultivo do crambe, o setor industrial começou a contar com fontes alternativas de ácido erúico (GLASER, 1996).

O crambe ainda está em desenvolvimento como uma cultura agrícola e não é amplamente cultivado, nos Estados Unidos, apesar das inúmeras tentativas, desde a década de 1950, em desenvolver a produção comercial de óleo com alto teor de ácido erúcido (HEA – High Erucic Acid) esta espécie ainda não se tornou cultura agrícola estabelecida. As sementes do crambe podem apresentar 37% de óleo que é constituído por até 57% de ácido erúcido (CARLSON, 2007). Atualmente, este óleo tem despertado o interesse dos agricultores para produção de biocombustíveis, devido ao potencial de produção do óleo.

Originário da região do mediterrâneo, o crambe contém um óleo não comestível utilizado para produção de produtos “industrializados”. Tem sido cultivada em áreas tropicais e subtropicais da África, na Ásia, Europa, EUA e América do Sul. Foi cultivado pela primeira vez em 1933 pela estação Botânica Borones na antiga União Soviética e tem sido integrante de um programa vegetal de melhoramento suíço desde 1949 (WEISS, 2000)

Para Weiss (2000), o interesse do cultivo do crambe, nos Estados Unidos, está em três aspectos: o óleo dos grãos do crambe é uma das fontes conhecidas mais rica em ácido erúcido, o óleo de canola, tradicional fonte de ácido erúcido, tem sido alterado geneticamente para reduzir a concentração desse ácido; e, por fim, a cultura do crambe apresenta um melhor potencial produtivo do que a cultura da canola.

Botânica: O crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) é da família das Brassicaceae (Cruciferae), tribo Brassicae, bem próximo a outras brássicas como colza (canola) e mostarda. O gênero *Crambe* contém cerca de trinta espécies, a maioria plantas perenes, embora algumas sejam arbustos anuais, distribuídas principalmente nas regiões do Mediterrâneo, Euro-Sibéria e Turco-Iraniana, sendo que o único membro cultivado é o *Crambe abyssinica* (DESAI et al., 1997).

É uma planta herbácea anual, ereta, com cerca de 1m de altura, naturalmente muito ramificada. Apresenta folhas largas opostas lobadas, longos ráceros de flores amarelas ou brancas, produzindo um grande número de pequenas sementes marrom-acinzentadas com conteúdo aproximado de óleo de 40%. A haste é firme e ramifica-se próximo ao solo para formar cerca de trinta ou mais galhos, que novamente se ramificam formando galhos terciários (DESAI et al., 1997; WHITE AND HIGGINS, 1966).

As folhas são ovais e assimétricas. A lâmina foliar possui aproximadamente 10 cm de comprimento e 7,6 cm de largura, com superfície lisa. O pecíolo possui aproximadamente 20 cm de comprimento e é pubescente. Os frutos são esféricos, indeiscentes, e dão origem a apenas uma semente. Quando formados e maduros, permanecem aderidos à planta por longo tempo e, mesmo no momento da colheita, o pericarpo (casca) permanece aderido à semente (FONTANA et al., 1998).

O fruto é uma cápsula (siliqua), inicialmente verde-claro, tornando-se amarelo com a maturidade. Todas as vagens contêm uma única semente esférica, de cor marrom ou marrom-esverdeada. O tamanho da semente varia de 0,80 a 2,60 milímetros (DESAI et al., 1997). Na Figura 2, estão apresentadas, esquematicamente, as estruturas reprodutivas do *Crambe abyssinica*.

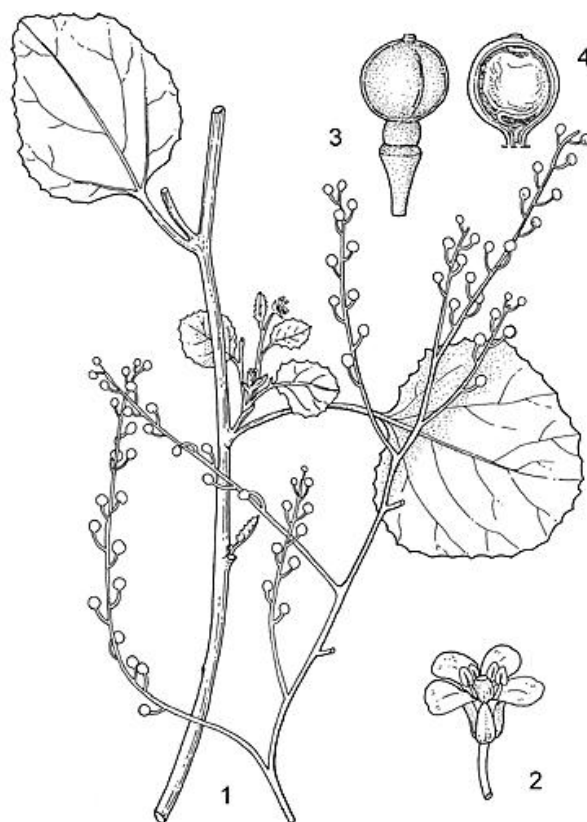


Figura 2. Estruturas reprodutivas do *Crambe abyssinica*. 1 – Parte inferior e superior da planta; 2 – Flor; 3 – Fruto; e 4 – Corte longitudinal do fruto. Fonte: Google (22/05/2009).

Exigências climáticas: Crambe é uma cultura de estação amena que se desenvolve melhor em regiões semiáridas com dias quentes (21°C a 32°C), noites frias (10°C a 15°C) e baixa umidade (GLASER, 1996). É bem adaptada como uma cultura de primavera em áreas onde se cultiva trigo no noroeste dos Estados Unidos. Pode ser cultivada na primavera e no outono, por exemplo, em Indiana. Também se desenvolve mais ao extremo sul como na Venezuela e mais ao extremo norte como na Suécia e São Petersburgo na Rússia. O crambe pode ser cultivado como cultura de primavera, assim como a canola (*Brassica napus*) é cultivada na Europa ou como cultura de inverno em regiões de clima mediterrâneo (CARLSON et al, 2007).

É altamente sensível a baixas temperaturas durante a germinação ao florescimento, novas cultivares podem apresentar uma maior tolerância a baixas temperaturas (NNFCC, 2008). Entretanto, em regiões relativamente mais quentes, o crambe é severamente danificado por temperaturas de -1°C, embora as plântulas tolerem de -4°C a -6°C.

No Carrington Reserach Extension Center (EUA) no ano de 1990, foram registradas temperaturas de -5°C por, aproximadamente, 5 horas, e a temperatura mais alta do dia foi 1°C. Isto ocorreu quando eram visíveis apenas as folhas cotiledonares e as pontas das folhas verdadeiras. Mais tarde, as folhas cotiledonares e as pontas das folhas verdadeiras tornaram-se completamente marrons. Entretanto, as folhas verdadeiras cresceram e as plantas desenvolveram-se normalmente. Em 1992, o crambe também tolerou baixas temperaturas que ocorreram na fase de folhas cotiledonares, de -1°C por 4 horas (KNIGHTS, 2002).

A pluviosidade anual nas áreas de crambe geralmente é suficiente para a cultura e irrigação adicional, não é uma prática comum (CARLSON et al, 2007). O crambe suporta uma precipitação anual de 350 a 1200 mm. É sensível à falta de água, e suas raízes podem alcançar profundidades maiores que os 15 cm tornando as plantas tolerantes a períodos de seca (CARLSON et al, 2007; KNIGHTS, 2002). Sob condições de estresse, as plantas podem desenvolver longas raízes, que mais tarde se tornam cônicas (OPLINGER et al, 2008). É mais tolerante à seca do que o milho, canola, mostarda ou a soja em todos os estádios de desenvolvimento (GLASER, 1996).

Nos EUA, embora o crambe possua essa relativa tolerância à seca, os melhores rendimentos foram obtidos em áreas úmidas. O crambe exige umidade adequada

durante o florescimento, formação e enchimento das sementes, porque estresse causado por déficit hídrico nestes períodos pode resultar em perdas na produção e redução no conteúdo de óleo. Mas um período seco subsequente, enquanto a planta amadurece, é benéfico promovendo altos rendimentos. A umidade excessiva promove o aparecimento de doenças, como esclerotinia e alternária, que podem limitar a produção. (GLASER, 1996).

Adubação e preparação do solo: Os solos em que o crambe apresenta melhores produtividades são argilosos, férteis e bem drenados, porém, solos arenosos quanto adubados corretamente, também, apresentam produtividades elevadas. O crambe prefere pH entre 6,00 a 7,00, com umidade na época de semeadura. O solo deve ser profundo, com uma boa capacidade de retenção de umidade. Em solos com altos níveis de silte, as plântulas são frequentemente muito fracas para quebrar a crosta que pode vir a se formar na superfície (DICRA, 2003).

Preparação da semente e germinação: Uma fase crítica para o sucesso da produção do crambe é o estabelecimento do estande inicial de plântulas. A densidade de plantio recomendada é de 17,0 a 22,5 kg de sementes viáveis, resultando numa taxa de germinação de 2.500.000 plantas por hectare. Taxas de plantio abaixo irão resultar numa baixa densidade de plantas, mas com bons rendimentos devido ao aumento da ramificação e um período de florescimento prolongado. De qualquer forma, utilizando a taxa de semeadura recomendada, o crambe será mais competitivo com as plantas invasoras e chegará ao ponto de maturação mais uniformemente. Taxas de semeadura maiores que 22,5 kg por hectare incrementarão os custos com semente e provavelmente não aumentarão significativamente a produtividade (KNIGHTS, 2002).

Os principais componentes que devem ser avaliados para uma boa produtividade de crambe são: densidade de semeadura, número de sementes por planta e o peso de mil sementes (FONTANA et al., 1998).

As sementes do crambe podem ser depositadas a lanço ou em linhas, dependendo do equipamento disponível. Para a semeadura a lanço, pode-se utilizar um distribuidor centrífugo, devendo ser cultivado em campos onde não haja problemas com plantas daninhas. Quando o crambe for semeado em linha de 50 a 70 cm, pode-se utilizar semeadora de milho, usando discos de soja ou milho. O plantio em linha irá resultar em emergência mais uniforme, menores perdas e menores custos de semente. Além disso, linhas

estreitas promovem uma redução da ramificação e uniformidade da maturação. Produtividades aceitáveis têm sido observadas com espaçamentos que variam de 15 a 70 cm. Porém, onde não ocorrem problemas com plantas daninhas, linhas com 15 a 30 cm apresentam maiores produtividades. O crambe cultivado com espaçamentos maiores de 80 cm apresenta acamamento, dificultando a colheita (KNIGHTS, 2002).

A profundidade de semeadura é o fator crítico para obtenção de altas produtividades da cultura. A semente deve ser semeada com 4,00 cm de profundidade em regiões úmidas e até 2,5 cm em áreas secas. (LESSMAN e ANDERSON, 1981).

Knights (2002) relata que, nos EUA, o crambe pode ser semeado assim que os riscos de temperaturas abaixo de zero grau Celsius não possam mais ocorrer, geralmente a partir da segunda quinzena de abril. No Brasil, estudos realizados pela Fundação Mato Grosso do Sul (2007), indicam que a época de semeadura do crambe ocorre após a colheita da cultura de verão (milho, soja, etc.) e antes das culturas de inverno (trigo, cevada, etc.). Como cultura principal, o crambe, na Região Sul pode ser semeado até Junho e na Região do Centro-Oeste e no Estado de São Paulo até Julho.

Varietades: O número de variedades de crambe disponíveis para produção comercial é muito limitada Meyer é a única disponível em escala suficiente para atender a demanda dos produtores agrícolas. Bellan, Bellizian, Indy e Prophet são outras variedades registradas, entretanto, não ocorre o fornecimento comercial dessas sementes (KNIGHTS, 2002). No Brasil, a Fundação MS contém o direito de comercialização da única cultivar registrada, denominada brilhante.

Controle de plantas invasoras, doenças e pragas: A competição com as plantas daninhas pode reduzir significativamente a produtividade do crambe. Uma das formas de controle mais efetiva das plantas daninhas é manter o estande uniforme do crambe. O plantio precoce do crambe pode aumentar a possibilidade de competir com plantas daninhas, que necessitam de maior temperatura do solo para sua germinação. Entretanto, assim que o crambe se aproxima da maturidade, as plantas daninhas emergem através da copa da cultura podendo trazer problemas com a colheita, aumentando a umidade dos grãos colhidos. Nenhum herbicida foi registrado para uso no crambe nos EUA. O crambe é muito suscetível a danos causados pela deriva do 2,4-D e do efeito residual da atrazina.

A doença de maior severidade que ocorre no crambe é causada pela *Alternaria brassicicola*, fungo que causa o escurecimento das sementes e do caule, além de reduzir a germinação das sementes. O crambe também é suscetível ao vírus do mosaico do nabo, e a utilização de sementes de alta qualidade é a melhor defesa contra os problemas de doença. As sementes também podem ser tratadas com fungicida ou água quente antes do plantio (KNIGHTS, 2002).

As plântulas de crambe podem ser atacadas por pulgões, besouros e afídeos; até o presente momento, não existem inseticidas registrados para o controle destes insetos. Porém, se os inseticidas tivessem disponíveis, o controle dos insetos deveria ser evitado durante a floração do crambe, por causas do valor benéfico dos polinizadores (KNIGHTS, 2002).

Colheita e beneficiamento: Quando o crambe se aproxima do término do ciclo, as folhas tendem a secar e cair das plantas. Poucos dias após a queda das folhas, as colorações das vagens e de pequenos ramos tendem a amarelar. Quando esta cor descer pelo caule e passar abaixo da última inserção de ramo com semente (geralmente 90 a 100 dias após o plantio), terá atingido o ponto de colheita. O crambe é suscetível à quebra dos grãos e à infecção pela *Alternaria brassicicola*, principalmente, quando ocorrem atrasos na colheita.

O crambe pode ser colhido com uma colhedora automotriz comum, com alguns ajustes na peneira. A velocidade do molinete deve ser ajustada ligeiramente maior que a velocidade de deslocamento da colhedora, visando minimizar a quebra dos grãos. A barra de corte deve estar ajustada numa altura entre 30 a 45 cm do solo, e as cascas dos grãos devem permanecer intactas. Recomenda-se uma velocidade no cilindro de 400 a 500 rpm e uma abertura no côncavo de um centímetro. A quantidade de ar deve ser ajustada para o menor possível, com a velocidade do ventilador menor que 500 rpm, porém, nunca impedir o fluxo de ar (KNIGHTS, 2002).

Para Knights (2002), antes de iniciar o processo de secagem, os grãos devem passar por um processo de limpeza, para posteriormente serem encaminhados para secagem. O crambe deve ser seco até 10 a 14% de teor de água. Deve ser armazenado em local limpo, livre de pragas e roedores. Para tais necessidades pode utilizar silos convencionais. Pode ocorrer que no momento da colheita o crambe apresente-se seco, porém ele pode conter

partes verdes de plantas daninha. Para prevenir o pré-aquecimento da massa de grãos durante o enchimento dos silos, deve-se acionar o sistema de aeração, assim que o chão do reservatório for coberto por uma camada de 60 a 90 cm de grãos. A aeração deve continuar até que a umidade e a temperatura da massa de grãos entrem em equilíbrio ao longo do silo. A secagem com ar a temperatura ambiente requer uma vazão específica mínima de $0,1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ t}^{-1}$, podendo ser utilizada somente quando o teor de água do grão não ultrapassar 20%, além da altura do reservatório ser limitada em 5 m.

Aplicações: O óleo extraído da semente do crambe é utilizado como lubrificante industrial, inibidor de corrosão e como ingrediente na fabricação de borracha sintética. O óleo que contém elevada concentração de ácido erúico, tem destino certo para as indústrias de fabricação de filmes plásticos, plastificantes, náilon, adesivos e isolantes elétricos (CARLSON et al, 1996). Estes autores relatam que o crambe tem sido promovido, nos EUA, como uma nova fonte doméstica de ácido erúico, primeiramente encontrado no óleo de canola. Os EUA utilizam mais de 18 milhões de quilos de óleo rico em ácido erúico, anualmente, sendo a maior parte importada da Polônia e Canadá. Embora a canola seja cultivada domesticamente, o óleo do crambe apresenta 8 a 9% mais ácido erúico, com a vantagem de ser mais bem adaptado para áreas tropicais americanas.

O farelo de crambe pode ser utilizado como suplemento proteico para alimentação animal. Este alimento contém de 25 a 35% de proteína, quando processado com casca e de 46 a 58% de proteína quando a casca é removida, com uma porcentagem bem balanceada de aminoácidos. Foi aprovado pelo FDA (Food and Drug Administration) para ser utilizado na alimentação de bovinos de corte, porém, até 5% do que o animal ingere diariamente. Esse suplemento protéico não foi aprovado para ração de animais monogástricos, por conter glucosinatos, os quais, ao serem digeridos no sistema digestivo, formam produtos perigosos, que causam danos ao fígado, rim e redução do apetite. O farelo de crambe, quando não tratado, pode conter até 10% glucosídeos, que são tóxicos para animais monogástricos, como suínos e aves (LAZZERI et al, 1984).

4.7 Relações energéticas na produção agrícola

4.7.1 Classificação de energia

Existem diversas classificações para os fluxos energéticos contidos nos diferentes processos produtivos: renováveis e não renováveis, diretos e indiretos, comercial e não comercial.

Nos sistemas agrícolas, Bueno (2002) considerou como fontes de energia direta os combustíveis fósseis, eletricidade, gás, e mão-de-obra. A energia consumida na indústria para a fabricação de máquinas, equipamentos e insumos, é considerada entrada de energia (input) no sistema agrícola, sendo classificada como tipo de energia indireta.

Também Comitre (1993), com base em Malassis (1973), utilizou a classificação em energia direta e indireta para analisar o dispêndio energético na fase de produção de soja.

4.7.2 Análise energética

A análise energética fundamenta-se como instrumento complementar de avaliação do processo produtivo, principalmente no tocante ao item sustentabilidade.

Hart (1980), ao desenvolver uma metodologia para análise energética em sistemas agrícolas, classificou as entradas energéticas em dois tipos: energia em forma de radiação solar e energia contida nos insumos culturais. As saídas energéticas foram consideradas produtos provenientes da produção agrícola e animal.

Hesles (1981), em estudo sobre análise energética de processos industriais, quantificou a energia diretamente consumida e/ou indiretamente utilizada em diferentes pontos de um processo produtivo.

Alguns autores como Jiménez (1980), Mello (1986) e Bueno et al. (2000) consideram que a análise energética pode ser melhor compreendida quando se aceita a contabilização da radiação global como insumo e quantificador da eficiência do sistema de produção na captação da energia solar.

Em face de dificuldades de obtenção de dados mais precisos a respeito da incidência de radiação solar nos sistemas de produção e sua consideração como fonte gratuita de energia, a maioria dos autores desconsidera essa contabilização (BEBER, 1989; BUENO, 2002; CAMPOS, 2001; CAMPOS et al., 2000; CARMO et al., 1988; COMITRE, 1993; COX e HARTKINS, 1979; HART, 1980; HEICHEL, 1976; LEACH, 1976; PALMA e ADAMS, 1984; PELLIZZI, 1992; PIMENTEL et al., 1973; PIMENTEL, 1980; PINTO, 2002; QUESADA et al., 1987).

Bueno et al. (2000) definem balanço de energia como instrumento de contabilização da energia produzida e das energias consumidas em um determinado sistema de produção, com a função principal de traduzir em unidades, ou equivalentes energéticos, os fatores de produção e os consumos intermediários, possibilitando a construção de indicadores comparáveis entre si, que permitam a intervenção no sistema produtivo visando melhorar sua eficiência.

A percepção da importância e utilidade do balanço de energia tem feito com que vários pesquisadores, em todo o mundo, utilizem-se deste instrumento para avaliação de sistemas e atividades agrícolas, nas mais diversas proporções, com distintas delimitações do sistema (CAMPOS, 2001).

Ao realizar a análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural, Bueno (2002) considera que a análise energética pode ser vista como um processo de avaliação das entradas (inputs) e saídas (outputs) de energia do sistema de produção. Os índices de coeficientes energéticos são apresentados em sua maioria em quilocaloria (kcal). O autor mostrou ainda os índices de eficiência cultural e energia cultural líquida para expressar o resultado do estudo, com os coeficientes energéticos apresentados em Megajoules (MJ). A primeira é dada pela relação entre as saídas úteis do sistema e as entradas culturais, e a segunda pela diferença entre as duas medidas.

Numa outra ótica, Risoud (1999) utiliza índices que captam o uso de energias renováveis nos agroecossistemas. A eficiência energética é caracterizada por Risoud (1999) como a razão estabelecida entre as energias brutas dos produtos e as energias não renováveis que “entram” no processo produtivo.

Como unidade de mensuração, segundo Risoud (1999), os estudos de eficiência energética expressam os resultados em Joule (J) e seus múltiplos, que atualmente

são os mais utilizados, principalmente o Megajoule (MJ), o que permite comparações entre diversos estudos.

4.7.3 Matriz energética

A definição das entradas (inputs) e saídas (outputs) de energia dos sistemas de produção, após a escolha dos índices a serem utilizados, tem início pelas descrições e quantificações das unidades, também chamadas de exigências físicas de um sistema produtivo.

Coefficientes técnicos determinam tais exigências e, para tanto, é necessário proceder à conversão destes em unidades ou coeficientes energéticos. A seguir são descritas as formas de obtenção dos conteúdos energéticos dos componentes de entradas e saídas a serem consideradas e as opções utilizadas na construção da matriz energética dos sistemas de produção.

4.7.3.1 Entradas energéticas

Ao revisar o valor energético da mão-de-obra adotado por diversos autores, é possível verificar uma variação grande oscilando entre $0,08 \text{ MJ h}^{-1}$ (PYKE, 1970) e $2,70 \text{ MJ h}^{-1}$ (PIMENTEL, 1979), o que deriva da aplicação de diferentes metodologias e análises na sua quantificação.

A variação observada justifica-se à medida que as análises levam em conta desde a transformação do salário do trabalhador em unidades energéticas, passando pela comparação do dispêndio energético de uma máquina e implemento que substitui o trabalho humano, até as atividades agrícolas consideradas trabalhos muito pesados.

É importante ressaltar que o consumo calórico e os gastos energéticos variam não apenas dentro do próprio grupo de trabalhadores de uma mesma atividade, mas também em função de culturas e localidades diferentes.

Ao analisar o combustível (óleo diesel), óleos lubrificantes e graxas como componentes de entradas energéticas dos sistemas produtivos agrícolas, Bueno (2002) verificou que muitos autores não contabilizam, em seus estudos, os custos energéticos da

extração e refino destes inputs. Para o autor, em função de diferentes graus de pureza, os valores calóricos do óleo diesel, lubrificante e graxa, particularmente do primeiro, variam, sendo preciso atualizá-los sempre que necessário.

Serra et al. (1979) e Cervinka (1980) apontaram a necessidade de acrescentar um percentual de 14%, ao poder calorífico dos combustíveis (óleo diesel e gasolina), referentes aos gastos calóricos para a obtenção desses insumos.

MME (2004) apresentou como índices energéticos 35,86 MJ L⁻¹ para o óleo diesel, multiplicado pelo fator 1,14 referente à energia gasta no refino e transporte do petróleo, e 37,75 MJ L⁻¹ para óleos lubrificantes. Quanto à graxa como coeficiente energético MME (2004) adotou o índice de 43,38 MJ kg⁻¹.

Além dos insumos utilizados nas máquinas agrícolas, consideram-se também os inputs energéticos referentes ao próprio maquinário e equipamentos.

A FAO (1976) considerou que, para a fabricação de cada quilograma do trator e demais maquinarias agrícolas, são necessários 87,12 MJ. Para Doering III (1980), o somatório da energia contida na matéria-prima, energia de fabricação da maquinaria e energia contida nas peças de reparo e manutenção durante a vida útil da máquina, determina o valor total calórico contido em determinado trator agrícola.

Beber (1989), adaptando equação citada por Hoffmann et al. (1984) para o cálculo de depreciação econômica, determinou o valor dos quilogramas depreciados para máquinas, equipamentos e implementos agrícolas partindo da massa, vida útil e tempo de utilização de cada um na propriedade. Essa determinação foi expressa na equação 1:

$$FerroDepreciado = \frac{Massa(kg) - 10\%Massa(kg)}{VidaÚtil(h) \times TempodeUtilização(h)} \quad \text{Equação 1}$$

Ao realizar a avaliação energética e econômica do sistema agro - alimentar soja, Comitre (1993) computou, de acordo com Doering III (1980), como energia indireta de origem industrial para máquinas, colhedora e implementos agrícolas somente a energia relativa ao valor adicionado na fabricação, adicionando 5% referente a reparo e um acréscimo de 12% para manutenção. Como coeficiente energético para trator e colhedora, a

autora utilizou 14.628,68 MJ t⁻¹ e 13.012,57 MJ t⁻¹ respectivamente, e 85.829,40 MJ t⁻¹ para pneus.

Como coeficientes energéticos para implementos e outros equipamentos utilizados em todas as operações até o plantio ou semeadura, Comitre (1993) adotou o valor de 8.628,99 MJ t⁻¹. Para as demais operações, utilizou o valor de 8.352,67 MJ.t⁻¹. Para expressar a depreciação energética de tratores, colhedoras, implementos e equipamentos, a autora utilizou a seguinte equação 2:

$$DEMI = \frac{a+b+c+d}{VidaÚtil(h)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

DEMI = Depreciação energética para máquinas e implementos

a = peso das máquinas e implementos x coeficientes energéticos correspondentes

b = 5% de 'a'

c = número de pneus x peso x coeficiente energético de referência

d = 12% de (a + b + c)

O valor b representa o percentual para reparos e o valor d é o percentual relativo à manutenção.

Em relação ao corretivo de solo, verificou-se que o calcário, além de ser usado em quantidades expressivas na produção agrícola, possui significativo conteúdo energético na extração, moagem, transporte e aplicação.

Com o coeficiente energético para o calcário, observou-se uma variação entre 0,17 MJ kg⁻¹ e 2,00 MJ kg⁻¹. Como coeficiente energético para o calcário, Bueno (2002), Castanho Filho e Chabariberi (1982), Comitre (1993), Pinto (2002), Sartori (1996) e Serra et al. (1979) utilizaram o índice de 0,17 MJ kg⁻¹.

Para a determinação dos coeficientes energéticos dos fertilizantes químicos, Bueno (2002) considerou 62,51 MJ kg⁻¹ para o N; 9,63 MJ kg⁻¹ para P₂O₅; e 9,21 MJ kg⁻¹ para K₂O. Face ao volume representativo das importações dos adubos utilizados, foi acrescido o valor de 0,50 MJ kg⁻¹ de fertilizante referente ao transporte marítimo, em função da recomendação de Leach (1976).

Outros insumos amplamente utilizados na agricultura em geral são os defensivos. Ao analisarem os gastos com inseticidas e herbicidas na cultura do milho no Brasil, Tsunechiro e Ferreira (2004) verificaram que a indústria de defensivos agrícolas no Brasil apresentou recorde de faturamento em 2003, sendo 23,1% correspondente a inseticidas e 48,6% a herbicidas.

Em função da escassez de dados específicos para defensivos, Pimentel (1980) recomenda os seguintes valores como coeficientes energéticos para os defensivos: 347,88 MJ kcal kg⁻¹ para os herbicidas; 311,08 MJ kg⁻¹ para os inseticidas; e 89,35 MJ kg⁻¹ para os formicidas em pó.

4.7.3.2 Saídas energéticas

Considera-se como “saídas” energéticas a produção física obtida multiplicada pelo seu valor calórico. No caso de grãos, por exemplo, os “restos culturais” são usualmente incorporados ao solo, sendo que a energia a eles correspondente não é computada, uma vez que podem vir a ser reaproveitadas no processo (CASTANHO FILHO e CHABARIBERI, 1982).

4.8 Custos de Produção

A expressão custo possui vários significados sendo que, para fins de análise econômica, Hoffmann et al. (1984) definem como a compensação que os donos dos fatores, utilizados por uma firma para produzir determinado bem, devem receber para que eles continuem fornecendo esses fatores à mesma. O mesmo autor comenta que os custos podem ser classificados como fixos e variáveis. São fixos, os custos que não variam com as quantidades produzidas, e variáveis, os custos que se alteram de acordo com o nível de produção da empresa.

4.8.1 Custos Fixos

Custos fixos são aqueles que não estão ligados às decisões de curto prazo sobre a produção a ser realizada; são também chamados de custos inevitáveis, já que o agricultor arca com os mesmos executando, ou não, o processo produtivo (FILHO e GONZAGA, 1991). Turra (1990), trabalhando com uma análise de diferentes métodos de cálculos de custos de produção na agricultura brasileira, afirma que podem ser considerados custos fixos a depreciação, a mão-de-obra fixa, os seguros, taxas, impostos e os juros sobre os fatores fixos de produção como, capital investido em terras e em outros ativos fixos.

4.8.1.1 Depreciação

A depreciação é o custo necessário para substituir os bens de capital de longa duração, quando estes se tornam inutilizáveis em decorrência do desgaste físico e perdem valor com o passar dos anos devido às inovações tecnológicas e, ou, a capacidade de gerar receitas (HOFFMANN, 1984; FRIZZONE, 1999).

4.8.1.2 Demais Custos Fixos

Para remuneração do capital investido, a taxa de juros a considerar varia de caso para caso, de acordo com o que se passa no respectivo mercado financeiro. Para determinação do valor de seguro, taxas e impostos, é possível utilizar os procedimentos constantes nas normas tributárias (TURRA, 1990). Os encargos pertinentes aos seguros e às taxas, geralmente, são reduzidos quando comparados a outras despesas. Assim, verificou-se que em algumas situações eles são considerados, em outras não (TURRA, 1990; FILHO E GONZAGA, 1991; MELO, 1993; BRASIL, 1996).

4.8.2 Custos Variáveis

Os custos operacionais e de manutenção (custos variáveis) compreendem, fundamentalmente, os dispêndios realizados com mão-de-obra, reparos dos

equipamentos e infra-estrutura utilizada na operação do sistema de secagem, além da energia. Turra (1990), em seu trabalho de análise de custos de produção da agricultura brasileira, dispõe que podem ser considerados como variáveis as despesas com equipamentos (energia e manutenção), implementos, animais de trabalho, manutenção das benfeitorias, mão-de-obra temporária, insumos, transporte externo, assistência técnica, custos financeiros e despesas gerais.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material

5.1.1 Área experimental

O ensaio foi conduzido no ano agrícola de 2007/2008, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, localizada no município de Botucatu - SP, na Região Centro-Oeste do Estado de São Paulo, tendo como coordenadas geográficas aproximadas de Latitude 22° 51' S e Longitude 48° 26' W de Greenwich, altitude média de 770 metros, declividade média de 4,5% e clima subtropical chuvoso, apresentando inverno seco, tipo Cfa, de acordo com o critério de Köppen. Na Figura 3, é apresentada o croqui da área experimental.



Figura 3. Croqui da área experimental, utilizada para produção do crambe em sistema de plantio direto, na Fazenda Experimental Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA/UNESP).

5.1.2 Caracterização do solo

O solo da área experimental foi classificado como NITOSSOLO VERMELHO distroférrico (EMBRAPA, 1979). A área experimental estava sendo conduzida no sistema de plantio direto, desde 1997, com as culturas do milho ou soja nas safras de verão e as culturas da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) ou triticale (*Triticum turgidocereale*) nas safras de outono/inverno. Após a colheita do milho da safra 2007/2008, esperou ocorrer precipitações, para realizar a dessecação por meio de herbicida para instalação do experimento.

Para a caracterização das propriedades químicas do solo, foram coletadas amostras antes de iniciar a implantação do experimento, em cinco pontos ao acaso, nas profundidades de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m. As amostras foram encaminhadas ao laboratório do Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP/Botucatu, para a análise química do solo, de acordo com a metodologia de Rajj e Quaggio (1983).

Tabela 3. Análise química do solo da área experimental nas camadas de 0,00 a 0,20 e 0,20 a 0,40 m.

Profundidade (m)	pH	M.O.	P _{resina}	mmol _c .dm ⁻³					CTC	V
	CaCl ₂	g.dm ⁻³	Mg dm ⁻³	H+AL	K	Ca	Mg	SB		
0,00 a 0,20	5,3	22	59	38	2,1	50	24	76	114	66
0,20 a 0,40	5,2	22	62	39	1,8	50	23	74	113	66

Profundidade (m)	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
	mg.dm ⁻³				
0,00 a 0,20	0,22	10,0	44	18,8	4,1
0,20 a 0,40	0,24	11,8	23	23,8	2,0

5.1.3 Dados climatológicos

As condições climatológicas não foram consideradas adequadas durante a realização do ensaio, porém, são típicas durante essa época do ano, uma vez que não ocorreu deficiência hídrica no período da semeadura (ocorrendo uma precipitação pluvial de 25 mm), este considerado o ponto crítico para uniformidade do estande e queda de produtividade durante o desenvolvimento da cultura; os resultados da precipitação acumulada e temperatura média mensais são apresentados na Figura 4.

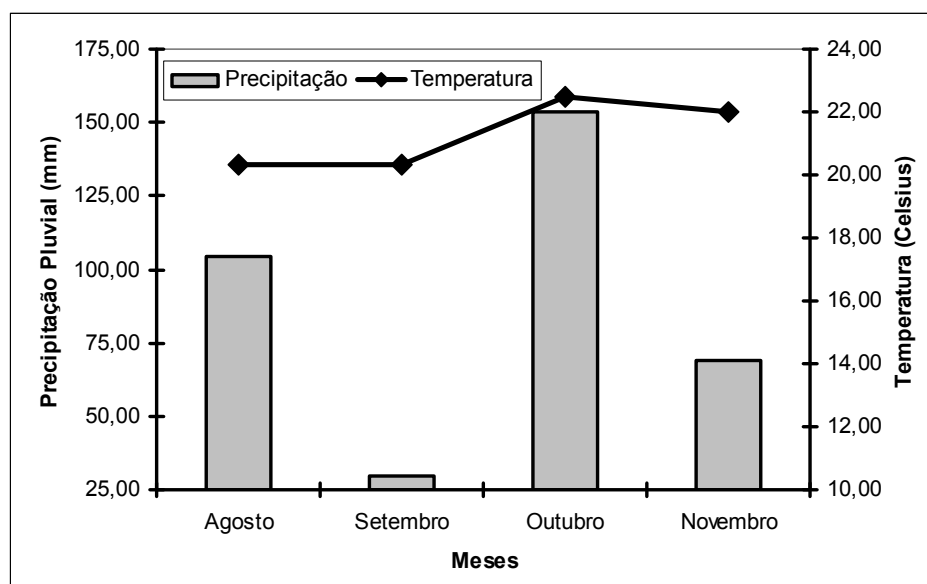


Figura 4. Precipitação pluvial acumulada (mm) e temperatura média (°C) mensais no ano 2008. Fonte: Departamento de Recursos Naturais - Ciências Ambientais - FCA - UNESP/Lageado - Campus de Botucatu.

5.1.4 Máquinas e Implementos

Foram avaliadas as seguintes operações mecanizadas na condução da cultura do crambe para o sistema de plantio direto: dessecação de palha, tratamento da semente, semeadura, transporte de insumos e colheita. Os equipamentos utilizados no ensaio, como algumas especificações técnicas e o valor de aquisição são apresentados na Tabela 4. Os preços de aquisição foram obtidos junto ao Anuário da Agricultura Brasileira (AGRIANUAL, 2008), elaborado pelo Instituto FNP, com base em agosto de 2007. A vida útil em anos e uso anual em horas dos equipamentos foram obtidos no Instituto de Economia Agrícola de São Paulo (IEA, 2008). O peso dos rodados foi determinado com auxílio de representantes da empresa Goodyear.

Tabela 4. Equipamentos utilizados, suas características, vida útil, horas de uso anual e valor de mercado.

Equipamento/Características	Vida Útil (Anos)	Uso Anual (Horas)	Valor de Aquisição (R\$)
Trator Massey Ferguson, modelo MF 283 (4x2 TDA), com potência de 63,2 kW (86 cv) no motor, peso de embarque 2.850 kg (3.431 kg com lastro), rodados dianteiros 12.4-24 R1(39 kg) e rodados traseiros 18.4-30 R1 (83 kg), para a realização da operação de pulverização e transporte de insumos.	10	1.000	98.200,00
Trator de marca John Deere, modelo 6600 (4x2 TDA), com potência de 89 kW (121 cv) no motor, peso de embarque de 4.400 kg (7.000 kg com lastro), rodados dianteiros 16.9-24 R1(77 kg) e rodados traseiros 23.1-30 R1 (138 kg), para a realização da semeadura.	10	1.000	140.000,00
Pulverizador de barras marca Jacto, modelo Condor, montado, capacidade de 600 litros, peso 400 kg, barra de 12 m de comprimento, provida de 24 pontas do tipo leque modelo DG 110-03, espaçadas de 0,50 m.	10	480	11.277,00
Semeadora-adubadora de precisão, da marca Semeato, modelo SHM 15/17, de arrasto, acionamento por controle remoto com 15 linhas, com espaçamento de 0,17 m, peso de 2.540 kg, rodados de 6.50-16 R1 (11 kg).	10	480	61.392,00
Carreta Metálica Basculante marca Stara, Modelo Reboke 5000, capacidade de 5m ³ , peso 1.010 kg, rodados 7.50-16 R1(15 kg).	10	600	9.500,00
Colhedora autopropelida de grãos, marca Massey Ferguson, modelo MF 3640, com potência de 95,6 kW (130 cv) no motor, com peso de embarque de 6.760 kg (7.193 kg com plataforma de corte “molinete”), rodados dianteiros 23.1-30 R1 (138 kg) e rodados traseiros 14.9-24 R1(59 kg).	15	480	280.000,00

5.1.5 Sementes, fertilizantes e defensivos agrícolas.

Foram utilizadas sementes de crambe, Cultivar Brilhante, com potencial produtivo de 1.800 kg ha⁻¹, material este pertencente à Fundação MS, semeado com espaçamento de 0,17 m entre linhas e visando à população final de 1.500.000 a 2.000.000 plantas por hectare. Os insumos agrícolas utilizados estão apresentados na Tabela 5, conforme

as recomendações técnicas específicas dos produtos, como o fertilizante utilizado na implantação do experimento. A adubação de base utilizada durante a instalação do experimento foi obtida através das recomendações da adubação da cultura do trigo.

Tabela 5. Insumos e defensivos utilizados na cultura do crambe.

Produto	Quantidade	Preço (R\$)
Semente Crambe	17,00 kg ha ⁻¹	6,00 kg ⁻¹
Fertilizante (fórmula 08-28-16)	200,00 kg ha ⁻¹	2.104,35 t ⁻¹
Herbicida Roundup (<i>Glyphosate 360 g L⁻¹</i>)*	3,00 L ha ⁻¹	19,63 L ⁻¹
Fungicida Vitavax (<i>Thiram 200 g kg⁻¹</i>)	0,30 L ha ⁻¹	34,05 L ⁻¹

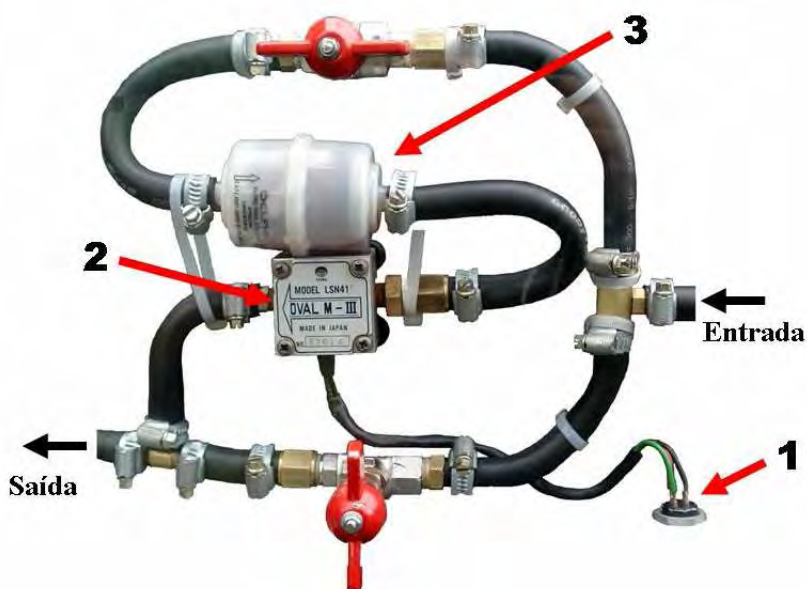
Fonte: Instituto de Economia Agrícola de São Paulo – Preço Médio de 2008.

5.1.6 Sistema de aquisição de dados

Para a aquisição e monitoramento dos sinais obtidos pelos sensores instalados no sistema de alimentação de combustível, na barra de tração e na tomada de potência (TDP), foi utilizado um painel desenvolvido pelo Laboratório de Mecanização Agrícola da FCA/UNESP - Botucatu.

5.1.7 Determinação do consumo horário de combustível

Foi utilizado um fluxômetro, marca “Flowmate” oval, modelo Oval M-III, com precisão de 0,01 mililitros. Este fluxômetro gera uma unidade de pulso a cada mililitro de combustível consumido pelo trator, na qual foi registrado no sistema de aquisição de dados, conforme Figura 5.

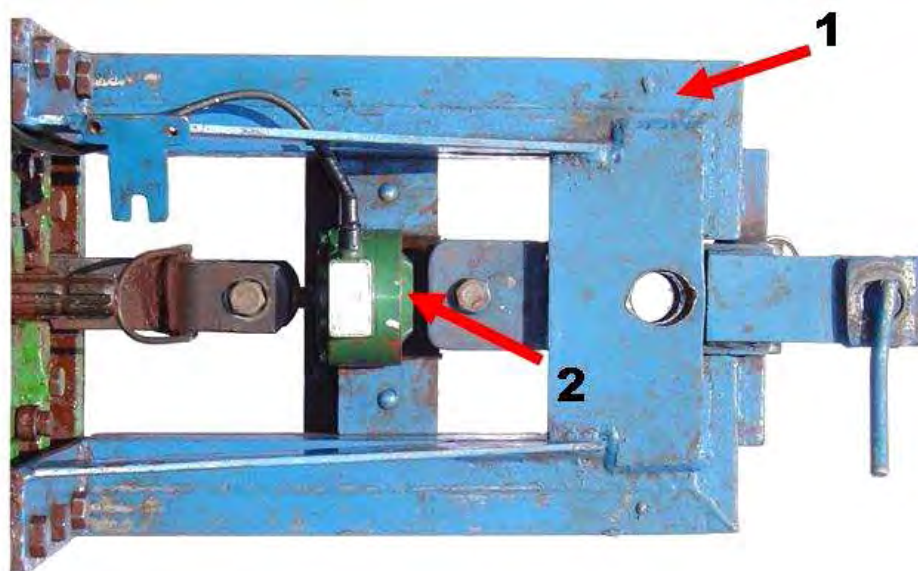


Fonte: Seki (2007)

Figura 5. Fluxômetro instalado no trator para determinação do consumo de combustível. Acoplamento ao sistema de aquisição de dados (1), fluxômetro (2) e filtro de combustível (3).

5.1.8 Determinação da força de tração

Para a determinação da força de tração na barra na operação de semeadura, utilizou-se uma célula de carga de marca Sodmex, modelo N-400, com capacidade de 50 kN e sensibilidade de $2,001 \text{ mV V}^{-1}$, instalada numa estrutura metálica “berço” entre o trator e o conjunto tracionado, conforme Figura 6.



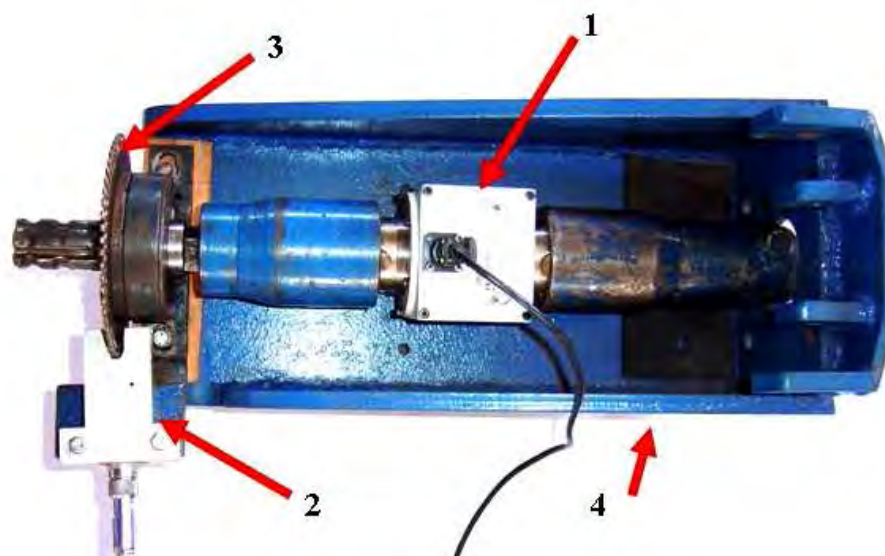
Fonte: Seki (2007)

Figura 6. Conjunto para ensaio de força de tração na barra. Suporte metálico “berço” (1) e célula de carga (2).

5.1.9 Determinação do torque na tomada de potência (TDP)

Foi utilizado um torciômetro marca Sodmex, modelo MT-202, de extensômetros de resistência elétrica, com escala nominal de 0 a 3000 Nm, com sensibilidade de $1,994 \text{ MV V}^{-1}$, alimentação de 10 Vcc.

Para possibilitar o acoplamento do torciômetro entre o eixo da TDP do trator e o eixo cardan dos implementos e, também, para que o torciômetro permanecesse na horizontal, foi utilizada uma base, descrito por Silva (1997), conforme Figura 7.



Fonte: Seki (2007)

Figura 7. Conjunto para ensaio de torque na TDP. Torciômetro (1), sensor de rotação (2), roda dentada (3) e mesa de suporte do conjunto torciométrico (4).

5.1.10 Determinação da rotação na tomada de potência (TDP)

Para a determinação da rotação, foi utilizado um sensor fotoelétrico mecânico, constituído de fotocélulas, disco ranhurado com 60 ranhuras, indicador instantâneo de rotação, integrador de rotação e cronômetro conjugado, possibilitando indicação da rotação na forma instantânea e integrado.

5.2 Métodos

5.2.1 Instalação e condução do experimento

A sequência das atividades da instalação, condução e avaliações realizadas no experimento são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6. Ordem cronológica das atividades realizadas no experimento.

Data	Atividades
01/08/08	Coleta de amostras de solo para caracterização das propriedades químicas do solo;
08/08/08	Dessecação da área;
15/08/08	Semeadura do crambe (Figura 8);
22/08/08	Avaliação da população inicial de plantas (Figura 9);
19/11/08	Determinação da altura das plantas e da população final das plantas de crambe;
21/11/08	Determinação da produtividade de crambe (Figura 10);
24/11/08	Colheita mecanizada do crambe (Figura 11);
24/11/08	Avaliação final dos teores de água dos grãos de crambe.

**Figura 8.** Operação de semeadura do crambe, com semeadora de fluxo-contínuo, com 15 linhas espaçadas em 0,17m, em sistema de plantio direto.



Figura 9. Vista geral da área experimental do crambe em fase de florescimento, com 60 dias após a semeadura.



Figura 10. Área experimental da cultura do crambe antes da colheita, com 90 dias após a semeadura.



Figura 11. Operação de colheita, com a colhedora automotriz, com 102 dias após a semeadura.

5.2.2 Instalação e condução do experimento

5.2.2.1 Dessecação da área

O controle de plantas daninhas antes da semeadura do crambe foi realizado por meio de pulverização tratorizada, com vazão de 210 L ha^{-1} e pressão de trabalho de 50 Lb pol^{-2} , utilizando-se $3,00 \text{ L ha}^{-1}$ do herbicida de nome comercial Roundup (*Glyfosate*).

5.2.2.2 Semeadura do crambe

A semeadura do crambe foi realizada com a semeadora de plantio direto tratorizada de arrasto, com 15 linhas individuais espaçadas de $0,17 \text{ m}$, colocando-se $17,65$ quilogramas de sementes por hectare, com aproximadamente 2 centímetros de profundidade. Antes do plantio realizou-se tratamento das sementes com o Fungicida Vitavax Thiram 200 SC.

5.2.2.3 Transporte do crambe

O transporte do crambe foi realizado por um conjunto mecanizado (trator + carreta) da descarga da colhedora até a saída da propriedade, aproximadamente dois quilômetros.

5.2.3 Avaliação fitotécnica da cultura

5.2.3.1 Altura das plantas

Para determinação da altura de cada planta, foi considerada a distância entre o nível do solo e o último ramo do pendão. Para esta avaliação, foram utilizadas régua de madeira com fitas métricas aderidas. Foram tomadas medidas de 50 plantas quando a cultura se encontrava no estágio de florescimento.

5.2.4 Componentes de produção

5.2.4.1 População inicial e final de plantas

Para determinação das populações inicial e final de plantas, foram contadas todas as plantas da área útil de cinco parcelas com dois metros quadrados e o resultado extrapolado para plantas por hectare, respectivamente, aos 10 e 95 dias depois da semeadura.

5.2.4.2 Produtividade de Grãos

A produtividade foi obtida a partir da massa dos grãos, contidos na área útil das parcelas utilizadas para estimar a população das plantas, mediante pesagem, e expressa em toneladas por hectare, ajustadas para 13% de teor de água, baseadas nas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 1992).

5.2.4.3 Produtividade de óleo

Para essa determinação, foram utilizadas cinco amostras de 10 gramas dos grãos de crambe colhidos, posteriormente macerados em almofariz e colocadas para secar dentro de cartuchos em estufa de circulação de ar forçado a 60°C, por 6 horas. As amostras foram pesadas e submetidas à extração com 650 mL de hexano em extrator com capacidade de 9 amostras por 7 horas. As amostras foram novamente secadas por 6 horas e pesadas. O teor de óleo foi determinado pela Equação 3, (MYCZKWSKI, (2003), expressa em litros por hectare.

$$P_{\text{Óleo}} = \frac{\left[\left(\frac{P-p}{P-c} \right) \cdot 100 \right] \cdot P_{\text{Grãos}}}{D_{\text{Óleo}}} \quad \text{Equação 3}$$

em que:

$P_{\text{Óleo}}$ = produtividade de óleo em L. ha⁻¹;

P (peso da amostra antes da extração) = peso do cartucho + peso do material macerado (kg);

p (peso da amostra após a extração) = peso do cartucho + peso do material macerado após a extração de óleo (kg);

c (peso do cartucho) = peso do papel filtro + peso dos grampos;

$P_{\text{Grãos}}$ = produtividade dos grãos em kg. ha⁻¹;

$D_{\text{Óleo}}$ = densidade do óleo de crambe kg. L⁻¹.

5.2.5 Caracterização das operações mecanizadas

5.2.5.1 Aquisição dos dados

Os dados foram anotados continuamente e, em seguida, transferidos ao computador. Os dados coletados foram força de tração na barra, consumo horário de combustível, velocidade de deslocamento, torque e rotação na TDP (dessecação), conforme a Figura 12.

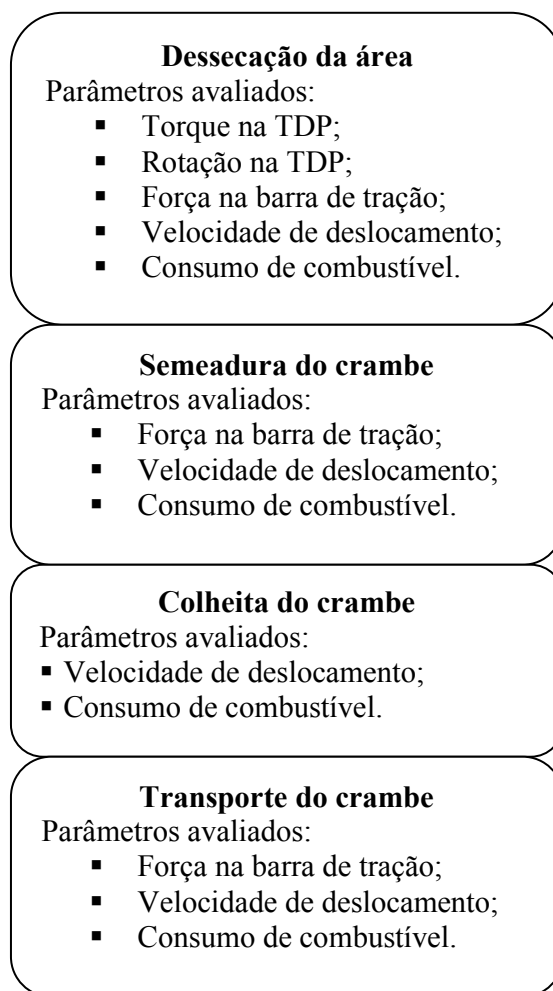


Figura 12. Fluxograma das avaliações realizadas nas operações mecanizadas na cultura do crambe implantada sob sistema plantio direto.

5.2.5.2 Determinação da velocidade de deslocamento

A velocidade de deslocamento nas operações de pulverização e semeadura foi obtida indiretamente através da frequência de aquisição de dados (10 Hz) do “micrologger 21X”. O tempo gasto para percorrer cada parcela correspondeu ao produto da quantidade de registros por parcela sob o intervalo de tempo, em segundos, entre cada registro (0,2 s). A velocidade média foi obtida pela Equação 4:

$$Vel = \frac{L}{\Delta_t} \cdot 3,6$$

Equação 4

Onde:

Vel = velocidade de deslocamento do conjunto trator – equipamento (km. h⁻¹);

L = comprimento da parcela experimental (m);

Δ_t = tempo gasto para percorrer a parcela experimental (s);

3,6 = fator de conversão.

5.2.5.3 Capacidade de campo efetiva

A capacidade de campo efetiva foi determinada pela relação entre a área útil da parcela trabalhada e o tempo gasto no percurso da parcela, por meio da Equação 5:

$$CE = \frac{Atr}{\Delta_t} \cdot 0,36$$

Equação 5

Onde:

CE = capacidade de campo efetiva (ha. h⁻¹);

Atr = área útil da parcela trabalhada (m²);

Δ_t = tempo gasto no percurso da parcela experimental (s);

0,36 = fator de conversão.

5.2.5.4 Tempo efetivo demandado

O tempo efetivo demandado foi calculado pela seguinte Equação:

$$Td = \frac{1}{CE}$$

Equação 6

Onde:

Td = tempo efetivo demandado (h. ha⁻¹);

CE = capacidade de campo efetiva (ha. h⁻¹).

5.2.5.5 Consumo horário de combustível

O consumo horário de combustível foi quantificado por meio de um fluxômetro, instalado próximo ao filtro de combustível, antes do retorno, tanto do trator como da colhedora. O gerador registra uma unidade de pulso a cada mL de combustível que passa pelo mesmo. O cálculo foi obtido pela quantidade de pulsos e o tempo gasto para percorrer a parcela. O consumo horário de combustível foi calculado pela Equação 7:

$$CCh = \frac{\sum p \cdot 3,6}{\Delta_t}$$

Equação 7

Onde:

CCh = consumo horário de combustível (L. h⁻¹);

$\sum p$ = somatório de pulsos, equivalente ao somatório de mL de combustível gasto para percorrer a parcela experimental (mL);

Δ_t = tempo gasto para percorrer a parcela experimental (s);

3,6 = fator de conversão.

5.2.5.6 Consumo de combustível por área

Calculado pela Equação 8:

$$CCa = Td \times CCh$$

Equação 8

Onde:

CCa = consumo de combustível por área ($L \text{ ha}^{-1}$);

Td = tempo efetivo demandado ($h \text{ ha}^{-1}$);

CCh = consumo de combustível horário ($L \text{ h}^{-1}$).

5.2.5.7 Força média na barra de barra

Os valores de força de tração na barra foram monitorados e armazenados pelo sistema de aquisição de dados em unidades de kgf, que corresponde à média aritmética dos valores (multiplicada pelo fator de correção de 1,52) obtidos durante o deslocamento dos equipamentos pelas parcelas experimentais.

5.2.5.8 Força máxima na barra de tração

A força máxima de tração ou pico de força corresponde ao valor máximo de força de tração armazenado pelo sistema de aquisição de dados durante o deslocamento do conjunto trator/equipamento na parcela experimental, apresentado em kN.

5.2.5.9 Potência média requerida na barra de tração do trator

A potência média exigida na barra de tração foi calculada pela Equação 9:

$$Pm = \frac{Fm \ Vm}{3,6}$$

Equação 9

Onde:

Pm = potência média requerida na barra de tração do trator (kW);

Fm = força de tração média requerida na barra de tração (kN);

Vm = velocidade média de deslocamento ($km. \text{ h}^{-1}$);

3,6 = fator de conversão.

5.2.5.10 Potência máxima requerida na barra de tração do trator

A potência máxima requerida pela barra de tração corresponde à potência calculada no pico máximo de força registrado em cada parcela experimental.

$$P_m = \frac{F_{máx} V_m}{3,6} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

$P_{máx}$ = potência máxima requerida na barra de tração do trator (kW);

$F_{máx}$ = força de tração máxima requerida na barra de tração (kN);

V_m = velocidade média de deslocamento (km. h⁻¹);

3,6 = fator de conversão.

5.2.5.11 Força de tração média requerida por linha de semeadura

Para efeito de comparação de desempenho de semeadoras-adubadoras, algumas referências bibliográficas ressaltam a importância de avaliação de força de tração específica, seja ela por número de conjuntos de órgãos ativos (linhas de semeadura), por profundidade de abertura de sulco e por unidade de solo mobilizado (SILVA, 2003). Desta forma, foi avaliada além da força de tração média e máxima, a força de tração por linha de semeadura.

A força de tração por linha de semeadura corresponde à força de tração requerida por unidade de semeadura, sendo calculada pela Equação:

$$F_L = \frac{F_m}{NL} \quad \text{Equação 11}$$

em que:

FL = força de tração média requerida por linha de semeadura (kN linha^{-1});

Fm = força de tração média, determinada em (kN);

NL = Número de linhas da semeadora-adubadora.

5.2.5.12 Torque médio na tomada de potência (TDP) do trator

O torque médio (Nm) desenvolvido pelo trator durante os testes, foi calculado através da indicação do integrador de sinais da célula de torque, localizada entre a tomada de potência do trator (TDP) e os equipamentos (pulverizador), também, pelo tempo gasto em cada leitura, empregando-se a seguinte Equação:

$$T_m = \frac{T_i}{\Delta_t} \quad \text{Equação 12}$$

onde:

T_m = torque médio desenvolvido pela máquina (Nm);

T_i = leitura integrada do torque (Nm s^{-1});

Δ_t = tempo gasto (s).

5.2.5.13 Torque máximo na tomada de potência (TDP) do trator

O torque máximo da TDP ou pico de torque corresponde ao valor máximo de torque na TDP armazenado pelo sistema de aquisição de dados durante o desenvolvimento do conjunto motomecanizado em cada parcela experimental, expressa na unidade Nm .

5.2.5.14 Rotação instantânea da tomada de potência do trator (TDP)

A rotação da TDP do trator foi calculada pela indicação do integrador de rotação mediante a seguinte expressão:

$$RPMT = \frac{L_i}{\Delta_t}$$

Equação 13

onde:

$RPMT$ = rotação da TDP do trator;

L_i = leitura integrada;

Δ_t = tempo gasto (s).

5.2.5.15 Potência média na tomada de potência (TDP)

A potência na TDP foi calculada pela seguinte Equação:

$$P_{TDP} = T_m \cdot RPMT \cdot 0,00010466$$

Equação 14

onde:

P_{TDP} = potência média na TDP (kW);

T_m = torque médio da TDP (Nm);

$RPMT$ = Rotação na TDP do trator;

0,00010466 = fator de conversão.

5.2.5.16 Potência máxima na tomada de potência (TDP)

A potência máxima na TDP foi calculada pela seguinte Equação:

$$P_{TDP \text{ máx}} = T_{\text{máx}} \cdot RPMT \cdot 0,00010466$$

Equação 15

onde:

$P_{TDP \text{ máx}}$ = potência máxima na TDP (kW);

$T_{\text{máx}}$ = torque máximo da TDP (Nm);

$RPMT$ = Rotação na TDP do trator;

0,00010466 = fator de conversão.

5.2.5.17 Potência determinada através do consumo horário de combustível

A potência demandada na operação da colheita do crambe, através de colhedoras automotrizes, foi determinada a partir do consumo horário de combustível (MIALHE, 1974).

5.2.5.17.1. Potência teórica

Potência resultante da transformação total da energia interna do combustível em trabalho mecânico foi determinada por meio da Equação 16:

$$P_t = \frac{CCh \cdot 0,852 \cdot 10110 \cdot 427}{3600 \cdot 75} \quad \text{Equação 16}$$

onde:

P_t = potência teórica (cv);

CCh = consumo horário de combustível ($L h^{-1}$);

0,852 = massa específica do combustível ($kg L^{-1}$) (MIALHE, 1980);

10110 = poder calorífico do combustível ($kcal kg^{-1}$) (MIALHE, 1980);

427 = equivalente mecânico do calor ($kgm kcal^{-1}$);

3600 = segundos por hora;

75 = kgm por cv.

5.2.5.17.2. Potência efetiva

A potência efetiva foi calculada pela seguinte Equação:

$$P_e = \frac{(0,34 \times P_t)}{1,36} \quad \text{Equação 17}$$

onde:

P_e = potência efetiva (kW);

P_t = potência teórica (cv);

0,34 = rendimento térmico mecânico (MIALHE, 1980);

1,36 = fator de conversão.

5.2.5.17.3. Uso específico de energia por área

A potência efetiva foi calculada pela seguinte Equação:

$$U_{ea} = P_m \times T_d \quad \text{Equação 18}$$

onde:

U_{ea} = uso específico de energia por área (kW h ha⁻¹);

P_m = potência média na barra de tração (kW);

T_d = tempo efetivo demandado (h ha⁻¹).

5.2.6 Indicadores de eficiência energética do crambe

Os indicadores de eficiência energética utilizados neste trabalho foram:

$$Eficiência\ Cultural = \frac{Saídas\ Úteis}{Entradas\ Culturais} \quad \text{Equação 19}$$

$$Eficiência\ Energética = \frac{\sum Energia\ Bruta\ dos\ Produtos}{\sum Entrada\ de\ Energias\ Não\ Renováveis} \quad \text{Equação 20}$$

O primeiro indicador (Equação 19) é um dos índices mais utilizados na literatura em análise energética de culturas agrícolas (BUENO, 2002), e o segundo (Equação 20) avança em direção à relação entre sustentabilidade e análises energéticas de explorações agrícolas (RISOUD, 1999). Consideram neste estudo, para a equação da eficiência energética, as saídas energéticas como o somatório de energia bruta dos produtos, e as entradas energéticas não renováveis, como o total de energia de fonte fóssil.

Cada operação foi detalhada no sentido de identificar e especificar o(s) tipo(s) e quantidade(s) de máquina(s) e implemento(s) utilizado(s), bem como seu(s) respectivo(s) consumo(s) de combustível (eis), lubrificante(s) e graxa(s); o número de horas de cada operação; o material consumido; e a mão-de-obra envolvida, por unidade de área, quantificando-a e determinando, individualmente, a massa, altura, idade e gênero.

Foi realizada a conversão das diversas unidades físicas encontradas em unidades energéticas, como também foi determinado o tempo de operação por unidade de área. Foram adotados como unidade energética os Joules e seus múltiplos (RISOUD, 1999), sendo os mais utilizados em estudos de eficiência energética, que equivale a 4,1868 calorias. Os resultados deste estudo serão dados em Megajoules (MJ).

Para a determinação da energia aplicada nas operações que caracterizam o itinerário técnico, utilizou-se a metodologia apresentada por Bueno (2002). A Tabela 7 mostra os coeficientes para conversão de unidades físicas em unidades energéticas, conforme literatura apresentada.

Tabela 7. Coeficientes para conversão de unidades físicas em unidades energéticas.

Entrada (input)	Unidade Física	Dispêndio Energético (MJ)
Mão-de-Obra		MJ
Semente [1]*	kg	27,40
Fertilizantes [2]**		
N	kg	62,61
P ₂ O ₅	kg	9,63
K ₂ O	kg	9,21
<i>Glyphosate</i> [3]	kg (ingrediente ativo)	631,83
<i>Vitavax Thiram</i> [3]	L	271,71
Máquinas [4]	t	14.628,68
Colhedora [4]	t	13.012,57
Implemento (até semeadura) [4]	t	8.628,99
Implemento (pós semeadura) [4]	t	8.352,67
Pneus [4]	t	85.829,40
Óleo Diesel [6]	L	40,88
Graxa [5]	kg	43,38
Lubrificante [5]	L	37,75

Fonte: [1] Laboratório de Recursos Naturais – UNESP/Botucatu-SP (2008); Pimentel et al. (1973); [2] Bueno (2002); [3] Pimentel (1980b);

[4] Comitê (1993); [5] Brasil (2004); [6] Asae (1997).

* ABNT-NBR 8633.

** Acréscimo de 0,50 MJ em 63,45% do fertilizante químico importado devido ao transporte marítimo (ANDA, 2009).

Foi identificada a mão-de-obra envolvida na produção com relação a gênero, massa, altura e idade, associada às operações desenvolvidas por estes e será determinado o GER (gasto energético no repouso) ou metabolismo basal (MB), conforme Mahan e Escott-Stump (1998). Tais resultados foram convertidos em MJ.

Para o gênero masculino utilizará:

$$GER = 66,50 + 13,75P + 5,00A - 6,78I \quad \text{Equação 21}$$

Onde:

P = massa, em kg;

A = altura, em cm; e

I = idade; em anos completos.

A necessidade calórica final do produtor é estimada pelo somatório de três períodos: tempo de sono, tempo de trabalho e tempo de ocupações não profissionais. Segundo a metodologia de Carvalho et al. (1974), estabeleceu-se 1/3 do GER a fração correspondente ao tempo de sono, e 1/2 do GER às ocupações não profissionais. A determinação do GER correspondente ao tempo de trabalho é calculada a partir do tipo de trabalho realizado pelo agricultor, conforme Carvalho et al. (1974), com adaptações de Bueno (2002), e apresentada na Tabela 8.

Tabela 8. Dispêndio de energia de agricultores por tipo de trabalho agrícola, em fração correspondente ao GER.

Tipo de Trabalho	Dispêndio de Energia
Condução de trator, colhedora e caminhão	3/6 do GER
Semeadura e adubação	5/6 do GER
Adubação de cobertura	6/6 do GER
Transporte de sementes e adubos	7/6 do GER
Aplicação de calcário	8/6 do GER
Capina manual	9/6 do GER
Capina com tração animal	14/6 do GER

Fonte: Bueno (2002).

A depreciação energética das máquinas e implementos foi determinada a partir dos coeficientes energéticos e método descrito por Comitre (1993), conforme literatura citada.

A massa final em ferro de cada trator foi determinada pelo peso de embarque informado nos catálogos dos respectivos fabricantes. Bueno (2002) define peso de embarque como o peso do trator, sem contrapesos, sem água nos pneus, sem operador e tanque de combustível com somente 20 litros de óleo Diesel.

Foram coletados dados sobre tipos e quantidades de pneus para cada um dos tratores, implementos e caminhões, utilizados no sistema de produção. As informações sobre a massa de cada pneu, e a quantidade e localização dos lastros de cada um dos tratores foram extraídas de catálogos dos fabricantes.

5.2.7 Análise do custo de produção da cultura do crambe

Para análise dos custos de produção da cultura do crambe, os custos foram divididos em fixos e variáveis.

5.2.7.1 Custos fixos

Os custos fixos adotados nesta metodologia são dados por depreciação, juros, manutenção, abrigo, alojamento e mão-de-obra.

5.2.7.1.1. Depreciação

A depreciação (Equação 22) foi estimada pelo método linear, que implica uma redução constante do valor do equipamento para cada ano de vida útil.

$$D = \left(\frac{VI - VF}{L} \right) \left(\frac{1}{N} \right) \quad \text{Equação 22}$$

Onde:

D = depreciação (R\$. h⁻¹);

VI = valor inicial (R\$);

VF = valor final (R\$);

L = vida útil (anos);

N = horas trabalhada por ano (h).

5.2.7.1.2. Juros

O custo decorrente dos juros (Equação 23) reflete o custo de oportunidade do capital e foi determinado multiplicando-se pela taxa de juro (7%) sobre o valor médio do capital.

$$J = \left(\frac{VI + VF}{2} \right) \left(\frac{T_j}{100} \right) \left(\frac{1}{N} \right) \quad \text{Equação 23}$$

Onde:

J = juros (R\$. h⁻¹);

VI = valor inicial (R\$);

VF = valor final (R\$);

T_j = taxa de juros (%);

N = horas trabalhada por ano (h).

5.2.7.1.3. Manutenção, Lubrificantes, Graxas, Alojamento e Seguro

O custo de alojamento, lubrificantes, graxas, seguro e manutenção foram determinados admitindo-se percentual de 14% sobre o valor de aquisição do bem.

5.2.7.1.4. Mão-de-obra

Para o cálculo do custo da mão-de-obra, foi utilizada a metodologia proposta por Hoffman et al. (1984).

Considerou-se o tratorista e um funcionário recebendo salários de R\$ 1.200,00 e R\$ 600,00 por mês, respectivamente, com acréscimo de 96,27% de encargos sociais (13º salário, férias e INSS). Efetuou-se a conversão em custo horário de mão-de-obra, considerado uma jornada diária de 8 h de trabalho e 20 dias mensalmente.

5.2.7.2 Custos variáveis

Os custos variáveis foram determinados pelos insumos, combustível, graxa e óleos lubrificantes consumidos na condução do experimento.

5.2.7.2.1. Insumos

A determinação do custo dos insumos baseou-se no preço dos insumos e no consumo dos mesmos por hectare, chegando ao custo final por área.

5.2.7.2.2. Combustível

O custo horário de combustíveis foi calculado pelo preço do combustível (R\$ 1,99 L⁻¹ – IEA 2008) e o consumo horário de combustível pelas máquinas agrícolas, chegando-se a Equação 25:

$$CHC = P_C \cdot CC_h \quad \text{Equação 24}$$

Onde:

CHC = custo horário de combustível (R\$. h⁻¹);

P_C = preço do combustível (R\$. L⁻¹);

CC_h = consumo de combustível horário (L h⁻¹).

5.2.8 Análise de qualidade do óleo e do biodiesel do crambe

Os grãos colhidos foram encaminhados à empresa Ecirtec Equipamentos e Acessórios Industriais Ltda., com sede em Bauru/SP, onde o óleo foi extraído em prensa quente.

O Biodiesel a partir do óleo do *Crambe abyssinica* Hochst foi obtido por reação de transesterificação, utilizando o álcool metílico e o catalisador básico (KOH). As análises físico-químicas do óleo foram realizadas de acordo com as normas da American Oil Chemists Society [AOCS, 1985]. As análises do biodiesel puro foram realizadas de acordo com as normas indicadas pela Resolução nº 7 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2008). Todas as análises foram realizadas no Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Avaliação fitotécnica da cultura do crambe

Os valores da altura, da população inicial e final plantas, bem como, as produtividades de grão e óleo são apresentados na Tabela 9. Verifica-se que os valores da altura das plantas e da população inicial estão de acordo com as recomendações, obtendo desta forma uma população final ideal, favorecendo a produtividade de grãos, que foi acima da média de 1.400, 00 kg ha⁻¹, conforme o catálogo da Fundação MS (2007), detentora da cultivar brilhante, utilizada no experimento. Por fim, a produtividade de óleo por hectare foi superior a 500 litros.

Tabela 9. Valores mínimos, máximos e médios da altura de plantas, população inicial e final de plantas por hectares e produtividade de grãos e litros de óleo por hectare, na cultura do crambe implantada sob plantio direto, Botucatu/SP, 2008.

Variáveis analisadas	Mínimo	Máximo	Média
Altura das plantas (m)	0,79	0,95	0,87
População inicial de plantas (plantas ha ⁻¹)	1.294.117,65	1.705.882,35	1.500.000,00
População final de plantas (plantas ha ⁻¹)	1.176.470,59	1.529.411,76	1.352.941,18
Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	1.268,23	1.745,88	1.507,05
Produtividade de óleo (L ha ⁻¹)	528,84	650,99	561,94

Teor de óleo de 33,98% e densidade do óleo do crambe de 911,3 kg m⁻³.

6.2 Caracterização das operações mecanizadas

6.2.1 Caracterização da operação de pulverização

Os valores médios apresentados nas Tabelas 10 e 11 foram utilizados para a determinação da demanda energética na operação de dessecação da área. O consumo horário médio de combustível foi de 3,80 L h⁻¹. O resultado foi semelhante ao obtido por Cordeiro et al., (1988) que, ao realizarem análises do consumo horário em tratores agrícolas operados em condições normais de uma propriedade com pulverizadores montados, verificaram uma variação de 3,23 a 4,55 L h⁻¹ para tratores menores de 80 cv (58,88 kW) de potência no motor.

Tabela 10. Valores mínimo, máximo e médio da velocidade de deslocamento (km h⁻¹), capacidade operacional efetiva - CE (ha h⁻¹), tempo efetivo demandado – Td (h ha⁻¹); consumo horário de combustível - CCh (L h⁻¹) e consumo de combustível por área – CCa (L ha⁻¹).

Variáveis analisadas	Mínimo	Máximo	Média
Velocidade (km h ⁻¹)	4,84	5,45	5,08
Capacidade operacional efetiva (ha h ⁻¹)	5,81	6,55	6,10
Tempo efetivo demandado (h ha ⁻¹)	0,15	0,17	0,16
Consumo horário de combustível (L h ⁻¹)	3,64	3,93	3,80
Consumo de combustível por área (L ha ⁻¹)	0,60	0,65	0,62

A operação de pulverização apresentou uma alta capacidade operacional efetiva, atingindo 6,1 ha h⁻¹. Isto se deve à largura de trabalho do equipamento e à velocidade de deslocamento durante a operação do conjunto utilizado. Conseqüentemente, a alta capacidade operacional efetiva influenciou, diretamente, o que reduziu o consumo de combustível por área na operação.

Tabela 11. Valores mínimo, máximo e médio de tração (kN); tração máxima (kN); torque médio (Nm); torque máximo (Nm); rotação TDP (rpm); potência média na barra (kW); potência máxima na barra (kW); potência média na TDP (kW); potência máxima na TDP (kW); potência requerida (kW); potência máxima requerida (kW) e uso específico de energia por área – Uea (kW h ha⁻¹).

Variáveis analisadas	Mínimo	Máximo	Média
Força média (kN)	2,09	3,52	2,49
Força máxima (kN)	4,12	4,67	4,30
Torque médio (Nm)	13,83	21,12	17,70
Torque máximo (Nm)	28,36	39,17	33,02
Rotação na TDP (rpm)	544,24	570,37	557,15
Potência média na barra de tração (kW)	2,93	5,33	3,53
Potência máxima na barra de tração (kW)	5,53	6,71	6,07
Potência média na TDP (kW)	0,81	1,23	1,03
Potência máxima na TDP (kW)	1,63	2,28	1,93
Potência requerida (kW)	3,91	6,44	4,56
Potência máxima requerida (kW)	7,54	8,53	7,96
Uso específico de energia por área (kW h ha ⁻¹)	0,64	0,98	0,74

6.2.2 Caracterização da operação de semeadura do crambe

A velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora e a capacidade operacional efetiva são apresentadas na Tabela 12.

A capacidade operacional efetiva e a velocidade de deslocamento foram de 1,79 ha h⁻¹ e 7,01 km h⁻¹, respectivamente, sendo 67% e 17%, respectivamente, superior ao relatado por Piffer (2008) que avaliou a semeadura do nabo forrageiro, no sistema de plantio direto

No presente trabalho, o consumo horário de combustível foi de 10,87 L h⁻¹, resultado semelhante ao obtido por SILVA (2003). Levien et al. (1999) obtiveram valores de 13,0; 12,9 e 12,3 litros por hora de óleo diesel para semeadura em solo classificado como Nitossolo Vermelho Distrófico Latossólico, preparado pelo método convencional, reduzido (escarificação) e plantio direto, respectivamente.

Tabela 12. Valores mínimo, máximo e médio da velocidade de deslocamento (km h^{-1}), capacidade operacional efetiva - CE (ha h^{-1}), tempo efetivo demandado – Td (h ha^{-1}); consumo horário de combustível - CCh (L h^{-1}) e consumo de combustível por área – CCa (L ha^{-1}), na operação de semeadura do crambe.

Variáveis analisadas	Mínimo	Máximo	Média
Velocidade (km h^{-1})	6,70	7,29	7,01
Capacidade operacional efetiva (ha h^{-1})	1,71	1,86	1,79
Tempo efetivo demandado (h ha^{-1})	0,54	0,59	0,56
Consumo horário de combustível (L h^{-1})	10,38	11,47	10,87
Consumo de combustível por área (L ha^{-1})	5,88	6,27	6,08

A força média requerida por linha de semeadura (Tabela 13) no sistema de plantio direto, foi de 0,44 kN, valores esses inferiores ao preconizado pela ASAE (1999) em semeadoras-adubadoras de fluxo contínuo que é 0,70 kN para plantio direto, por linha de semeadura da máquina. Para testar algumas das variáveis influenciadoras da demanda de tração na semeadura da aveia preta sobre resteva de milho, Levien et al. (2001) encontraram valores de força de tração exigida por linha de semeadura de 0,31; 0,33 e 0,28 para os sistemas de preparo do solo convencional, escarificado e plantio direto, respectivamente. Portanto, abaixo dos valores preconizados pela ASAE (1999), essa discrepância pode ser atribuída aos teores de água do solo, cobertura ou resistência do solo ao corte.

Tabela 13. Valores médios de força média de tração (kN); tração máxima (kN); força média requerida por linha de semeadura (kN); potência média na barra (kW); potência máxima na barra (kW) e uso específico de energia por área – Uea (kW h ha^{-1}), na operação de semeadura do crambe.

Variáveis analisadas	Mínimo	Máximo	Média
Força média (kN)	4,44	7,34	6,60
Força máxima (kN)	8,18	9,88	8,97
Força média por linha de semeadura (kN)	0,30	0,49	0,44
Potência média (kW)	8,26	14,86	12,90
Potência máxima (kW)	15,78	19,68	17,46
Uso específico de energia por área (kW h ha^{-1})	6,70	7,29	7,01

6.2.3 Caracterização da operação de colheita do crambe

Os valores operacionais e energéticos da colheita do crambe são apresentados na Tabela 14. A velocidade média da colheita foi de 3,18 km h⁻¹, abaixo do relatado por Mazetto (2008), que variou de 5,01 a 6,02 km h⁻¹, na colheita da soja. O mesmo autor relatou que o tempo efetivo demandado e capacidade operacional efetiva na colheita da soja, foram, respectivamente, de 0,222 a 0,287 h ha⁻¹ e 3,49 a 4,52 ha h⁻¹, contra 0,75 h ha⁻¹ e 1,34 ha h⁻¹ na colheita do crambe. Essas diferenças ocorreram, principalmente, devido à cultura, que requer uma menor velocidade de deslocamento.

Tabela 14. Valores médios da velocidade de deslocamento (km h⁻¹), capacidade operacional efetiva - CE (ha h⁻¹), tempo efetivo demandado – Td (h ha⁻¹); consumo horário de combustível - CCh (L h⁻¹); consumo de combustível por área – CCa (L ha⁻¹); potência efetiva (kW) e uso específico de energia por área – Uea (kW h ha⁻¹), na operação de colheita do crambe.

Variáveis analisadas	Mínimo	Máximo	Média
Velocidade (km h ⁻¹)	3,06	3,30	3,18
Capacidade operacional efetiva (ha h ⁻¹)	1,29	1,38	1,33
Tempo efetivo demandado (h ha ⁻¹)	0,72	0,78	0,75
Consumo horário de combustível (L h ⁻¹)	12,53	12,69	12,62
Consumo de combustível por área (L ha ⁻¹)	9,09	9,75	9,46
Potência efetiva (kW)	42,67	43,22	42,97
Uso específico de energia por área (kW h ha ⁻¹)	30,97	33,21	32,22

6.2.4 Caracterização do transporte do crambe

As demandas operacionais e energéticas do transporte do crambe estão apresentadas nas Tabelas 15 e 16.

Tabela 15. Valores médios da velocidade de deslocamento (km h^{-1}), capacidade operacional efetiva - CE (ha h^{-1}), tempo efetivo demandado – Td (h ha^{-1}); consumo horário de combustível - CCh (L h^{-1}) e consumo de combustível por área – CCa (L ha^{-1}), nas operações de transporte do crambe.

Variáveis analisadas	Mínimo	Máximo	Média
Velocidade (km h^{-1})	13,46	15,04	14,43
Capacidade operacional efetiva (ha h^{-1})	6,64	7,42	7,12
Tempo efetivo demandado (h ha^{-1})	0,13	0,15	0,14
Consumo horário de combustível (L h^{-1})	10,55	11,09	10,83
Consumo de combustível por área (L ha^{-1})	1,43	1,67	1,52

A velocidade média foi de $14,43 \text{ km h}^{-1}$, sendo mensurado da descarga da colhedora até a porteira, o que conferiu uma capacidade operacional efetiva de $7,12 \text{ ha h}^{-1}$.

Tabela 16. Valores médios de força média de tração (kN); tração máxima (kN); potência média na barra (kW); potência máxima na barra (kW) e uso específico de energia por área – Uea (kW h ha^{-1}), para cada 1 quilômetro percorrido, nas operações de transporte do grão de crambe.

Variáveis analisadas	Mínimo	Máximo	Média
Força média (kN)	2,15	3,98	2,96
Força máxima (kN)	4,21	4,67	4,47
Potência média (kW)	8,81	16,50	11,88
Potência máxima (kW)	15,74	19,50	17,92
Uso específico de energia por área (kW h ha^{-1})	1,21	2,24	1,66

6.2.5 Caracterização das diversas operações realizadas no crambe

Os valores médios operacionais e energéticos das operações realizadas no crambe são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Valores médios da capacidade operacional efetiva – CE (ha h^{-1}), consumo horário de combustível – CCh (L h^{-1}), consumo de combustível por área – Cca (L ha^{-1}) e uso específico de energia por área – UEA (kWh ha^{-1}), nas operações realizadas no crambe.

Operação	CE (ha h^{-1})	CCh (L h^{-1})	CCa (L ha^{-1})	UEA (kWh ha^{-1})
Pulverização	6,10	3,80	0,62	0,74
Semeadura	1,79	10,87	6,08	7,19
Colheita do grão	1,33	12,62	9,46	32,22
Transporte do grão	7,12	10,83	1,52	1,67
TOTAL	-	-	17,68	41,82

6.3 Custo de implantação do crambe

6.3.1 Custo da dessecação da área

Os valores médios do custo, por hora e hectare máquina, da dessecação da área são apresentados na Tabela 18, juntamente com o custo do herbicida. O custo total por hora e hectare máquina para o conjunto trator-pulverizador foram, respectivamente, de R\$ 64,57 h^{-1} e R\$ 10,52 ha^{-1} . Com relação ao custo total de dessecação por hectare, somente o herbicida, responde por mais de 90%, com um custo de R\$ 58,90, (FUNDAÇÃO MS 2008/2009). O custo do herbicida para dessecação da área é R\$ 59,40, praticamente, o mesmo valor.

Tabela 18. Valores médios dos custos fixos e variáveis do conjunto trator-pulverizador, por hora (R\$ h⁻¹) e por hectare (R\$ ha⁻¹), para dessecação da área, juntamente com o custo por hectare do herbicida.

Custos Fixos	Custo por hora (R\$ h⁻¹)	Custo por hectare (R\$ ha⁻¹)
Depreciação	R\$ 10,95	R\$ 1,79
Juros	R\$ 9,37	R\$ 1,53
Manutenção	R\$ 14,60	R\$ 2,38
Sub-Total	R\$ 34,93	R\$ 6,78
Custos Variáveis		
Mão-de-obra		
Tratorista	R\$ 14,72	R\$ 2,40
Comum	R\$ 7,36	R\$ 1,20
Combustível	R\$ 7,56	R\$ 1,23
Sub-Total	R\$ 89,67	R\$ 4,83
Custo Total da Pulverização	R\$ 64,57	R\$ 10,52
Herbicida		R\$ 58,90
Custo Total da Dessecação		R\$ 69,44

6.3.2 Custo da semeadura do crambe

Na Tabela 19, são apresentados os custos médios por hora e por hectare máquina para semeadura do crambe, em sistema de plantio direto, junto com preço dos insumos. O maior custo na semeadura do crambe foi o fertilizante, correspondendo, em torno de 70% do custo total hectare, com valor de R\$ 420,87.

Tabela 19. Valores médios e porcentagens de participação dos custos fixos e variáveis, por hora (R\$ h⁻¹) e por hectare (R\$ ha⁻¹), para semeadura do crambe, em plantio direto.

Custos Fixos	Custo por hora (R\$ h⁻¹)	Custo por hectare (R\$ ha⁻¹)
Depreciação	R\$ 24,11	R\$ 13,50
Juros	R\$ 20,63	R\$ 11,55
Manutenção	R\$ 32,15	R\$ 18,00
Sub-Total	R\$ 76,89	R\$ 43,06
Custos Variáveis		
Mão-de-obra		
Tratorista	R\$ 14,72	R\$ 8,24
Comum	R\$ 7,36	R\$ 4,12
Combustível	R\$ 21,63	R\$ 12,11
Sub-Total	R\$ 43,71	R\$ 24,48
Custo Total da Semeadora	R\$ 120,60	R\$ 67,54
Semente		R\$ 102,00
Tratamento da semente		R\$ 1,84
Fungicida		R\$ 10,22
Fertilizantes		R\$ 420,87
Custo Total da Semeadura		R\$ 602,46

6.3.3 Custo da colheita do crambe

Na Tabela 20, são apresentados os custos médios da colhedora, por hora e área, para cultura do crambe. Mesquita et al. (2001) afirmam que a evolução tecnológica das colhedoras e, conseqüentemente, o aumento progressivo no tamanho e preço dessas máquinas tornaram a operação da colheita mais onerosa na produção de grãos, fato este confirmado apenas pelo custo de oportunidade do capital (juro), que, mesmo a colhedora parada, o agricultor está pagando R\$ 44,92 h⁻¹, o que corresponde a 35% da sua despesa por hora.

Tabela 20. Valores médios e porcentagem de participação dos custos fixos e variáveis, por hora (R\$ h⁻¹) e por hectare (R\$ ha⁻¹), para colheita do crambe.

Custos Fixos	Custo por hora (R\$ h⁻¹)	Custo por hectare (R\$ ha⁻¹)
Depreciação	R\$ 35,00	R\$ 26,25
Juros	R\$ 44,92	R\$ 33,69
Manutenção	R\$ 70,00	R\$ 52,50
Sub-Total	R\$ 149,92	R\$ 112,44
Custos Variáveis		
Mão-de-obra		
Tratorista	R\$ 14,72	R\$ 11,04
Comum	R\$ 7,36	R\$ 5,52
Combustível	R\$ 25,11	R\$ 18,84
Sub-Total	R\$ 47,19	R\$ 35,40
Custo Total da Colhedora	R\$ 197,11	R\$ 147,83

6.3.4 Custo do transporte interno do crambe

Os valores médios do custo interno do transporte do crambe são apresentados na Tabela 21, sendo que o custo total foi R\$ 85,86 h⁻¹ e R\$ 12,02 ha⁻¹, para transportar o crambe da colhedora à porteira do experimento.

Tabela 21. Valores médios e porcentagem de participação dos custos fixos e variáveis, por hora (R\$ h⁻¹) e por hectare (R\$ ha⁻¹), para o transporte interno do crambe.

Custos Fixos	Custo por hora (R\$ h⁻¹)	Custo por hectare (R\$ ha⁻¹)
Depreciação	R\$ 10,26	R\$ 1,44
Juros	R\$ 8,78	R\$ 1,23
Manutenção	R\$ 13,68	R\$ 1,92
Sub-Total	R\$ 32,73	R\$ 4,58
Custos Variáveis		
Tratorista	R\$ 14,72	R\$ 2,06
Mão-de-obra	R\$ 7,36	R\$ 1,03
Combustível	R\$ 21,55	R\$ 3,02
Sub-Total	R\$ 43,63	R\$ 6,11
Custo Total do Transporte Interno	R\$ 76,36	R\$ 10,69

6.3.5 Custo total das diversas operações

Na Tabela 22, são apresentados os resultados do custo médio por hectare das operações mecanizadas e insumos envolvidos desde a dessecação da área até a colheita do crambe. Os custos das operações mecanizadas foram de R\$ 236,58 ha⁻¹, o que, representou 28,49% do custo total, sendo que a colheita do crambe custou R\$147,83 ha⁻¹ (62,48% do custo das operações mecanizadas), devido à baixa capacidade operacional, dificuldades de colheita (grão leve e estande desuniforme). As despesas com insumos corresponderam a 71,51% do custo total, com valor aproximado de R\$ 600,00 ha⁻¹. Os custos totais por quilograma do grão e litro de óleo foram, respectivamente, de R\$ 0,55 kg⁻¹ e R\$ 1,48 L⁻¹, o que corresponde ao custo da saca de R\$ 33,06. De acordo com o boletim Tecnologia e Produção 2008/2009, da Fundação MS, o custo da saca de soja, envolvendo as mesmas etapas analisadas do crambe, foi de R\$ 39,27, sendo 18,78% superior ao custo de produção do crambe. Outra, alternativa, para reduzir consideravelmente o custo de produção seria plantar sem uso de fertilizantes, utilizando apenas a fertilidade residual do solo. Poderia, também, optar por plantar a cultura a lanço o que reduziria o custo das operações mecanizadas.

Tabela 22. Custo médio por hectare (R\$ ha⁻¹), porcentagem e produtividade (kg ha⁻¹ e L ha⁻¹), para a cultura do crambe.

Descrição das Operações	Custo (R\$ ha⁻¹)	
Dessecação	R\$ 10,52	1,27%
Semeadura	R\$ 67,54	8,13%
Colheita	R\$ 147,83	17,80%
Transporte	R\$ 10,69	1,29%
Sub-Total	R\$ 236,58	28,49%
Insumos		
Herbicida	R\$ 58,89	7,09%
Semente (tratada)	R\$ 114,05	13,73%
Fertilizante	R\$ 420,87	50,68%
Sub-Total	R\$ 593,81	71,51%
TOTAL	R\$ 830,39	100,00%
Produtividade (kg ha ⁻¹)	1.507,05	
Produtividade (L ha ⁻¹)	561,94	
TOTAL	R\$ 0,55 kg⁻¹ (R\$ 1,48 L⁻¹)	R\$ 33,06 saca⁻¹

6.4 Análise Energética

6.4.1 Dessecação da área

Na operação de dessecação, verifica-se, pela Tabela 23, o elevado dispêndio em energia indireta, ultrapassando o valor de 82% do total da energia gasta nessa operação. O herbicida de nome comercial Roundup, foi responsável por 99% da demanda de energia indireta. Dentro da energia direta, o consumo de origem fóssil destaca-se em função, principalmente, do óleo diesel que representou 95,91% da energia consumida. Os valores de energia, por tipo, fonte e forma estão apresentados na Tabela 23.

Tabela 23. Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ ha⁻¹, e participações percentuais na operação de dessecação.

TIPO, Fonte e Forma	Entradas culturais (MJ)	Participação (%)
ENERGIA DIRETA	161,97	17,82
Biológica		
Mão-de-obra		
Tratorista	0,06	0,01
Comum	0,11	0,01
Fóssil		
Óleo Diesel	155,34	17,09
Lubrificante	2,50	0,27
Graxa	3,94	0,44
ENERGIA INDIRETA	747,01	82,18
Industrial		
Trator	1,32	0,15
Pulverizador	0,14	0,01
Herbicida	745,56	82,02
TOTAL	908,98	100,00

6.4.2 Tratamento da semente

Analisando a Tabela 24, pode-se verificar que o fungicida, energia indireta, de fonte industrial, foi responsável por 99,82% da energia envolvida no tratamento da semente, o restante, 0,18%, foi o dispêndio da mão-de-obra.

Tabela 24. Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ ha⁻¹, e participações percentuais na operação de tratamento da semente.

TIPO, Fonte e Forma	Entradas culturais (MJ)	Participação (%)
ENERGIA DIRETA	0,15	0,18
Biológica		
Mão-de-obra		
Comum	0,15	0,18
ENERGIA INDIRETA	81,51	99,82
Industrial		
Fungicida	81,51	99,82
TOTAL	81,66	100,00

6.4.3 Semeadura e adubação

Na operação de semeadura e adubação, verifica-se, na Tabela 25, o maior consumo calórico em energia indireta, devido ao uso de fertilizantes químicos, sendo que esta forma de energia foi responsável por mais 75% do consumo, valor próximo ao encontrado por Pracucho (2006), ao analisar a energia despendida na produção de milho em plantio direto. A semente, componente da energia direta de origem biológica, destaca-se pela elevada participação na energia direta despendida (15,18%), seguida pelo gasto calórico do óleo diesel (8,10%).

Tabela 25. Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ ha⁻¹, e participações percentuais na operação de semeadura e adubação.

TIPO, Fonte e Forma	Entradas culturais (MJ)	Participação (%)
ENERGIA DIRETA	723,31	28,15
Biológica		
Mão-de-obra		
Tratorista	0,27	0,01
Comum	0,32	0,01
Semente	465,84	18,13
Fóssil		
Óleo Diesel	248,55	9,67
Lubrificante	4,20	0,16
Graxa	4,13	0,16
ENERGIA INDIRETA	1.846,16	71,85
Industrial		
Trator	9,06	0,35
Semeadora	3,25	0,13
Fertilizante	1.834,16	71,37
TOTAL	2.569,57	100,00

6.4.4 Colheita e transporte interno

As operações de colheita e transporte consomem energia direta de forma significativa, mesmo envolvendo duas máquinas, colhedora e trator, e uma carreta, ou seja, energia indireta de fonte industrial. A superioridade da energia direta ocorre em função da elevada utilização de fonte fóssil, representada particularmente pelo gasto energético com óleo diesel (Tabela 26). Na análise da energia indireta, destaca-se o alto valor da fonte energética industrial representada pela colhedora, que foi dez vezes superior ao conjunto trator-carreta.

Tabela 26. Entrada de energia, por tipo, fonte e forma, em MJ ha⁻¹, e participações percentuais na operação de colheita e transporte interno.

TIPO, Fonte e Forma	Entradas culturais (MJ)	Participação (%)
ENERGIA DIRETA	461,17	96,46
Biológica		
Mão-de-obra		
Tratorista	0,34	0,07
Comum	0,60	0,13
Fóssil		
Óleo Diesel	448,86	93,88
Lubrificante	6,16	1,29
Graxa	5,21	1,09
ENERGIA INDIRETA	16,93	3,54
Industrial		
Colhedora	15,41	3,22
Trator	1,15	0,24
Carreta	0,37	0,08
TOTAL	478,10	100,00

6.4.5 Dispendio energético da produção de crambe

A Tabela 27 apresenta a participação das diversas operações do itinerário técnico em unidades energéticas por unidade de área. A Tabela em questão, de maneira complementar, evidencia que as operações de dessecação, semeadura e adubação são as maiores consumidoras de energia. Ambas fazem parte de um itinerário técnico no qual os fertilizantes químicos se apresentam como formas energéticas bastante desproporcionais (Tabela 25 e 27).

Tabela 27. Participação das operações no itinerário técnico na produção de crambe, em sistema de plantio direto, em MJ ha⁻¹.

Operação	Participação energética no sistema de produção	
	MJ ha⁻¹	%
Dessecação	908,98	22,51
Semeadura	2.569,79	63,63
Tratamento da Semente	81,66	2,02
Colheita e Transporte	478,10	11,84
TOTAL	4.038,53	100,00

6.4.6 Matriz energética da produção de crambe

A eficiência cultural da produção do crambe é apresentada na Tabela 28, por intermédio de uma matriz energética ou estrutura de dispêndios calóricos, onde “entradas” (*inputs*) e “saídas” (*outputs*) de energia são quantificadas e contabilizadas em unidades energéticas. Considerando a produção do crambe a partir do itinerário técnico apresentado e para uma produtividade média de 1.507,05 kg ha⁻¹, o que representa uma produtividade de 25,12 sacas por hectare, obteve-se, uma energia embutida na produção igual a 41.293,17 MJ.

Tabela 28. Estrutura de dispêndios, por tipo, fonte e forma; “entradas” culturais, “saídas” úteis, energia cultural líquida e eficiência cultural da produção de crambe, por hectare.

TIPO, Fonte e Forma	Entradas culturais (MJ)	Participação (%)
ENERGIA DIRETA	1.346,60	33,34
Biológica		
Mão-de-obra		
Tratorista	0,67	0,02
Comum	1,18	0,03
Semente	465,84	11,53
Fóssil		
Óleo Diesel	852,76	21,12
Lubrificante	12,85	0,32
Graxa	13,30	0,33
ENERGIA INDIRETA	2.691,93	66,66
Industrial		
Máquinas e Implementos	30,70	0,76
Herbicidas e Fungicidas	827,07	20,48
Fertilizantes Químicos	1.834,16	45,42
“ENTRADAS” CULTURAIS	4.038,53	100,00
“SAÍDAS” ÚTEIS	41.293,17	
ENERGIA CULTURAL LÍQUIDA	37.254,64	
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	43,69	
EFICIÊNCIA CULTURAL	10,22	

O maior consumo de energia no sistema em estudo correspondeu ao fertilizante, com 45,42% do total (Tabela 28). Em seguida, ficou o óleo diesel com 21,12%,

fato explicado pela utilização de equipamentos como tratores, nas fases de dessecação e semeadura, e colhedora automotriz. Dados os problemas relativos ao custo de energia e sua esgotabilidade, e considerando a crise energética que é atualmente vivenciada, o elevado consumo de energia na forma de combustível torna o item o principal "estrangulador" do presente sistema em estudo. As soluções visando à redução de consumo energético dentro dessa rubrica são complicadas, uma vez que estariam todas vinculadas à necessidade de redução de utilização desses equipamentos.

As proporções utilizadas de energia direta (33,34%) e indireta (66,66%) mantiveram em torno de 1/3 e 2/3, respectivamente, em relação ao total da energia consumida pelo sistema. A produção do crambe analisada, dependeu, fundamentalmente, de fontes de energia industriais, particularmente fertilizantes químicos (45,42%), e de fontes fósseis (21,12%), apresentando tendência semelhante aos trabalhos de Beber (1989) e Ulbanere (1988).

A participação energética do combustível (Tabela 28), nessa análise, foi inferior aos dados constantes na bibliografia para outras culturas, de forma geral. Quesada et al. (1987) informam participações de 47,6%; 46,5% e 40,7% na energia advinda do óleo diesel, para as culturas de milho, soja e trigo, respectivamente, em estudo desenvolvido no Rio Grande do Sul. Fato explicado devidos ao número reduzido de operações mecanizadas da cultura do crambe quando comparada com estas culturas.

Em todas as etapas, houve baixo consumo de energia na forma de trabalho humano. Isso motiva autores, como Ulbanere (1988), a desconsiderar essa rubrica na contabilização dos consumos de energia. Neste trabalho, os valores baixos ocorreram devido às características da delimitação do sistema em estudo, que considera somente a mão-de-obra para as atividades mecanizadas.

Eficiência Energética: Analisando a Tabela 28, verifica-se que a energia cultural líquida para produção do crambe foi de 37.254,64 MJ ha⁻¹, resultando numa eficiência cultural de 10,22, ou seja, a cada unidade de energia empregada na produção de crambe o retorno é de 9,22 unidades de energia. A eficiência energética foi de 43,69, representado que, para cada unidade utilizada de energia fóssil, o retorno é 42,69 unidades de energia na produção de crambe. Melo et al (2007) encontraram, para cultura da soja, uma energia cultural líquida de 67.641,11 MJ ha⁻¹, porém, a entrada de energia foi 12.502,36 MJ

ha⁻¹, três vezes superior à encontrada do crambe de 4.038,53 MJ ha⁻¹, o que contribui para uma eficiência cultura 88,99% inferior ao do crambe.

Sato et al., (2008) ao analisar energeticamente a cultura do pinhão-manso, relataram uma eficiência cultural de 0,25, além de ressaltar que este sistema não depende de fontes não renováveis, como óleo diesel, logo não sendo possível calcular a eficiência energética.

Apesar das intensas atividades com máquinas agrícolas tratorizadas e intensiva utilização de insumos energéticos, principalmente de derivados de petróleo, notadamente fertilizantes, a eficiência energética para a produção do *Crambe abyssinica* Hochst se mostrou bastante favorável. Em termos comparativos, de forma teórica, Schroll (1994), por exemplo, sugere que um índice de 2 para a relação saída/entrada de energia ("output"/"input") seria razoável para uma política de desenvolvimento da sustentabilidade ecológica da Dinamarca.

6.5 Propriedades físicas e químicas do óleo do crambe

Os resultados da caracterização físico-química do óleo do *Crambe abyssinica* Hochst são apresentados na Tabela 29.

Analisando o teor de água para óleo do crambe de, 803,4 mg kg⁻¹, obtém-se um valor inferior a 0,5% em peso. De acordo com Freedman et al. (1984) e Silva (2005), todas as matérias-primas para biodiesel devem ser anidras, ou seja, conter no máximo 0,5% do seu peso em água. Portanto, o óleo do crambe analisado foi favorável para obtenção do biodiesel, na reação de transesterificação.

Verifica-se na Tabela 29, o alto índice de acidez do óleo do crambe (3,64 mg KOH g⁻¹), quando comparado com os índices de acidez relatado por Cunha (2008) para óleo de soja, sebo bovino e gordura de frango que foram, respectivamente, 0,104 mg KOH g⁻¹, 0,703 mg KOH g⁻¹ e 0,684 mg KOH g⁻¹. Por outro lado, no trabalho realizado por Schroeder et al. (2006), o índice de acidez da gordura das aves, obtida do sistema de tratamento de efluente, foi de 10,02 ± 0,02 mg KOH g⁻¹, quase três vezes superior ao índice de acidez do crambe. Para corrigir o alto índice da gordura das aves, utilizaram um catalisador básico na reação transesterificação, mesmo procedimento adotado neste trabalho.

As propriedades físico-químicas da matéria-prima que podem interferir na reação de transesterificação são duas: o teor de água por promover a desativação do catalisador, e conseqüentemente, a formação de ácidos graxos livres; e o índice de acidez, que determina o estado de conservação dos óleos e/ou gordura. Elevados índices de acidez podem interferir negativamente na reação de transesterificação, por favorecer a reação de saponificação, transformando os ácidos graxos em sabão e formando moléculas de água (PEREIRA, 2007).

Ainda pela análise da Tabela 29, observou-se mínima diferença da massa específica do óleo do crambe que foi de $911,3 \text{ kg m}^{-3}$, quando comparada com a massa específica dos óleos de canola, girassol e soja, de $920,3 \text{ kg m}^{-3}$, $918,0 \text{ kg m}^{-3}$ e $919,5 \text{ kg m}^{-3}$, respectivamente, relatada por Bassi e Maciel (2003).

Na Tabela 30, é apresentada composição e a porcentagem dos ácidos graxos do óleo do *Crambe abyssinica* Hochst. Analisando-se a composição, observa-se a predominância dos ácidos graxos insaturados (90,1%) sobre os ácidos graxos saturados (9,9%), tendo o ácido erúxico (insaturado) correspondido a 56,7% da composição dos ácidos graxos, corroborando com os dados de Echevengúá (2007).

Voltando à análise da Tabela 29, verifica-se que o índice de iodo para óleo do crambe foi de $88 \text{ gI}_2 \text{ 100g}^{-1}$. Relacionando o índice de iodo com a composição dos ácidos graxos no trabalho de Cunha (2008), observa-se que o índice de iodo para o óleo de soja, sebo bovino e gordura de frango foram de $143,34 \text{ gI}_2 \text{ 100g}^{-1}$, $41,52 \text{ gI}_2 \text{ 100g}^{-1}$ e $60,21 \text{ gI}_2 \text{ 100g}^{-1}$, respectivamente. As composições dos ácidos graxos foram de: 82,08% insaturados e 17,92% saturados para óleo de soja; 34,48% insaturados e 65,52% saturados para o sebo bovino; e 69,22% de insaturados e 30,78% de saturados para gordura frango, ou seja, o índice de iodo é relativo ao número de duplas ligações do ácido (insaturação), sendo dependente da origem do óleo e/ou gordura (SORIANO et al.,2006), logo o elevado índice de iodo do óleo do crambe, reflete a predominância dos ácidos graxos insaturados sobre os ácidos graxos saturados, o que explica, em partes, a alta viscosidade cinemática do óleo do crambe ($49,02 \text{ mm}^2 \text{ g}^{-1}$), conforme Tabela1, mas esta viscosidade deve ser atribuída, principalmente, pelo ácido graxo predominante, no caso erúxico, conforme Garcia (2006).

Para a produção de biodiesel, é preferível a predominância de ácidos graxos saturados, que possuam alto número de cetano, pois são menos propensos à oxidação

que os compostos insaturados (CANAKCI, 2007). Como a oxidação causa polimerização e formação de goma, evitando a combustão completa nos motores ciclo diesel (MA & HANNA, 1999), a mistura do biodiesel do crambe com diesel e/ou biodiesel provenientes de outros óleos vegetais, residuais ou gordura animal, pode ser recomendável.

Tabela 29. Parâmetros físicos e químicos do óleo de crambe.

Ensaio	Métodos	Óleo Crambe	Unidade
Massa Específica a 15°C	NBR 7.148	911,3	kg m ⁻³
Viscosidade Cinemática a 40°C	NBR 10.441	49,02	mm ² s ⁻¹
Índice de Iodo	EN 14.111	88	gI2 100g ⁻¹
Índice de Acidez	NBR 14.248	3,64	mg KOH g ⁻¹
Ponto de Fulgor vaso aberto Cleveland	NBR 11.341	315	°C
Teor de Água – Karl Fischer	NBR 11.348	803,4	mg kg ⁻¹
Teor de Fósforo	EN 14.107	50,6	mg kg ⁻¹
Teor de Cálcio +Teor Magnésio	EN 14.538	Ca (57,5) + Mg (15,2)	mg kg ⁻¹

A Tabela 30 apresenta uma comparação entre a composição química média do óleo do crambe com os óleos de soja e girassol, que são os óleos vegetais mais utilizados para a produção de biodiesel no Brasil, e canola, que é o óleo vegetal mais utilizado para a produção de biodiesel na Europa (FAO et al., 2007).

Tabela 30. Composição dos ácidos graxos do óleo do crambe

Ácido graxo	Nomenclatura do ácido	Porcentagem de ácidos graxos totais (%)			
		Soja**	Girassol**	Canola**	Crambe
C 12:0	Láurico	0,1	-	-	-
C 14:0	Mirístico	0,2	0,1	-	-
C 16:0	Palmítico	11,0	5,5	4,7	3,4
C 16:1	Palmitoléico	0,2	0,1	-	-
C 18:0	Estearico	4,2	4,7	1,8	1,1
C 18:1	Oléico	21,2	19,5	63,0	17,8
C 18:2	Linoléico	53,3	68,5	20,0	6,1
C 18:3	Linolênico	7,5	0,1	8,6	2,8
C 20:0	Araquídico	0,3	0,3	-	1,7
C 20:1	Eicosenóico	0,2	0,1	1,9	6,7
C 22:0	Behênico	0,5	0,9	-	3,7
C 22:1	Erúcico	0,3	-	-	56,7
C 24:1	Lignocérico	0,4	0,2	-	-

6.5.1 Propriedades físicas e químicas do biodiesel

Na Tabela 31, são apresentados os dados referentes à caracterização físico-química do biodiesel do crambe, bem como as especificações determinadas pela ANP (2008).

Analisando, inicialmente, o índice de acidez do biodiesel do crambe, de $0,06 \text{ mg KOH g}^{-1}$, verifica-se que este parâmetro foi cerca de 15 vezes inferior do que o máximo preconizado pela ANP ($0,80 \text{ mg KOH g}^{-1}$). Para Dantas et al.(2006), o problema do alto índice de acidez do biodiesel está em catalisar reações intermoleculares dos triacilgliceróis, ao mesmo tempo em que afeta a estabilidade térmica do combustível na câmara de combustão, além da ação corrosiva sobre componentes metálicos no motor. Comparando o índice de acidez do óleo do crambe de $3,64 \text{ mg KOH g}^{-1}$ (Tabela 29) com o índice de acidez do biodiesel de crambe de $0,06 \text{ mg KOH g}^{-1}$, nota-se a acentuada redução do índice de acidez através do processo de transesterificação, devido ao catalisador básico utilizado.

Como mencionado anteriormente, o índice de iodo revela a quantidade de ligações insaturadas do material analisado. Verifica-se que, após o processo de transesterificação do óleo do crambe, o índice de iodo do biodiesel manteve-se estável, em $88 \text{ gI}_2 100\text{g}^{-1}$, valor abaixo do máximo permitido pela ANP, de $115 \text{ gI}_2 100\text{g}^{-1}$. Dantas et al. (2006) relatam que um índice de iodo superior a $135 \text{ gI}_2 100\text{g}^{-1}$ leva a produção de um biodiesel inaceitável para fins carburantes devido à tendência a formar depósitos de carbono.

Ainda pela a Tabela 31, verifica-se que a massa específica do biodiesel do crambe foi de 874 kg m^{-3} , dentro da faixa de variação de 850 a 900 kg m^{-3} , aceita pela ANP. O mesmo comportamento da massa específica foi encontrado nos trabalhos de Demirbas, 2005; Arcoumanis et al., 2008 e Encimar et al. 2005.

O ponto de entupimento do filtro a frio (PEFF) do biodiesel do crambe foi de 11°C , abaixo do máximo de 19°C preconizado pela ANP (Tabela 31). Cunha (2008) verificou que o PEFF para o sebo bovino foi de 19°C , gordura de frango de -1°C e óleo de soja de -8°C . O PEFF do biodiesel do crambe ficou 19°C acima do PEFF do biodiesel de soja, estudado por Cunha (2008), ambos são óleos vegetais, porém, com composição dos ácidos graxos distintas. Devido ao elevado PEFF do biodiesel do crambe,

recomendam-se misturas a este biodiesel, em poucas proporções, com óleo diesel em regiões frias.

O poder calorífico do biodiesel do crambe atingiu $40,51 \text{ MJ kg}^{-1}$, 4,91% menor do que o poder calorífico do óleo diesel de $42,6 \text{ MJ kg}^{-1}$ (SOUZA E MILANEZ, 1994). Castellanelli et al. (2008) atribuem a esta diferença o aumento do consumo específico de motores ciclo diesel, trabalhando com biodiesel.

Pela Tabela 31, observa-se que a viscosidade cinemática do biodiesel do crambe ($5,92 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$) encontra-se de acordo com as normas da ANP. Valores semelhantes foram observados no biodiesel dos trabalhos de Dermibas (2005); Canacki (2007); e Marchetti et al., (2005).

Observa-se, ainda na Tabela 31, que os valores encontrados para os metais, Cálcio + Magnésio ($5,00 \text{ mg kg}^{-1}$) e Sódio + Potássio (Na $2,50 \text{ mg kg}^{-1}$ e K $< 2,00 \text{ mg kg}^{-1}$) encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela ANP, de $5,00 \text{ mg kg}^{-1}$. O teor de fósforo para o biodiesel do crambe foi inferior a $2,00 \text{ mg kg}^{-1}$, bem abaixo do máximo de $10,00 \text{ mg kg}^{-1}$, estabelecidos pela ANP. Pesquisadores relatam que a emissão de fósforo deve ser controlada para que não ocorra bloqueio do catalisador (REVISTA ELO, 2007).

O teor de éster do biodiesel do crambe foi 96,5%, coincidindo com o mínimo exigido pela ANP, demonstrando que a reação de transesterificação do óleo de crambe carece de alguns estudos para aprimorar o rendimento em termos de teor de éster.

Quanto à formação de glicerina, verifica-se que não ocorreu no biodiesel do crambe a forma livre, enquanto a glicerina total atingiu 0,06%. De acordo Ruphel e Hall (2007), a legislação estabelece, no máximo, 0,25% de glicerina total, para que o biodiesel seja de excelente qualidade.

Tabela 31. Parâmetros físicos e químicos do biodiesel (rota metílica)

Ensaio	Métodos	Resultados	Especificação	
			Resolução ANP nº7	Unidade
Aspecto	Visual	LII - 20 °C	*	---
Estabilidade a Oxidação, 110°C	EN 14.112	13,4	6 (mín.)	h
Índice de Acidez	NBR 14.448	0,06	0,50 (máx.)	mg KOH g ⁻¹
Índice de Iodo	EN 14.111	88	Anotar	gI ₂ 100g ⁻¹
Massa Específica a 20°C	NBR 7.148	874	850 - 900	kg m ⁻³
Microrresíduo de Carbono	ASTM D 4.530	0,0	0,050 (máx.)	% massa
Ponto de Entupimento	NBR 14.747	+11**	19 (máx.)	°C
Poder Calorífico Superior	ASTM D 240	9.675 (40.510)	---	cal g ⁻¹ (J g ⁻¹)
Teor de água– Karl Fischer	NBR 11.348	136	500 (máximo)	mg kg ⁻¹
Viscosidade Cinemática a 40°C	NBR 10.441	5,919	3,0 - 6,0	mm ² s ⁻¹
Cálcio+Magnésio	EN 14.538	5,0***	5 (máx.)	mg kg ⁻¹
Sódio+Potássio	EN 14.538	Na 2,5+K < 2,0***	5(máx.)	mg/kg ⁻¹
Fósforo	EN 14.107	Menor que 2,0***	10 (máx.)	mg kg ⁻¹
Teor de Metanol	EN 14.110	0,00	0,20 (máx.)	% massa
Teor de Éster	EN 14.103	96,5	96,5 (min.)	% massa
Glicerina Livre	EN 14.105	0,00	0,02 (máx.)	% massa
Glicerina Total	EN 14.105	0,06	0,25 (máx.)	% massa
Monoglicerídeos	EN 14.105	0,23	Anotar	% massa
Diglicerídeos	EN 14.105	0,01	Anotar	% massa
Triglicerídeos	EN 14.105	0,00	Anotar	% massa

* LII – Límpido e Isento de Impurezas com anotação da temperatura de ensaio; ** O limite máximo de 19°C é válido para as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e Bahia, devendo ser anotado para as demais regiões. O biodiesel poderá ser entregue com temperaturas superiores ao limite supramencionado, caso haja acordo entre as partes envolvidas; ***Limite de detecção do equipamento – 2,0 mg kg⁻¹.

7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos a partir da avaliação dos parâmetros analisados neste trabalho permitem concluir que:

- O custo de produção do crambe em sistema plantio direto foi de R\$ 830,39 por hectare;
- Análise energética é favorável para produção de crambe, de cada unidade empregada de energia tem-se o retorno de 9,22 unidades, além de uma elevada energia cultural líquida;
- Analisando globalmente o sistema de produção do crambe, o maior consumo energético ocorreu, principalmente, na forma de fertilizantes, energia de fonte industrial, seguido pelo óleo diesel, energia de fonte fóssil;
- Somando o dispêndio energético com fertilizantes, defensivos e combustíveis fósseis, totalizou-se 87,01% do consumo, mostrando alta dependência dessas energias, tornando evidente a busca de soluções alternativas para o sistema de produção do crambe;
- Após análise da composição físico-químicas do óleo e do biodiesel do crambe, pode-se observar que o biodiesel do *Crambe abyssinica* Hochst se encontra de acordo com normas estabelecidas na Resolução nº 7 da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), porém, deve-se ressaltar que este biodiesel, em regiões frias, pode comprometer o funcionamento do motor ciclo diesel, sendo necessário misturar com óleo diesel e/ou biodiesel, provenientes de outra matéria-prima.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL. **Anuário da agricultura brasileira**. 13. ed. Editora FNP. São Paulo. 2008.

ALBUQUEQUER, G. A. **Obtenção e Caracterização Físico-química do Biodiesel de Canola (*Brassica napus*)**. João Pessoa, Programa de Pós-graduação em Química da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), 2006. Dissertação de Mestrado.

ANDA. Associação Nacional para Difusão de Adubos. **Estatísticas: Produção Nacional de Fertilizantes Intermediários e Importação de Fertilizantes Intermediários**. São Paulo, 2009. Disponível em www.anda.org.br/estatisticas.aspx Acesso em 15 de abril de 2009.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis. **Definição**, Brasília, 2005. Disponível em: www.anp.gov.br Acesso em 16 de maio de 2009.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis. **Leilão**, Brasília, 2007. Disponível em: www.anp.gov.br Acesso em 16 de outubro de 2007.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis. **Resolução nº 7**, Brasília, 2008. Disponível em: www.anp.gov.br Acesso em 16 de maio de 2009.

ARCOUMANIS, C.; KUMAR, L.; AGARWAL, A. K. Renewable Energy. **Fuel**. 2008. 33, 1147.

ASAE – American Society of Agricultural Engineers. Estimating farm machinery costs. . In: **ASAE Standards 2002**. Standard A3-29 April 2002. Iowa State University, p. 1-9.

ASAE - American Society of Agricultural Engineers. Agricultural machinery management. In: **ASAE Standards 1999: Standards engineering practices data**. St. Joseph, 1999. p.359-366.
ASAE D 497.4 Jan. 98.

ASAE. D497.3 Agricultural Machinery Management Data. **ASAE Standarts (I) 1996**. St Joseph, Michigan, 1997. p 364-70.

BALTAZAR, A. P. As fontes alternativas de energia já estão sendo usadas. **Veja**, n. 50, p. 162-172, 2006.

BASSI, G. F.; MACIEL, M. R. W. Caracterização de óleos naturais. In: **XI Congresso Interno de Iniciação Científica da Unicamp**. 2003.

BEBER, J. A. C. **Eficiência energética e processos de produção em pequenas propriedades rurais**. 1989. 295f. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) – Universidade Federal de Santa Maria (RS), Santa Maria, 1989.

BIODIESEL: fonte de energia renovável. **Notessalq**, Piracicaba, p. 8, abr. 2005.

BIODIVERSIDADE, **Informativo on line**. Disponível em: <http://www.biodiversidade.com>
Acessado em 20 de maio de 2009.

BONNY, S. Is agriculture using more and more energy? A French case study. **Agricultural Systems**, New York, v.43, n.1, p.51-66, 1993.

BRASIL. Lei nº. 11.097, de 13 de Janeiro de 2005. **Dispõe sobre a criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel e sobre a adição de biodiesel ao óleo diesel**. Disponível em: www.anp.gov.br Acesso em 15 de outubro de 2007.

BRASIL. Resolução ANP N.º 42, de 24 de novembro de 2004. Dispõe sobre a especificação do biodiesel (B100). Disponível em: www.anp.gov.br Acesso em 15 de novembro de 2007.

BRASIL. Grupo de Trabalho Interministerial. **Relatório final do grupo de trabalho interministerial encarregado de apresentar estudos sobre a viabilidade de utilização de óleo vegetal, biodiesel, como fonte alternativa de energia**. Brasília, 15 p, 2003.

- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Custo de produção agrícola CONAB**. Brasília: CONAB, 1996. 67p.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNDA/DNDV/CLV, 1992. 365p.
- BUENO, O. C. **Análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural, Itaberá/SP**. 2002. 146f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.
- BUENO, O. C.; CAMPOS, A. T.; CAMPOS, A. T. Balanço de energia e contabilização da radiação global: simulação e comparativo. In: Avances en ingenieria agrícola, 2000, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomia, 2000. p. 477-482.
- CAMPOS, A. T. **Balanço energético relativo à produção de feno de “croast-cross” e alfafa em sistema intensivo de produção de leite**. 2001. 236f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.
- CAMPOS, A. T. et al. Balanço energético na produção de silagem de milho em cultivos de verão e inverno com irrigação. In: Avances em Ingenieria Agrícola, 2000, Buenos Aires. **Anais...** Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomia, 2000. p. 483-488.
- CARLSON, K. D., GARDNER, J. C., ANDERSON, V. L., AND HANZEL, J. J. Crambe: new crop success. **In: Progress in New Crops**. Ed J.Janick pp 306-322. ASHS Press, Alexandria, VA, USA. 1996.
- CARMO, M. S.; COMITRE, V.; DULLEY, R. D. Balanço energético de sistemas de produção na agricultura alternativa. **Agricultura de São Paulo**, São Paulo, v.35, n.1, p.87-97, 1988.
- CAMPOS, A. T. **Análise energética e eficiência cultura do milho em assentamento rural, Itaberá/SP**. 2002. 157f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.
- CANAKCI, M. The potencial of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks. **Bioresource Technology**, Essex, v. 98, p. 183-190, 2007.

- CARVALHO, A.; GONÇALVES, G. G.; RIBEIRO, J. J. C. **Necessidades energéticas de trabalhadores rurais e agricultores na sub-região vitícola de “Torres”**. Oeiras: Instituto Gulbenkian de Ciência – Centro de Estudos de Economia Agrária, 1974. 79p.
- CARLSON, A. S. et al. **Oil crop platforms for industrial uses**. Outputs from the EPOBIO project. Abr, 2007.
- CASTANHO FILHO, E. P.; CHABARIBERY, D. **Perfil energético da agricultura paulista**. São Paulo: IEA – Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Governo do Estado de São Paulo, 1982. 55p.
- CASTELLANELLI, M.; SOUZA, S. N. M. de; SILVA, S. L.; KAILER, E. K. Desempenho de motor ciclo diesel em bancada dinamométrica utilizando misturas de diesel/biodiesel. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.145-153, 2008.
- CERVINKA, V. Fuel and energy efficiency. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton, Flórida: CRC Press Inc., 1980. p.15-22.
- CLEVELAND, C. J. The direct and indirect use of fossil fuels and electricity in USA agriculture, 1910-1990. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.55, n.2, p.111-121, 1995.
- COIMBRA, R.A.; MARTINS, C.C.; NAKAGAWA, J.; TOMAZ, C.A. Sacos plásticos para manutenção da umidade do substrato no teste de germinação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 14, Foz do Iguaçu, 2005. **Resumos...** Foz do Iguaçu: ABRATES, 2005. p. 129
- COMITRE, V. **Avaliação energética e aspectos econômicos da filière soja na região de Ribeirão Preto – SP**. 1993. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Planejamento Agropecuário) – Faculdade de Engenharia Agrícola (FEA), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.
- COX, G. W.; HARTKINS, M. D. Energy costs of agriculture. **Agricultural ecology**, p.597-629, 1979.

CUNHA, M. D. **Caracterização de biodiesel produzido com misturas de matérias primas: sebo bovino, óleo de frango e óleo de soja.** Porto Alegre, 2008. Dissertação (Mestre em Química) Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

DANTAS, H. J.; CANDEIA, R. A.; CONCEIÇÃO, M. M.; SILVA, M. C. D.; SANTOS, I. M. G.; SOUZA A. G. Caracterização físico-química e estudo térmico de biodiesel etílico de algodão. **In: 1º Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel, 2006.** Artigos Técnico-científicos, v. 1, p 231-235, 2006.

D'ARCE, M. A. B. R. **Grãos e óleos vegetais: matérias primas.** Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br>>. Acesso em: 24 ago. 2008.

DELEAGE, J. P. et al. Eco-energetics analysis of an agricultural system: the French case in 1970. **Agro-ecosystems**, Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, v.5, p.345-365, 1979.

DEMIRBAS, A. **Progress in Energy and Combustion Science**, 31. 2005, 466.

DESAI, B. B.; KOTTECHA, P.M.; SALUNKHE, D. K. **Seeds Handbook: Biology, Production Processing and Storage.** 10 ed. 1997.

DICRA – **Diversification with Crambe: an industrial oil crop.** 2003. Disponível em: <<http://www.biomatnet.org/secure/Fair/S821.htm#CONTACTS>>. Acesso em 16 nov. 2008.

DOERING III, O. C. Accounting for energy in farm machinery and buildings. In: PIMENTEL, D. (Ed.), **Handbook of energy utilization in agriculture.** Boca Raton, Flórida: CRC Press Inc., 1980. p. 9-14.

ECHEVENGUÁ, A. **Crambe surge como nova opção para produzir biodiesel, 2007.** Disponível em: www.ecoeacao.com.br Acesso em: 9 mai. 2009.

EMBRAPA SOJA. Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária de Londrina. Tecnologias de Produção da Soja: Rotação de Culturas. Londrina, 2004. Disponível em: www.cnpso.embrapa.br/producaosojaPR/rotacao.htm Acesso em: 15 de outubro de 2007.

EMBRAPA. Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro, 1979. 227p.

ENCINAR, J. M.; GONZÁLEZ, J. F.; RODRÍGUEZ-REINARES, A.; Biodiesel from used frying oil. Variables affecting the yields and characteristics of the biodiesel. **Ind. Eng. Chem. Res.**, 44, 5491, 2005.

FAO – **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2007. Disponível em: www.fao.org/docrep/meeting/005/W3963E/W3963E07.htm Acesso em: 15 de outubro de 2007.

FAO. **El estado mundial de la agricultura y la alimentacion**. Roma: FAO, 1976. 158p.

FERUCCIO, B.; DASILVA, R. G. **Análise de Viabilidade do Potencial de Biodiesel na Produção Agrícola Brasileira**. Disponível em: <http://www.novosparadigmas.ucb.br/sites/000/71/NovosParadigmas/AnaliseeViabilidadedoPotencialdeBiodieselnaProdu%C2%BAuoAgr%C2%A1colaBrasileira.pdf> Acesso em 10 de outubro de 2007.

FRANCISCO, W. de. **Matemática financeira**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 1991. 319p.

FREEDMAN, B.; PRYDE, E. H., MOUNTS, T. L. Variables Affecting the Yields of Fatty Esters from Transesterified Vegetable Oils; **J. Am. Oil Chem. Soc.**, v. 61, n. 10, p. 1638-1643, 1984.

FRENCH BIOFUEL INVESTMENT. **AECC News**, Bruxelas, p. 4, Mar. 2006.

FRIZZONE, J. A. **Planejamento de Irrigação: uma abordagem às decisões de investimento**. Piracicaba: ESALQ, 1999. 110p.

FILHO, J. P.; GONZAGA, M. L. Análise de custos de lavouras irrigadas. **In: CURSOS DE AGRICULTURA IRRIGADA**, 1991, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 1991. p. 27-57.

FONTANA, F.; LAZZERI, L.; MALAGUTI, L.; GALLETTI, S. **Agronomic characterization of some Crambe abyssinica genotypes in a locality of the Po Valley**. *European Journal of Agronomy* 9, 1998. p. 117–126.

FUNDAÇÃO MATO GROSSO DO SUL. **Tecnologia de produção: Soja e milho**. Custo de produção da soja. Maracajú, 2009.

- FUNDAÇÃO MATO GROSSO DO SUL. Culturas para biodiesel. **Crambe**. Maracajú, 2007. Disponível em: www.fundacaoms.com.br/news.php Acesso em; 15 de outubro de 2007.
- GARCIA, C. M. **Transesterificação de óleos vegetais**. Campinas, 2007. Dissertação (Mestre em Química) Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- GASPAR-OLIVEIRA, C. M.; MARTINS, C, C.; NAKAGAWA, J. Efficiency of seedling evaluation as a vigor test for castor bean (*Ricinus communis* L.) seeds In: **ISTA CONGRESS 28.; Congresso Brasileiro de Sementes, 15.**, 2007, Foz do Iguaçu. Abstracts Seed Symposium 'Diversity in Seed Technology', Bassersdorf: ISTA, 2007 a. v. 28.
- GERPEN, J. V. Biodiesel processing and production. **Fuel Processing Technology**, 86:1097–1107, 2005.
- GLASER, L.K. **Crambe: An Economic Assessment of the Feasibility of Providing Multiple-Peril Crop Insurance**. Economic Research Service for the Risk Management Agency, Federal Crop Insurance Corporation. Nov. 1996
- HART, R. D. Una metodologia para analizar sistemas agrícolas en terminus energéticos. In: HART, R. D.; JIMÉNEZ, T.; SERPA, R. **Análisis energético de sistemas agrícolas**. Turrialba, Costa Rica: UCR/CATIE, p. 3-14, 1980.
- HEICHEL, G. H. Agricultural production and energy resources. **American Scientist**, New York, v.64, p.64-73, 1976.
- HESLES, J. B. S. **Objetivos e princípios da análise energética, análise de processo industriais: métodos e convenções**. Rio de Janeiro: Preprint AIE-COPPE/UFRJ, 137 p, 1981.
- HOFFMANN, R.; ENGLER, J. J. C.; THAME, A. C. M. **Administração da empresa agrícola**. 2ª Edição. São Paulo: Pioneira, 1984. 325p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores Sociais Mínimos**. p. 3. 2004.
- IEA. Instituto de Economia Agrícola. **Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios. Governo do Estado de São Paulo**. 2005. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br> Acesso em 17 de outubro de 2007.

- KNOTHE, G.; STEIDLEY, K. R. Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds. Influence of compound structure and comparison to petrodiesel fuels components. **Fuel**, 84:1059-1065, 2005.
- KNOTHE, G. Structure indices in FA Chemistry. How relevant is the iodine value? **J. Am. Oil. Chem. Soc.** p. 847-854, 2002.
- KNOTHE, G. DUNN, R. O.; BAGBY, M. O. Technical Aspects of Biodiesel Standards, **INFORM**, Vol. 7, n. 8, p. 827–829. 1996.
- KNIGHTS, S. E. Crambe: **A North Dakota Case Study**, 25 p. 2002.
- KUCEK, K. T. **Otimização da Transesterificação Etilica do Óleo de Soja em Meio Alcalino**. Curitiba, Programa de Pós-graduação em Química da Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2004. Dissertação de Mestrado.
- JIMÉNEZ, T.; JIMÉNEZ, G. Agroecosistema caña de azucar. In: HART, R. D., JIMÉNEZ, T., SERPA, R. **Análisis energético de sistemas agrícolas**. Turrialba, Costa Rica: CR/CATIE, 1980. p. 15-29.
- LANG, X.; DALAI, A. K.; BAKHSHI, N. N.; REANEY, M. J.; HERTZ, P. B. Preparation and characterization of bio-diesels from various bio-oils. **Bioresource Technology**, p 53-60, 2001.
- LAZZERI, L., DE MATTEI, F., BUCELLI, F., PALMIERI, S. **Crambe oil: a potential new hydraulic oil and quenchant**. *Ind. Lub. Trib.* 49. 1997. p 71–77.
- LAZZERI, L., LEONI, O., CONTE, L.S. AND PALMIERI, S. Some technological characteristics and potential uses of Crambe abyssinica products. **Industrial Crops and Products** 3, p. 103-112, 1994.
- LEACH, G. **Energy and food production**. London: International Institute for Environment and Development, 1976. 192 p.
- LEONARD, E.C. **High-erucic vegetable oils**. *Ind. Crops Prod.* 1993. p 119–123.

LEVIEN, R.; GAMERO, C.A.; FURLANI, C.E.A. **Desempenho de uma semeadora-adubadora de fluxo contínuo, em semeadura de aveia preta após a cultura do milho, sob diferentes preparos do solo.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 21, n.2, p. 145-151, 2001.

MA, F.; HANNA, A. Biodiesel production: a review. **Bioresource Technology**, Essex, v. 70, p. 1-15, 1999.

MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Alimentos, nutrição e dietoterapia.** 9. ed. São Paulo: Roca, 1998. 1.179 p.

MALASSIS, L. **Économie Agro-alimentaire I: économie de la consommation et de la production agro-alimentaire.** Paris: Ed. Cujas, 1973. 437p.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Dados estatísticos 2006,** Brasília, 2006. Disponível em www.mapa.gov.br Acesso em 15 de outubro de 2007.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional de Agroenergia de 2006 a 2011.** Embrapa Informações Tecnologia, 118 p, 2005.

MARCHETTI, J. M.; MIGUEL, V. U.; ERRAZU, A. F. Possible methods for biodiesel production. **Reweble & Sustainable Energy Reviews**, 1300-1311, 2005.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKY, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes.** Londrina: ABRATES, Comitê de Vigor de Sementes, 1999. p.3.1-3.24.

MARCOS FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. (Ed.). **Testes de vigor em sementes.** Jaboticabal: Funep, 1994. p.133-150

MAZETTO, F. R. **Avaliação do desempenho operacional e energético e da ergonomia de colhedoras de soja (*Glycine Max (L.) Merrill*) no sistema de plantio direto.** 2008. 118 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

MCT. Ministério de Ciência e Tecnologia. **O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel.** Brasília, 2005. Disponível em: www.biodiesel.gov.br Acesso em: 11 de outubro de 2007.

- MEHER, L.C.; VIDYA SAGAR, D.; NAIK, S.N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification - a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 10:248–268, 2006.
- MELLO, R. **Análise energética de agroecossistemas: o caso de Santa Catarina**. Florianópolis, 1986. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1986.
- 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 uma propriedade agrícola do Oeste do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 2, p. 173 -178, 2007.
- MELO, J. F. **Custo da irrigação por aspersão em Minas Gerais**. 1993. 147p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MESQUITA, C.M.; COSTA, N.P.; PEREIRA, J.E.; MAURINA, A..C.; ANDRADE, J.G. Perfil da colheita mecânica da soja no Brasil: Perdas e qualidades físicas do grão relacionadas à características operacionais. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30. **Anais...**, 2001. Foz do Iguaçu - PR.
- MIALHE, L. G. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: EPU: Ed. da Universidade de São Paulo, v.1, 289 p. 1980.
- MITTELBACH, M. Diesel fuel derived from vegetable oils, VI: Specifications and quality control of biodiesel. **Bioresource Technology**, 27(5):435–437, 1996.
- MME. Ministério de Minas e Energia. **Balanço energético nacional**. Brasília, 2008. Disponível em: www.mme.gov.br Acesso em: 11 de maio de 2009.
- MEIRELLES, F. S. **Biodiesel**. Brasília, 2003.
- OLIVEIRA, L. B.; COSTA, A. O. Biodiesel: Uma Experiência de Desenvolvimento Sustentado. Rio de Janeiro. **IX CBE**, 4:17-72, 2002.
- OPLINGER, E.S. et al. Crambe. **Alternative Field Crops Manual**. Disponível em: <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/crambe.html>. Acesso em 16 de novembro de 2008.

- PALMA, L.; ADAMS, R. I. Compatibilidade entre eficiência econômica e eficiência energética numa propriedade rural. In: NETTO, A. G.; ELMAR, R. (Org.). **Experiência brasileira de pesquisa econômica em energia para o setor rural**. Brasília, EMBRAPA – PNPE/DEP, 1984. p. 55-64.
- PELLIZZI, G. Use of energy and labour in Italian agriculture. **Journal of Agricultural Engineering Research**, New York: Silsoe Research Institute, v.52, n.2, p.111-119, 1992.
- PEREIRA, F. E. de A. **Biodiesel produzido a partir do óleo de sementes de *Mabea fistulifera* Mart.** Viçosa, 2007. Dissertação (Mestre em Agroquímica) Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2007.
- PERES, J. R. R.; FREITAS JUNIOR, E. de; GAZZONI, D. L. Biocombustíveis: Uma oportunidade para o agronegócio brasileiro. **Revista de política agrícola**. Ano XIV - Nº 1 - Jan./Fev./Mar. 2005, p.31-41. Brasília: Disponível em: www.agricultura.gov.br Acesso em: 16 de outubro de 2007.
- PETERSON, C. L.; TABERSKI, J. S.; THOMPSON, J. C.; CHASE, C. L. The effect of biodiesel feedstock on regulated emissions in chassis dynamometer tests of a pickup truck. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 43, p. 1371-1381, 2000.
- PIFFER, C. R. **Viabilidade da nabiça (*Raphanus paphanistrum* L.) como planta de cobertura para a cultura do milho em diferentes sistemas de manejo do solo**. 2008. 192 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.
- PIMENTEL, D. Energy inputs for the production formulation, packaging, and transport for various pesticides. In: PIMENTEL, D. (Ed.). **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton, Florida: CRC Press Inc., 1980, p.45-48.
- PIMENTEL, D., PIMENTEL M. **Food energy and society**. London: Edward Arnold, 1979. 163p.
- PIMENTEL, D. et al. Food production and the energy crises. **Science**, v.182, p.443-449, 1973.
- PINTO, M. S. V. **Análise econômica e energética de sistema agroflorestal para implantação na terra indígena Araribá - Município de Avaí - SP**. 2002. 136f. Dissertação

(Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

PRACUCHO, T. T. G. M. **Análise energética e econômica da produção de milho (*Zea mays*) em sistema de plantio direto em propriedades familiares no Município de Pratânia/SP.** 2006. 117f. Dissertação (Mestrado Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

PYKE, M. **Man and food.** New York: Mc Graw-Hill, 1970. 256p.

QUESADA, G. M.; BEBER, J. A. C.; SOUZA, S. P. de. **Balancos energéticos:** uma proposta metodológica para o Rio Grande do Sul. São Paulo: Ciência e Cultura, 1987, v.39, n.1, p.20-28.

RABELO, I. D. **Estudo de desempenho de combustíveis convencionais associados a biodiesel obtido pela transesterificação de óleo usado em fritura.** 2001. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2001.

RAIJ, B. Van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise química do solo para fins de fertilidade.** Campinas, Instituto Agrônômico, 1983. 31p. (Boletim técnico 81).

RAMOS, L. P.; DOMINGOS, A. K.; KUCEK, K. T.; WILHELM, H. M. Biodiesel: Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. **Biociência: Ciência e Desenvolvimento.** v. 31, p. 28-37, 2003.

REVISTA ELO. Artigos técnicos. **Biodiesel em motores Caterpillar.** Disponível em: www.revistaelo.com.br/downloads/catbiodiesel.pdf Acesso em: 25 de maio de 2009.

RICHARDS, L. A. Pressure-membrane apparatus: constructions and use. **Agricultural Engineering,** St. Joseph, v.28, p.451-454, 1947.

RISOUD, B. Développement durable et analyse énergétique d'exploitations agricoles. **Économie Rurale,** França, n.252, p.16-27, juillet-août, 1999.

ROBEY, W.; SHERMER, W. The damaging effects of oxidation. **Feed Mix,** v.2, n.5, p.22-26, 1994.

RUPHEL, T.; HALL, G. **Glicerina livre e total em biodiesel B100 por cromatografia a gás.** *Analytica*. n.30, p.90-95, 2007.

SARTORI, M. M. P. **Métodos matemáticos para a determinação de consumo de energia e de custos de produção da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*).** 1996. 54f. Dissertação (Mestrado Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

SATO, M.; BUENO, O. C. ESPERANCINI, M. S. T. **Análise energética da cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) em sistema de sequeiro: estudo de caso.** Energia na Agricultura, Botucatu, v. 23, n. 1, p. 90-98, 2008.

SCHROEDER, P.; CHAVES, E. S.; SOARES, R. M.; MOECKE, E. H. S. Caracterização de gordura proveniente de sistema de tratamento de efluentes de indústria de abates de aves para produção de biodiesel. **Anais.** In: 54° Reunião Anual da Sociedade Brasileira do Progresso da Ciência. Florianópolis, SC. 2006.

SCHROLL, H. Energy-flow and ecological sustainability in Danish agriculture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.51, n.3, p.301-10, 1994.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Cartilha do Biodiesel**, Brasília, p. 30 -33, 2006.

SERRA, G. E. et al. **Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas.** Brasília, DF: Secretaria de Tecnologia Industrial – Ministério da Indústria e Comércio, 1979. 86p.

SEKI, A. S. **Demanda energética do processo de ensilagem do milho.** Botucatu, 2007. 118 f. Dissertação (Mestre em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SILVA, C. L. M. **Obtenção de Ésteres Etilicos a partir da Transesterificação do Óleo de Andiroba com Etanol.** Campinas, 2005. Dissertação (Mestre em Química) Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2005.

SILVA, P. R. A. **Avaliação de mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora em semeadura direta na cultura do milho (*Zea mays* L.).** Botucatu, 2003. 82 f. Dissertação

(Mestre em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SILVA, S. L. **Projeto e construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas.** Botucatu, 1997 a. 148 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SOUZA, S. A.; CAVARIANI, C.; NAKAGAWA, J. Accelerated aging test in castor seeds (*Ricinus communis* L.) **28TH ISTA Congress / XV Congresso Brasileiro de Sementes –Seed Symposium.** Iguazu Falls, Brazil, May 7th-9th, 2007.

SORIANO Jr., N. U.; MIGO, V. P.; MATSUMURA, M. Ozonied vegetable oil as pour point depresant neat biodiesel. **Fuel**, 85, 25-31, 2006.

SOUZA, E. G.; MILANEZ, L. F. Overall efficiency of tractor operating in the field. **Applied Engineering in Agriculture**, v.10, n.6, p.771-775, 1994.

SUPPORT FOR BIOFUELS ACTION. **AECC News**, Bruxelas, p. 2. 1st mar 2006.

TECBIO. **Biodiesel no Brasil, 2004.** Disponível em:

<http://www.tecbio.com.br/Biodieselnobrasil> Acessado em 20 de maio de 2009.

TEIXEIRA, L. C. Produção de biodiesel. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p. 79-86, 2005.

THE NON TECHNICAL BARRIERS NETWORK; **Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie**, Paris – França, Julho 1998.

TSUNECHIRO, A.; FERREIRA, C. R. R. P. T. Gastos com Inseticidas e Herbicidas na Cultura do Milho no Brasil, 1991–2003. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 8, 2004, Cuiabá, MT. **Anais...** Minas Gerais: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2004.

TURRA, F. E. **Análise de diferentes métodos de cálculo de custos de produção na agricultura brasileira.** Piracicaba, 1990. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ULBANERE, R. C.; FERREIRA, W. A. Equivalência energética e econômica na produção de milho no Estado de São Paulo. **Energia na Agricultura**, Botucatu, SP, 6(1): 15-23, 1991.

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 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1988.

VARGAS, R. M.; SERCHELI, R.; SCHUCHARDT, U. Transesterification of Vegetable Oils: a Review; **J. Braz. Chem. Soc.**, 9(1):199-210, 1998.

VIERIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, Comitê de Vigor de Sementes, p 1-26, 1999.

VIEIRA, R.D.D.; CARVALHO, N.M. **Teste de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 164p.

WAGNER, H.; LUTHER, R.; MANG, T. Lubricant base fluids based on renewable raw materials – Their catalytic manufacture and modification. **Appl. Catal.** p. 429-442, 2001.

WANG Y.P. et al. A preliminary study on the introduction and cultivation of *Crambe abyssinica* in China, an oil plant for industrial uses. **Industrial Crops and Products**. p. 47–52, 2000.

WEISS, E. A. Oilseed Crops. Second Edition. **Blackwell Science**. 2000.

WHITE, G.A., HIGGINS, J.J. **Culture of Crambe...a New Industrial Oilseed Crop**. USDA, Production Research. A Report No. 95. 1966.

ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P.; NETO, P. R. C.; ROSSI, L. F. S. Produção de Biocombustível Alternativo ao Óleo Diesel, Através da Transesterificação de Óleo de Soja Usado em Frituras. **Química Nova**, 23(4):531-537, 2000.

ZUCCHETTO, J.; JANSSON, A. M. Total energy analysis of Gotland's agriculture: a northern temperature zone case study. **Agro-ecosystems**, Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, v.5, n. 4, p.329-344, 1979.

APÊNDICE

Apêndice 1. Determinação das necessidades calóricas referentes a 24 horas para cada trabalhador estudado.

Mão-de-obra (Tratorista)	h. dia⁻¹	MJ. 8 h⁻¹	MJ. dia⁻¹	MJ. h⁻¹	MJ. ha⁻¹
Tempo de Sono	8	2/6 do GER	2,32	0,10	0,02
Trabalho (Dessecação)	8	3/6 do GER	3,48	0,10	0,02
Ocupações não profissionais	8	3/6 do GER	3,48	0,15	0,02
GER= 6,96 Total					0,06
Mão-de-obra (Comum)	h. dia⁻¹	MJ. 8 h⁻¹	MJ. dia⁻¹	MJ. h⁻¹	MJ. ha⁻¹
Tempo de Sono	8	2/6 do GER	2,32	0,10	0,02
Trabalho (Dessecação)	8	9/6 do GER	10,44	0,44	0,07
Ocupações não profissionais	8	3/6 do GER	3,48	0,15	0,02
GER= 6,96 Total					0,11
Mão-de-obra (Trat. Semente)	h. dia⁻¹	MJ. 8 h⁻¹	MJ. dia⁻¹	MJ. h⁻¹	MJ. ha⁻¹
Tempo de Sono	8	2/6 do GER	2,32	0,10	0,02
Trabalho (Dessecação)	8	7/6 do GER	8,12	0,34	0,08
Ocupações não profissionais	8	3/6 do GER	3,48	0,15	0,04
GER= 6,96 Total					0,16
Mão-de-obra (Tratorista)	h. dia⁻¹	MJ. 8 h⁻¹	MJ. dia⁻¹	MJ. h⁻¹	MJ. ha⁻¹
Tempo de Sono	8	2/6 do GER	2,32	0,10	0,05
Trabalho (Semeadura)	8	5/6 do GER	5,80	0,24	0,14
Ocupações não profissionais	8	3/6 do GER	3,48	0,15	0,08
GER= 6,96 Total					0,27
Mão-de-obra (Comum)	h. dia⁻¹	MJ. 8 h⁻¹	MJ. dia⁻¹	MJ. h⁻¹	MJ. ha⁻¹
Tempo de Sono	8	2/6 do GER	2,32	0,10	0,05
Trabalho (Semeadura)	8	7/6 do GER	8,12	0,34	0,19
Ocupações não profissionais	8	3/6 do GER	3,48	0,15	0,08
GER= 6,96 Total					0,32
Mão-de-obra (Tratorista)	h. dia⁻¹	MJ. 8 h⁻¹	MJ. dia⁻¹	MJ. h⁻¹	MJ. ha⁻¹
Tempo de Sono	8	2/6 do GER	2,32	0,10	0,07
Trabalho (Colheita)	8	3/6 do GER	3,48	0,15	0,11
Ocupações não profissionais	8	3/6 do GER	3,48	0,15	0,11
GER= 6,96 Total					0,29
Mão-de-obra (Comum)	h. dia⁻¹	MJ. 8 h⁻¹	MJ. dia⁻¹	MJ. h⁻¹	MJ. ha⁻¹
Tempo de Sono	8	2/6 do GER	2,32	0,10	0,07
Trabalho (Colheita)	8	9/6 do GER	10,44	0,44	0,33
Ocupações não profissionais	8	3/6 do GER	3,48	0,15	0,11
GER= 6,96 Total					0,51
Mão-de-obra (Tratorista)	h. dia⁻¹	MJ. 8 h⁻¹	MJ. dia⁻¹	MJ. h⁻¹	MJ. ha⁻¹
Tempo de Sono	8	2/6 do GER	2,32	0,10	0,01
Trabalho (Transporte Interno)	8	3/6 do GER	3,48	0,15	0,02
Ocupações não profissionais	8	3/6 do GER	3,48	0,15	0,02
GER= 6,96 Total					0,05

Mão-de-obra (Comum)	h. dia⁻¹	MJ. 8 h⁻¹	MJ. dia⁻¹	MJ. h⁻¹	MJ. ha⁻¹
Tempo de Sono	8	2/6 do GER	2,32	0,10	0,01
Trabalho (Transporte Interno)	8	9/6 do GER	10,44	0,44	0,09
Ocupações não profissionais	8	3/6 do GER	3,48	0,15	0,02
GER= 6,96	Total				0,11

Adotou-se como altura média para homens o valor de 1,69 metros, peso médio de 69,4 quilogramas e idade de 30 anos, conforme dados do

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004).

Apêndice 2. Determinação do consumo de lubrificantes para produção de crambe.

Operação	Máquina	Consumo (L. ha⁻¹)	Coefficiente Energético (MJ)	Consumo Energético (MJ há⁻¹)
Dessecação	Trator 86 cv	0,07	37,75	2,50
Semeadura	Trator 121 cv	0,11	37,75	4,20
Colheita	Colhedora	0,10	37,75	3,93
Transporte Interno	Trator 86 cv	0,06	37,75	2,23

Apêndice 3. Determinação do consumo de graxa para produção de crambe.

Operação	Máquina	Consumo (kg. ha⁻¹)	Coefficiente Energético (MJ)	Consumo Energético (MJ há⁻¹)
Dessecação	Trator 86 cv	0,09	43,38	3,95
Semeadura	Trator 121 cv	0,10	43,38	4,13
Colheita	Colhedora	0,07	43,38	2,91
Transporte Interno	Trator 86 cv	0,05	43,38	2,30