**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA
EP-FEA-IEE-IF**

ORLANDO CRISTIANO DA SILVA

**UMA AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOETANOL NO CONTEXTO DA
AGRICULTURA FAMILIAR A PARTIR DA EXPERIÊNCIA DA COOPERBIO**

**SÃO PAULO
2012**

ORLANDO CRISTIANO DA SILVA

UMA AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOETANOL NO CONTEXTO DA
AGRICULTURA FAMILIAR A PARTIR DA EXPERIÊNCIA DA COOPERBIO

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Energia da Universidade de São Paulo – USP.
(Escola Politécnica / Instituto de Eletrotécnica e
Energia / Faculdade de Economia e Administração
/ Instituto de Física) para a obtenção do título de
Doutor em Energia

Orientador: Prof. Dr. Ildo Luis Sauer

Versão Corrigida

(Versão original disponível na Biblioteca da Unidade que aloja o programa e na Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP)

SÃO PAULO
2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISAS, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Orlando Cristiano da

Uma avaliação da produção de bioetanol no contexto da agricultura familiar a partir da experiência da Cooperbio. / Orlando Cristiano da Silva; orientador Ildo Luís Sauer. – São Paulo, 2012.

155f : il.; 30cm.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Energia) – EP / FEA / IEE / IF da Universidade de São Paulo.

1. Biocombustíveis 2. Indústria Agrícola – aspectos socioeconômicos 3. Sustentabilidade 4. Fontes alternativas de energia
I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA

EP – FEA – IEE – IF

ORLANDO CRISTIANO DA SILVA

“Uma avaliação da produção de bioetanol no contexto da agricultura familiar a partir da experiência da Cooperbio”

Tese defendida e aprovada pela Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Ildo Luis Sauer – PPGE/USP
Orientador e Presidente da Comissão Julgadora

Profª Drª Patricia Helena Lara dos Santos Matai – EP/USP

Prof. Dr. José Dilcio Rocha – EMBRAPA

Prof. Dr. Luis Antonio Bittar Venturi – FFLCH/USP

Profª Drª Sônia Seger Pereira Mercedes – IEE/USP

DEDICATÓRIA

Ao meu irmão Manuel Cristiano da Silva, PAPA,
combatente da liberdade e da independência da
Guiné e de Cabo Verde...

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ildo Sauer pela orientação deste trabalho, pela paciência e pelos ensinamentos.

À Prof. Dra. Patrícia Matai pela amabilidade, presteza e a permanente disponibilidade de ajudar;

À Dra. Sonia Seger, pela inestimável contribuição prestada a este trabalho;

Ao Prof. Dr. Edson Gomes, pelo insistente incentivo, força e ensinamentos;

Aos colegas do Laboratório de Avaliação de Ciclo de Vida de Sistemas Energéticos, Julieta, Alcântaro, Rita, Sandra, e Diego, pelo espírito de equipe e pela ajuda inestimável;

Ao agricultor Roberto Lazarotto e a todas as famílias agricultoras de Caiçara, pela receptividade, pelos *chimarrões*, e pelas informações prestadas que constituíram a base de dados primária desta tese;

À Cooperbio e a Cooperfumos pela colaboração e pelos materiais fornecidos;

A todos os que contribuíram de forma direta e indireta para a realização deste trabalho.

RESUMO

SILVA, Orlando Cristiano da. **Uma avaliação da produção de bioetanol no contexto da agricultura familiar a partir da experiência da cooperbio**. 2012. 136 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

Este estudo realizou um levantamento de campo junto ao projeto desenvolvido pela cooperativas de agricultores familiares Cooperbio em Caiçara-RS para avaliar os parâmetros técnico-econômicos e da sustentabilidade de produção do etanol para fins energéticos, associado á produção de alimentos a partir da agricultura familiar. Através de convênio assinado com a Petrobras foi implantado neste município uma microdestilarias para produção de álcool e outros derivados da cana-de-açúcar, com aproveitamento dos resíduos, principalmente o bagaço de cana para o reforço da alimentação de vacas leiteiras, possibilitando assim a produção de leite, como forma de diversificar a atividade rural e aumento da renda das famílias.

Através de um levantamento sistemático da forma de organização social da comunidade e do sistema produtivo vigente, traçou-se perfil socioeconômico e avaliaram-se os fluxos energéticos e econômicos que atravessam o sistema de produção implantado na comunidade. A análise dos aspectos ambientais e da sustentabilidade foi realizada utilizando a metodologia de análise emergética, que avalia todas as contribuições em termos de materiais, energias e serviços recebidas pelo sistema, inclusive pelas fontes naturais como o sol.

As análises mostraram que do ponto de vista técnico o sistema de produção precisa de melhorias, tanto no processo de produção do álcool quanto na produtividade da matéria prima. Como benefício às famílias camponesas o sistema de produção associado de álcool e alimentos mostrou-se ser uma alternativa para a diversificação de opções de produção e do ponto de vista ambiental e de sustentabilidade a avaliação emergéticos indicaram índices compatíveis com a sustentabilidade do sistema.

Palavras chave: Agricultura camponesa, Agro energia, Emergia, Sustentabilidade.

ABSTRACT

SILVA, Orlando Cristiano da An assessment of bioethanol production in the context of family farming from the Cooperbio experience. 2012. 136 f. Doctorate Thesis. Graduate Program on Energy, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012

The study conducted as a field survey together with the project developed by family cooperative farmers, Cooperbio (in the municipality of Caiçara-RS) aims to assess the technological and sustainability of ethanol production for energy purpose, associated with food production by family farmers. Through the agreement signed with Petrobras, micro distilleries were implemented in this municipality for alcohol production and other derivatives of sugar cane, which residues were used to enhance dairy cow feeding. Thus make it possible to increase milk production, improving household income.

Through a systematic survey, the social organization of the community and the current production system, the socio economic profile was drawn and could evaluate the economic and energy flow that goes through production system deployed by the community. The analysis of the environmental sustainability was achieved through Emergy analysis which assesses all contribution of materials, energy and services received by the system including natural sources like the sun.

Based on a technical assessment, the analysis showed that production system and processes of ethanol, as well as the raw material, needs improvement.

The analysis showed that both alcohol and food production has to be an alternative for production diversification. Emergetic analysis has shown positive index even for an environmental and sustainability point-of-view.

Keywords: Peasant Agriculture, Agro Energy, Emergy, Sustainability

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Área dos estabelecimentos rurais, segundo o estrato de área em 2006.....	3
Figura 2: Produção de petróleo (mil barris/dia) em diferentes regiões do mundo (1965-2010)	10
Figura 3: Evolução histórica da produção de petróleo (mil barris/dia) de alguns países selecionados.....	11
Figura 4: Evolução histórica dos preços de petróleo	12
Figura 5: Oferta Mundial de Energia.	13
Figura 6: Oferta de Energia Primária no Brasil.	14
Figura 7: Consumo per capita de petróleo por região.	15
Figura 8: Participação percentual no consumo mundial de petróleo em 2010.....	15
Figura 9: Taxa de crescimento de consumo 2010 em relação a 2009	16
Figura 10: Distribuição mundial das reservas de petróleo 2009.	17
Figura 11: Previsão da participação de energia primária no mundo.....	18
Figura 12 - Evolução da produção de lenha por região	23
Figura 13 - Evolução da produção de carvão por região	23
Figura 14 - Os cinco principais países produtores de lenha em 2009.....	24
Figura 15 - Os sete principais países produtores de carvão vegetal em 2009	24
Figura 16: Fluxograma de produção do etanol a partir de sacarídeos e de amiláceos.....	26
Figura 17: Balanço de massa de cana-de-açúcar (%)	33
Figura 18: Produtividade da cana-de-açúcar em alguns países	35
Figura 19: Evolução do teor de sacarose, Usinas da Copersucar (S. Paulo).....	36
Figura 20: Usina de açúcar com destilaria anexa	37
Figura 21: Usina de produção de álcool, açúcar e eletricidade excedente	38
Figura 22: Tabela de preços em um posto de combustíveis nos arredores do Iraí-RS	42
Figura 23: Distribuição Geográfica da Cana-de-açúcar.....	44
Figura 24: Fluxograma do SIPEA da Fazenda Jardim.....	52
Figura 25: Símbolos Emergéticos.....	62
Figura 26: Modelo Diagrama Emergético.....	63
Figura 27: Diagrama Sistêmico, considerando as modificações propostas por Ortega (2002)	63
Figura 28: Modelo de uma tabela de avaliação emergética	64
Figura 29: Esquema representativo do Projeto Cooperbio.....	71
Figura 30: Fluxograma da Destilaria Modelo Jack Crispim	78
Figura 31: Fluxograma da destilaria modelo Orci Ribeiro	79
Figura 32: Fluxograma de processos de produção de etanol com	81
Figura 33: Representação esquemática do Sistema Camponês de Produção de álcool e alimento.....	86
Figura 34: Corte manual da cana	90
Figura 35: Sistema de transporte	91
Figura 36: Moenda.....	91
Figura 37: Cubas de Fermentação	93
Figura 38: Destilaria	93
Figura 39: Caldeira	95
Figura 40: Perfil etário da população consultada	96
Figura 41: Produção agrícola.....	98
Figura 42: disponibilidade de gado bovino	98
Figura 43: Trabalho de campo	99
Figura 44: Fluxograma de funcionamento do projeto Caiçara	103
Figura 45: Fluxograma do sistema agroindustrial da Coopefumos	108

Figura 46: Processo de moagem da cana no campo	109
Figura 47: Vista parcial do compartimento para produção de doces.....	110
Figura 48: Destilaria de cachaça (Alambique)	110
Figura 49: Colunas de destilação do álcool.....	111
Figura 50: Vista parcial das dornas de fermentação	111
Figura 51: Fluxograma dos processos de destilação da Cooperfumos	112
Figura 52: Fluxograma do Sistema de produção de Cachaça da Cooperfumos	113
Figura 53: Fluxograma do Sistema de produção de Álcool da Cooperfumos.....	113
Figura 54: Fluxos na produção de Açúcar Mascavo.....	116
Figura 55: Fluxos na Produção de Melado.....	117
Figura 56: Fluxos na Produção de Cachaça	118
Figura 57: Fluxos na Produção de Álcool.....	118
Figura 58: Fluxograma do Aproveitamento Integral dos derivados da cana-de-açúcar	119
Figura 59: Cenários de variação da produção dos derivados da cana e respectivas receitas .	123
Figura 60: Diagrama Emergético do Sistema Integral de produção de Álcool e Alimento...	124
Figura 61: Diagrama Sistemico da Produção agrícola da Cana	125
Figura 62: Diagrama Sistemico da produção de Carne e Leite	125
Figura 63: Diagrama Sistemico da Agroindústria dos produtos da Cana	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área dos estabelecimentos rurais, segundo o estrato de área. Brasil - 1985/2006....	3
Tabela 2 - Produção de lenha 2004-2009, por região.	22
Tabela 3 - Produção de carvão vegetal 2004-2009, por região.	22
Tabela 4: Evolução Tecnológica do Setor Industrial da Cana-de-açúcar no Brasil	38
Tabela 5 - Plantas Produtoras de Etanol em Operação, abril de 2011.	47
Tabela 6: Dados estimados de “Caña Panelera” para 2010	48
Tabela 7: Projetos de Plantas Produtoras de Etanol	48
Tabela 8: Principais mudanças na legislação referente ao álcool.....	56
Tabela 9: Características das três amostras de cana-de-açúcar da variedade RB7654418 coletadas nos municípios de Seberi e Vista Alegre, RS.....	74
Tabela 10: Fases testadas da produção do etanol e suas características	75
Tabela 11: Parâmetros utilizados na avaliação das microdestilarias	77
Tabela 12: Resultado de avaliação dos três modelos de microdestilarias.....	82
Tabela 13: Vazões do processo durante a destilação	83
Tabela 14: Valores Energéticos das Destilarias	83
Tabela 15: Produtividade Industrial das microdestilarias avaliadas	84
Tabela 16: Rendimento nas diferentes etapas do processo de fabricação de etanol.....	85
Tabela 17: Produtividade Industrial calculada para as microdestilarias avaliadas.....	85
Tabela 18: Principais Lavouras Temporárias	87
Tabela 19: Características da variedade da cana plantada na região	89
Tabela 20: Características Físico-químicas do Etanol de cana e arroz.....	94
Tabela 21: Formulário de pesquisa de dados utilizado	97
Tabela 22: Dados socioeconômicos das famílias agregadas ao projeto.....	101
Tabela 23: Premissas para Análise do Balanço Energético	104
Tabela 24: Saída de dados (por ano).....	105
Tabela 25: Saída de dados (por hectare)	105
Tabela 26: Dados relativos a alimentação animal e produção de leite	105
Tabela 27: Cálculo da receita da venda do leite	105
Tabela 28: Balanço Energético por hectare.....	106
Tabela 29: Balanço Energético da Produção de Caldo de Cana e Bagaço	121
Tabela 30: Balanço Energético da Produção de Álcool e Cachaça	122
Tabela 31: Balanço Energético da Produção de Açúcar Mascavo e Melado	122
Tabela 32: Tabela de Cálculo Emergético da produção da cana	127
Tabela 33: Resumo do cálculo da tabela emergética para cana	127
Tabela 34: Índices Emergéticos para Produção da Cana	127
Tabela 35: Tabela de Cálculo Emergético da Agroindústria	128
Tabela 36: Resumo do cálculo da tabela emergética para agroindústria	128
Tabela 37: Índices Emergéticos para Agroindústria.....	128
Tabela 38: Tabela de Cálculo Emergético da produção de leite	129
Tabela 39: Resumo do cálculo da tabela emergética para produção de leite	129
Tabela 40: Índices Emergéticos para Produção de leite.....	129
Tabela 41: Índices emergéticos comparados com os de uma usina padrão	130

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 PROBLEMATIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	3
1.2 OBJETIVOS	7
1.2.1 <i>Objetivos Gerais</i>	7
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	7
1.3 METODOLOGIA.....	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 TENDÊNCIAS DE MUDANÇA NA MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL E A VALORIZAÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS	9
2.2 O PAPEL DA BIOMASSA	19
2.2.1 <i>Utilização Energética da Biomassa</i>	20
2.2.2 <i>Fontes da Biomassa para produção do Etanol</i>	25
2.3 A AGROENERGIA – POTENCIAL DE CONTRIBUIÇÃO PARA A NOVA MATRIZ ENERGÉTICA	26
2.3.1 <i>Agroenergia Convencional - Evolução da agroindústria canavieira</i>	27
2.3.1.1 Produção Agrícola da Cana-de-açúcar	30
2.3.1.2 – Processamento Industrial do Etanol.....	36
2.3.1.3 – O ETANOL – Álcool Etílico Hidratado Combustível.....	39
2.3.2 – <i>Agroenergia com base na Agricultura Familiar e de Pequena Escala</i>	42
2.3.1.1 – Experiências no Mundo	44
2.3.1.2 – Experiências no Brasil	51
2.3.1.3 – Legislações e Incentivos para o etanol no Brasil	53
2.4 – ÍNDICES DE SUSTENTABILIDADE: TÉCNICAS FERRAMENTAS E METODOLOGIAS.....	57
2.4.1 – <i>Balanco Energético e Análise Exergética</i>	57
2.4.2 – <i>Análise Econômico-Financeira</i>	59
2.4.3 – <i>Avaliação de Ciclo de Vida</i>	59
2.4.4 – <i>Análise Emergética</i>	61
3–AVALIAÇÃO DAS EXPERIÊNCIAS DA PRODUÇÃO DE ETANOL E ALIMENTO NO RIO GRANDE DO SUL	67
3.1 – COOPERBIO – SUAS ORIGENS E OBJETIVOS.....	67
3.1.1 - <i>Alimergia - uma proposta que integra a produção de Alimento, Energia e Serviços Ambientais</i> ...	68
3.2 – PROJETO COOPERBIO/PETROBRAS – MOTIVAÇÃO E ESCOPO.....	68
3.3 – IMPLANTAÇÃO DO PROJETO E AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL	72
3.3.1 – <i>Resultados da Avaliação da Produção de Etanol</i>	73
3.3.1.1 – Produção de Biomassa de Cana-de-açúcar.....	73
3.3.1.2 – Produção de Etanol a partir da Cana-de-açúcar	74
3.3.1.3 – Avaliação dos Modelos de Microdestilarias	75
3.3.2 – <i>Sistema de Organização Produtiva</i>	85
3.4 – ESTÁGIO ATUAL – DIFICULDADES E AVANÇOS	86
3.5 – CONTEXTUALIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ÁLCOOL E ALIMENTO EM CAIÇARA-RS.....	87
3.5.1 – <i>Produção Agrícola da Cana-de-açúcar</i>	88
3.5.1.1 Colheita e Transporte	90
3.5.2 – <i>Industrialização da cana-de-açúcar – Análise dos Aspectos Técnicos</i>	91
3.5.2.1 Processo de Extração.....	91
3.5.2.2 Processo de Fermentação.....	92

3.5.2.3 Processo de Destilação	93
3.5.2.4 Processo de Geração de Calor	95
3.5.3 – <i>Perspectivas para a produção de leite</i>	95
3.5.4 – <i>Características Socioeconômicas</i>	96
3.5.5 – <i>Cenário para análise da produção de álcool e alimento em Caiçara</i>	101
3.5.6 – <i>Análise e Resultado do Balanço Energético</i>	102
3.5.6.1 - Aquisição e análise dos dados de entradas energéticas	103
3.6 – SISTEMA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL DOS DERIVADOS DE CANA NA COOPERFUMOS – SANTA CRUZ DO SUL	107
3.6.1 – <i>Características da Agroindústria dos Derivados da Cana da Cooperfumos</i>	108
3.6.2 – <i>Balanços de Massa e Energia do Sistema Agroindustrial da Cooperfumos</i>	114
3.6.2.1- Rendimento Agrícola	114
3.6.2.2- Rendimento no Processo Fermentativo	115
3.6.2.3 - Rendimento na Produção de Doces	116
3.6.2.4- Rendimento na Produção de Destilados	117
3.7 – ANÁLISE DE UM MODELO INTEGRADO DE PRODUÇÃO DE ÁLCOOL, CACHAÇA, AÇÚCAR MASCADO E LEITE	118
3.7.1- <i>Balanço Energético</i>	121
3.7.2 – <i>Análise da Sustentabilidade com Base na Energia</i>	123
3.7.3 – <i>Discussão dos Resultados</i>	130
4 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	132
5 - REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	134

1. INTRODUÇÃO

Em resposta à crise energética dos anos 1970, o Brasil construiu um dos maiores programas de produção e uso energético de biomassa do Planeta: o Proálcool – Programa Nacional do Álcool, criado em 1975¹. Com o objetivo de estimular a produção do etanol “visando o atendimento das necessidades do mercado interno e externo e da política de combustíveis automotivos”, o programa aportou um significativo avanço à agroindústria de cana-de-açúcar e resultou no desenvolvimento de novas tecnologias automotivas que permitiram reduzir a dependência externa em relação à gasolina, eliminar a utilização do chumbo tetraetila na aditivação da gasolina e atenuar as emissões atmosféricas causadas pela queima deste combustível em motores do ciclo Otto.

Foi um programa de caráter multissetorial, concebido pelo governo federal e que contemplou políticas energéticas, de desenvolvimento científico e tecnológico nas áreas agrícola, industrial, de transportes, de exportação, entre outras. “O programa foi altamente subsidiado. Para sustentá-lo, o governo liberou, de 1975 a 1989, cerca de 7 bilhões de dólares.” (SILVA e FISCHETTI, 2008)

Avanços importantes foram conseguidos ao longo das três décadas de existência do Proálcool, em todos os setores contemplados pelo programa. De 1975 a 2008, a área plantada de cana-de-açúcar no Brasil passou de 1,9 para 8,9 milhões de hectares; a produção, de 88,9 a 648,9 milhões de toneladas; a produtividade, de 46,8 para 77,5 toneladas por hectare e a produção de etanol total (anidro e hidratado), de 555,6 mil m³ para 27,6 milhões de m³ (AEA, 2009).

A participação dos derivados da cana-de-açúcar no total da oferta interna de energia no Brasil, em 2010, foi de 17,8% (BRASIL/EPE, 2011 - BEN), sendo a mais expressiva participação entre as fontes renováveis, seguida pela energia hidráulica e eletricidade, com 14,0%. Em números, a participação dos derivados da cana-de-açúcar foi de 47,8 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (tep), sendo aproximadamente 31,0 milhões de tep representados pelo bagaço de cana e 13,3 milhões de tep representados pelo etanol carburante.

“No Brasil, desde o início do século 20, presidentes, ministros, autoridades, engenheiros usineiros e até inventores, criaram várias fórmulas para substituir os derivados do petróleo pelo nosso álcool, uma vez que já dominávamos completamente o ciclo da cana-de-açúcar, com álcool, cachaça e rapadura” (SILVA e FISCHETTI, 2008).

¹ Decreto Nº 76.593, de 14.11.1975 - DOU 14.11.1975

As primeiras tentativas de uso automotivo do álcool, inclusive no Brasil, consistiram em produzir misturas de álcool com outros produtos como éter, óleo de mamona e até gasolina, que eram usados em motores do ciclo Otto, sem nenhuma adaptação destes.

“As misturas milagrosas apareciam de todos os cantos e com nomes ambiciosos, de acordo com os componentes, e com a criatividade dos seus inventores, como por exemplo, Azulina, Motorina, Nog, Nacionalina [...], Nortina, Vigelina e Usga.” (SILVA e FISCHETTI, 2008).

Segundo Silva e Fischetti (2008), a ideia da criação de um motor inteiramente projetado para o uso do etanol surgiu em 1951, com o professor do Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), Urbano Ernesto Stumpf que, diferentemente de seus antecessores, entendia que “para usar álcool seria necessário um motor inteiramente projetado para isso”. Stumpf e seus alunos envolveram-se em pesquisas e testes com motores usando álcool, tanto no ITA como, posteriormente, na Escola de Engenharia de São Carlos (USP) e na Universidade de Brasília. Inúmeros trabalhos técnicos foram publicados nessa época e várias patentes depositadas em nome de Urbano Ernesto Stumpf.

A tecnologia de motores a etanol partiu de patamares em que se procurava adaptar carburadores e minimizar os efeitos corrosivos do etanol em motores projetados para operar com a gasolina, e chegou aos atuais motores do tipo *flex*, onde a dosagem gasolina/etanol é gerenciada eletronicamente.

De acordo com Marcos Jank, presidente da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA)², de 2000 a 2008, enquanto 20 novas usinas eram inauguradas por ano, a produção de cana-de-açúcar cresceu 10,3% ao ano, puxada pelo forte crescimento das vendas de veículos flex.

A produção do etanol no Brasil é baseada na agroindústria extensiva de cana-de-açúcar. A área de cana colhida destinada à atividade sucroalcooleira, na safra 2009/2010, foi estimada em 7.531 mil hectares (CONAB, 2009). A maior concentração é em São Paulo – 4.101,4 mil ha, seguido de Paraná – 590,1 mil ha; Minas Gerais – 587,1 mil ha; Goiás – 520,3 mil ha e Alagoas – 448 mil ha.

A relação das unidades cadastradas no Departamento da Cana-de-açúcar e Agroenergia do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) em 2010 apresenta 438 unidades atuantes no setor sucroalcooleiro brasileiro, sendo 253 unidades mistas, 169 produtoras de etanol e 16 produtoras de açúcar. Deste total, o Estado de São Paulo concentra 46% (202 unidades), seguido de Minas Gerais 9,3% (41 unidades).

²Em artigo publicado no Jornal Correio Brasiliense, edição de 27 de abril de 2011 e disponível em: <http://www.unica.com.br/opiniaio/show.asp?msgCode={3FAE426A-0046-4987-8CAF-C2ADDDF86BF9}>.

1.1 Problematização e justificativa

A estrutura agrária³ brasileira é caracterizada por uma distribuição desigual de terra, reflexo do processo histórico da colonização e que vem se reproduzindo até os nossos dias, com inúmeras consequências deletérias para a população camponesa remanescente do intenso processo de êxodo rural ocorrido no país.

Os dados do Censo Agropecuário 2006 apresentados na Tabela 1 mostram que “... as diferenças verificadas na área dos estabelecimentos agropecuários, quando comparados os diferentes estratos fundiários, continuam a caracterizar a manutenção da desigualdade na distribuição da terra no País nos últimos censos agropecuários” (IBGE, 2007).

Tabela 1 - Área dos estabelecimentos rurais, segundo o estrato de área. Brasil - 1985/2006.

Estrato de área	Área dos estabelecimentos rurais (ha)		
	1985	1995	2006
Total	374 924 421	353 611 246	329 941 393
Menos de 10 ha	9 986 637	7 882 194	7 798 607
De 10 ha a menos de 100 ha	69 565 161	62 693 585	62 893 091
De 100 ha a menos de 1 000 ha	131 432 667	123 541 517	112 696 478
1 000 ha e mais	163 940 667	159 493 949	146 553 218

Fonte: IBGE, Censo Agropecuário 1985/2006

A figura 1 mostra que, enquanto os estabelecimentos rurais de menos de 10 ha ocupam menos de 2,0% da área total ocupada pelos estabelecimentos rurais, a área ocupada pelos estabelecimentos entre 100 e 1000 hectares correspondem a 34%, ao passo que as áreas com mais de 1000 ha concentram mais de 44,0% da área total.

Figura 1 Área dos estabelecimentos rurais, segundo o estrato de área em 2006.

Fonte: IBGE, 2007

³ A expressão estrutura agrária é utilizada significando a forma de acesso à propriedade da terra e à exploração da mesma, indicando as relações entre os proprietários e os não proprietários, a forma como as culturas se distribuem pela superfície da terra e como a população se distribui e se relaciona aos meios de transporte e comunicações. (Censo Agropecuário 2006, IBGE) Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/brasil_2006/comentarios.pdf

A agroindústria de cana-de-açúcar no Brasil reproduz naturalmente esta tendência. É uma atividade intensiva em terra e capital, cujo processo de concentração gerou conflitos no campo ao longo do tempo e contribuiu para a evasão rural. A concentração da terra tem sido justificada, do ponto de vista econômico, pela necessidade de ganho de escala e de eficiência na industrialização da cana, fatores tidos como decisivos para promover a sua competitividade em relação à gasolina no mercado de combustíveis. Alves (1991) aponta entre os fatores que contribuem para a concentração da terra, além da economia de escala, característica das indústrias de transformação contínua, como a sucroalcooleira⁴, a necessidade de concentração de área agrícola num círculo de até 30 km da usina para reduzir o tempo e promover economia no transporte. Este critério se explica pela própria característica bioquímica da cana-de-açúcar, sujeita a inversão da sacarose⁵ a partir do momento do corte, o que exige, portanto, rapidez no início de seu processamento.

Em termos de autonomia na aquisição de matéria prima, 66% de toda a cana moída na safra de 2007/2008 foi proveniente da produção própria das usinas e 33,8% resultaram da participação de terceiros (fornecedores). “Entretanto, esses “fornecedores” são, em sua maioria, pequenos e médios proprietários que vivem nas cidades e alugam suas terras para a produção monocultural da cana; não são agricultores familiares.” (SCHLESINGER, 2006). Quanto às dimensões envolvidas no transporte, 54,3% da cana processada percorreu uma distância de até 20 km; 33,2% entre 20 e 40 km e apenas 12,5% acima de 40 km (CONAB, 2008)⁶. A área média de cultivo entre os fornecedores é de 35 hectares, enquanto que a área média de cultivo por unidade de produção é de 17.577 hectares.

Do ponto de vista ambiental e social, a monocultura de cana-de-açúcar produz externalidades negativas que comprometem a sua sustentabilidade e tornam o etanol brasileiro alvo de ataques de ambientalistas e ativistas dos direitos humanos, nacionais e estrangeiros. Essa situação gera resistências e frustra as expectativas de replicação da experiência brasileira com álcool carburante em outros países, passo importante para a desejada transformação do etanol numa *commodity*.

⁴ Economia de escala característica das indústrias de transformação contínua, onde o elevado custo das instalações exige elevada quantidade de produto final para sua viabilização econômica. Sua característica de oligopólio concentrado faz com que a concorrência intercapitalista não se dê pelo preço, mas pelos custos de produção. Como a qualidade dos equipamentos é homogênea, a diferenciação da produtividade se dará no fluxo de entrada da matéria prima. Com isso o usineiro tenta maximizar a sua independência em relação aos fornecedores (Alves, 1991).

⁵ “A cana, após ser cortada, permanece com as suas funções metabólicas e atividade e as reservas nutritivas são solicitadas, tais como processo de respiração, transformação dos açúcares devido às atividades de células vivas, dando lugar a gás carbônico e água. Assim a sacarose sofre alteração por hidrólise, resultando glicose e frutose diminuindo gradativamente o teor de sacarose” (LIMA e MARCONDES, 2002).

⁶ Companhia Nacional de Abastecimento: Perfil do Setor do Açúcar e do Alcool no Brasil, Abril/2008.

De acordo com Ortega (2008), a opção focada na grande escala e na busca da eficiência econômica causou danos irreparáveis na estrutura fundiária e agrária da região sudeste, gerando uma dívida ambiental à sociedade que ainda não foi paga⁷.

- Até quando a busca de escala física e da eficiência econômica será a melhor alternativa para uma política nacional de biocombustíveis?
- Um modelo baseado na agricultura camponesa, com escopo diversificado, que contemple a produção do etanol associado ao alimento em cooperativas de pequenos produtores pode responder às demandas energéticas de uma região e ao mesmo tempo trazer benefícios econômicos, sociais e ambientais?

Na tentativa de responder a essas questões, esta tese analisou um projeto implantado pela Cooperbio - Cooperativa Mista de Produção, Industrialização e Comercialização de Biocombustíveis do Brasil, no município de Caiçara, no Rio Grande do Sul. Esta cooperativa, formada por pequenos agricultores, tem como premissa oferecer às famílias camponesas a alternativa de diversificação do escopo de suas atividades com a produção integrada de etanol e alimento. Adicionalmente lançou-se mão de outra experiência realizada pela Cooperfumos – Cooperativa Mista dos Fumicultores do Brasil, também formada por pequenos e médios produtores, na região de Santa Cruz do Sul-RS, para ilustrar o potencial de diversificação de produtos baseados em cana-de-açúcar, no contexto da agricultura familiar.

A hipótese sustentada é de que, do ponto de vista da satisfação das necessidades humanas, socioculturais e econômicas da família camponesa; do equilíbrio ecossistêmico; da racionalização do uso da terra e da descentralização da produção e distribuição do etanol, o modelo baseado na agricultura camponesa apresenta índices superiores ao modelo tradicional, baseado na agroindústria de grande escala (*vide* capítulo 3). Contudo, “sistemas de produção em pequena escala e em grande escala não precisam ser mutuamente excludentes” (FAO, 2008), desde que passem a ser incluídos entre os pré-requisitos de gestão deste último o manejo ambiental e o equilíbrio das relações de trabalho no processo de produção.

Algumas experiências de produção do álcool em pequena escala foram realizadas no Brasil, principalmente a partir da década de 1980, associadas ou não à produção de alimento. HULETT (1981) relata que com o início da crise mundial de petróleo da década de 1970, a grave escassez de combustível no país e irregularidades no abastecimento aos agricultores abriu-se a possibilidade de produzir uma “ultra-simples” destilaria, comparativamente barata, que pudesse ser instalada facilmente em qualquer propriedade rural. Esta configuração

⁷ Enrique Ortega, Campinas Fev/08.

mostrou-se exequível, com alterações conceituais em relação às tecnologias convencionais. O resultado foi a introdução da microdestilaria, que no Brasil é definida como uma pequena fábrica de produção de álcool etílico hidratado, a uma taxa inferior a 5.000 litros/dia.

“Os fabricantes das destilarias de álcool combustível, de grandes porte como Codistil, ZANINI e CONGER, consideram que o tamanho mínimo de uma planta que pode ser operada economicamente é a unidade de 120.000 litros / dia. Eles também oferecem plantas pequenas como capacidade de produção entre 10.000 a 5.000 litros/dia de etanol, mas poucos delas existem pois estas plantas menores provam ser muito caros numa base litros / dia. Elas são simplesmente versões em escala reduzida das plantas maiores”. (HULETT, 1981)

De acordo com Ashe (1986), a concepção da microdestilaria obedeceu a linhas diferentes daquelas seguidas pelos fornecedores tradicionais de destilarias de álcool. Foram levadas em consideração as seguintes necessidades básicas:

- (1) Simplicidade de operação;
- (2) Tamanho que não torne necessário pessoal especializado;
- (3) Baixo custo de investimento, sem a necessidade de sofisticados sistemas de controle.
- (4) Rendimento industrial que, embora sendo menor que o de uma destilaria grande convencional, garanta a sua viabilidade comercial.

Hulett (1981) comenta que era natural esperar uma imediata reação contrária por parte dos grandes fabricantes, e gritos de "impossível" e "não viável", foram logo ouvidos! O Governo se recusou a considerar ou aceitar o MICRO para a sua inclusão no regime de apoio de financiamento do Pró-Álcool, de modo que isso significava que qualquer um que pretendesse implantar um empreendimento MICRO teria que arcar pessoalmente com os custos. Apesar da forte oposição, no entanto, prosseguiu-se na promoção deste conceito, na esperança de provar ser de alguma ajuda para resolver a crise de combustíveis líquidos do país.

As opiniões divergem e o assunto requer maior aprofundamento e estudos neste momento em que emergem questões relacionadas com os impactos ambientais e sociais das grandes usinas e em que se dá a busca de alternativas para um desenvolvimento local, incluyente, e a melhoria do bem-estar do trabalhador do campo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

O objetivo central deste trabalho é avaliar a produção de etanol em destilarias de pequena escala (microdestilarias) pelas famílias camponesas reunidas em cooperativas e com a diversificação do escopo no campo, incluindo a produção de alimentos, mostrando que a viabilidade econômica, energética, social e ambiental da produção de cana em pequena escala é possível a partir dessa integração.

Pretende-se contribuir para o questionamento e ampliação da discussão de conceitos arraigados, como a supremacia da grande propriedade e da monocultura para a produção de cana, bem como para a sugestão de um modelo que permita uma participação crescente da produção de etanol em pequena escala no Brasil, com perspectiva para sua adoção em outros países em vias de desenvolvimento.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterização e discussão das tecnologias de produção de etanol em pequena escala empregadas nas experiências da Cooperbio;
- Caracterização e discussão do sistema multiescopo de produção familiar/camponesa de etanol e alimento em Caiçara, complementada pela experiência da Cooperfumos, em Santa Cruz do Sul.
- Execução e análise dos balanços energéticos da cadeia produtiva do etanol, no âmbito do projeto Cooperbio e Cooperfumos.
- Análise sistêmica de um modelo integrado de produção de etanol e alimentos com base na experiência da Cooperbio, complementada pela experiência da Cooperfumos.

1.3 Metodologia

A estratégia de pesquisa adotada para a realização deste trabalho foi a do *estudo de caso* (Yin, R.K., 1984), com o objetivo de obter evidências qualitativas e quantitativas que corroborem a hipótese elaborada. Esta estratégia adere ao tema e aos objetivos do estudo, uma vez que se trata de compreender um fenômeno contemporâneo, inserido no contexto da vida real, sobre o qual se detém pouco ou nenhum controle. As finalidades da pesquisa abrangem questões exploratórias, descritivas e explanatórias, uma vez que se pretende explicitar *o que, por que e como* ocorrem e se desenvolvem as relações de produção e as consequências e impactos da produção de biocombustíveis e alimentos na comunidade de agricultores familiares estudada. Com intuito de levantar o estágio de desenvolvimento e caracterizar em detalhe a produção de etanol em pequena escala no Rio Grande do Sul, especificamente nos projetos Cooperbio e Cooperfumos, ambos implantados em parceria com a PETROBRAS, foi realizada pesquisa exploratória e descritiva, cujas fontes de dados foram principalmente:

- a. Entrevistas e aplicação de questionários sobre a produção agrícola, a organização social dos produtores e o processamento industrial da cana-de-açúcar
- b. Observação direta
- c. Observação participante
- d. Revisão documental
- e. Revisão bibliográfica

A etapa explanatória, com o fim de obter parâmetros e indicadores que permitissem prospectar as vantagens da produção de etanol em pequena escala, quando comparada com a grande escala, empregou as metodologias:

- a. Balanço energético como forma de aferir a eficiência energética do sistema;
- b. Análise sistêmica e de sustentabilidade, com base na metodologia de análise Emergética proposto por ODUM (2006). A análise emergética permite uma visão sistêmica do processo, pois considera recursos renováveis e não renováveis e insumos da própria economia, como a mão de obra. Outros métodos, como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), podem complementar este tipo de análise, dimensionando o desempenho ambiental do sistema, porém, apenas começam a ser desenvolvidos estudos para incorporar variáveis sociais e econômicas a essa ferramenta.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Tendências de mudança na matriz energética mundial e a valorização das energias renováveis

O panorama energético mundial é caracterizado, desde a Revolução Industrial, no século XVIII, por uma forte presença de fontes fósseis, inicialmente representadas por carvão mineral e, a partir da segunda metade do século XIX, por petróleo.

Referências ao uso de petróleo para diversos fins, inclusive os medicinais, remontam aos tempos bíblicos. Contudo, é a partir da segunda metade do século XIX que tem início a organização de uma indústria do petróleo com o fim de fornecimento de energia. Antes, o petróleo era recuperado em pequenas quantidades, na forma de betume resultante do processo de exsudação, na superfície da Terra.

A intensificação da industrialização e da urbanização levou ao prolongamento da jornada de trabalho e à adoção de hábitos de vida noturnos, o que exigia a substituição do óleo de baleia então utilizado por outro iluminante, mais barato e de maior eficiência. Esse foi um dos principais motivos que impulsionaram os estudos e as descobertas do petróleo e das suas múltiplas aplicações:

“No século XIX, [...] só havia um derivado considerado útil, o querosene. Ele era usado para iluminar as noites, sendo uma melhoria considerável em relação ao óleo de esperma de baleia e a inflamável teribitina, que as pessoas usavam em suas lamparinas fumacentas....John D. Rockefeller, um empreendedor austero e devotado de Nova York, construiu sua fortuna no mercado de querosene. Rockefeller considerava sua tarefa em termos praticamente espirituais, como se levasse luz a um mundo de trevas. “Dêem aos pobres a luz barata, cavalheiros”, ele teria dito aos colegas.” (SHAH, 2007, pg, 29)

Da simples coleta das exsudações superficiais do petróleo passou-se a perfurar poços, recorrendo-se a métodos de percussão, à procura de uma quantidade cada vez maior deste produto. Considera-se que o primeiro desses poços foi perfurado em 1859, nos Estados Unidos, na localidade de Titusville, na Pennsylvania, sob o comando de um ex-maquinista ferroviário conhecido como Edwin Drake, ou Coronel Drake. O sucesso de Titusville abriu portas para uma corrida desenfreada em busca do petróleo nos Estados Unidos e no resto do mundo e para a estruturação de poderosas companhias nacionais e multinacionais do petróleo. Chegou-se a propugnar uma “era do petróleo”. O avanço tecnológico permitiu não só a melhoria das técnicas de prospecção e extração do petróleo, como também a sua separação em diferentes derivados e o desenvolvimento de tecnologias capazes de utilizar com eficiência esses derivados.

A grande disponibilidade de petróleo a preços baixos colocado no mercado mundial, pelo menos até o início da década de 70 do século XX, a sua alta disponibilidade energética e a diversidade de usos de seus derivados forjaram a dependência que a sociedade moderna tem em relação ao petróleo e aos seus derivados, energéticos e não energéticos (plásticos, fertilizantes agrícolas e outros). Petróleo e derivados estão presentes em todos os setores da economia moderna e este é, em parte, um dos fatores responsáveis pelo nível de desenvolvimento socioeconômico, tecnológico e de conforto material atingidos pelos países desenvolvidos.

Os anos 1970 marcaram profundamente a forma como o mundo e, sobretudo os países desenvolvidos, vinham se relacionando com o petróleo, conforme escreveu SHAH (2007):

“uma nova maneira de pensar sobre a energia, o poder e a sociedade surgiu entre as estantes repletas de livros dos centros de pesquisas e universidades, com trabalhos inovadores do filósofo Ivan Illich, da biofísica Donella Meadows, e do economista Herman Daly entre outros”.

Entre meados da década de 1960 e início da década de 1970 houve uma inversão no perfil de produção mundial do petróleo. Em 1965, a América do Norte detinha a maior produção do petróleo: 32% dos 31,8 milhões de barris/dia produzidos. O Oriente Médio participava com um total de 26%. Em 1973, esta região passou a participar com 36% do total de 58,5 milhões de barris/dia e a América do Norte com 23% (BP Statistical Review of World Energy⁸) (figura 2).

Figura 2: Produção de petróleo (mil barris/dia) em diferentes regiões do mundo (1965-2010)
Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BP Statistical Review of World Energy. June 2011

⁸ BP Statistical Review of World Energy June 2011 Disponível em:
<http://www.bp.com/sectionbodycopy.do?categoryId=7500&contentId=7068481>

A figura 3 mostra, por outro lado, a evolução histórica da produção de alguns países selecionados, revelando que os Estados Unidos ainda são um importante produtor, não obstante a predominância da Rússia e da Arábia Saudita nos nossos dias.

Figura 3: Evolução histórica da produção de petróleo (mil barris/dia) de alguns países selecionados
 Fonte: Elaboração própria com base nos dados da BP Statistical Review of World Energy. June 2011

É nesse contexto da dependência mundial de fornecimento de petróleo do Oriente Médio que ocorreram os episódios que ficaram conhecidos como o primeiro e o segundo choque do petróleo. Envolvidos numa disputa por territórios, de um lado os países árabes, Egito e Síria, apoiados pela então União Soviética, e por outro Israel, apoiado pelos Estados Unidos, protagonizaram 20 dias de sangrentas batalhas conhecidas como a Guerra do Yom Kippur. Como represália, os países membros da OPEP tomaram a decisão de embargar o fornecimento de petróleo para os Estados Unidos e Holanda e os preços do petróleo subiram “de US\$ 3 para quase US\$ 12 por barril” (SHAH, 2007). Para esta autora, o efeito nas economias dependentes do petróleo foi tremendo e duradouro. Na época, quase todos os produtos fabricados vinham com um custo embutido do petróleo. O desemprego cresceu. A inflação entrou em cena.

O segundo choque do petróleo veio em 1979, quando fundamentalistas islâmicos depuseram o Xá do Irã. A mão hesitante dos Estados Unidos transformou-se em punho. O então presidente americano Jimmy Carter anunciou o que viria a ser chamado de “Doutrina Carter”. Dali em diante, os Estados Unidos seguiriam uma política de conter qualquer ato hostil que pudesse

interromper o fluxo de petróleo do Golfo usando “os meios que fossem necessários” (SHAH, 2007).

A Figura 4 mostra a evolução dos preços do petróleo desde os primórdios de sua descoberta até 2010 e os principais eventos históricos que motivaram suas oscilações.

Figura 4: Evolução histórica dos preços de petróleo
Fonte: BP Statistical Review, 2011

Percebe-se que após a alta dos preços nas primeiras décadas de sua descoberta (1860 – 1880), o valor do petróleo entrou numa fase de estabilidade que durou quase um século, com poucas flutuações até os meados da década de 1970. O petróleo era considerado um recurso abundante e barato.

Os choques do petróleo da década de 1970 contribuíram para despertar o mundo sobre a dependência de um combustível não renovável e desigualmente distribuído no planeta e impulsionou muitos países à procura de soluções energéticas alternativas. Por outro lado, induziu o aparecimento de novas abordagens da questão energética que realizam a análise não apenas pelo lado da oferta de energia, mas também pelo lado da demanda.

Em 2009, cerca de 81% das 12.150 Mtoe⁹ de energia primária ofertadas mundialmente tiveram como procedência as fontes fósseis (International Energy Agency 2011 Key World Energy Statistics¹⁰).

Figura 5: Oferta Mundial de Energia.
Fonte: IEA, 2011

No Brasil, a oferta interna de energia apresenta uma distribuição mais equitativa entre fósseis e renováveis, devido à forte presença da bioenergia, especialmente os produtos da cana-de-açúcar, e das hidrelétricas. A participação das fontes fósseis na oferta interna de energia primária em 2010 (241×10^6 tep) foi de 51,5% (41,9% provenientes do petróleo). As fontes renováveis participaram com 46,7% da oferta interna de energia primária, 13,9% dos quais provenientes das hidrelétricas e 18,8% dos produtos da cana (BEN 2011, p. 10-20)¹¹. Percebe-se que o petróleo segue tendo uma participação preponderante na matriz energética brasileira, reproduzindo o padrão mundial.

⁹ Milhões de “tonelada de óleo equivalente”, a mesma coisa que “tonelada equivalente de petróleo”. Ou seja, 1 Mtoe = 10^3 tep.

¹⁰ http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2011/key_world_energy_stats.pdf

¹¹ <https://ben.epe.gov.br/BENSeriesCompletas.aspx>

Figura 6: Oferta de Energia Primária no Brasil.
Fonte: BEN, 2011

O grande consumo de petróleo e seus derivados no Brasil e no mundo deve-se ao transporte. “A expansão do automóvel como meio de transporte gerou uma demanda sustentada de produtos petrolíferos e hoje o consumo maciço mundial de petróleo destina-se ao transporte. A tendência é de aumento deste consumo”. (SAUER e SEGER, 2011)¹².

Entre 1970 e 2010, o consumo mundial de petróleo subiu de 45,4 bilhões de barris/dia para 87,5 bilhões de barris/dia (BP Statistical Review of World Energy, June 2011¹³). Contudo, a repartição desse consumo é extremamente desigual. A figura 7 mostra a distribuição do consumo *per capita* de petróleo no mundo, revelando que as regiões menos favorecidas economicamente são também as que registram os menores consumos de petróleo.

¹² VERSUS, Revista de Ciências Sociais Aplicadas do CCJE/UFRJ, Junho de 2011. Ano II. Nº 6. Pg.31. Artigo: Os Múltiplos Significados da Exploração do Pré-Sal para o futuro do Brasil.

¹³ <http://www.bp.com/sectionbodycopy.do?categoryId=7500&contentId=7068481>

Figura 7: Consumo per capita de petróleo por região.
Fonte: BP, 2011

A África (3.9%), a América Latina (7,0%) e o Médio Oriente (8.9%) são as regiões de menor consumo de petróleo (figura 8).

Figura 8: Participação percentual no consumo mundial de petróleo em 2010
Fonte: Elaboração própria; Base de Dados da BP, 2011

Contudo, é nestas regiões que ocorrem as maiores taxas de crescimento de consumo de petróleo. A Figura 9 mostra a taxa de crescimento do consumo entre 2009 e 2010 por região. A América do Norte (2.1%) e a Europa (0,1%) apresentam as menores taxas, enquanto a região Ásia/Pacífico apresenta a maior taxa de crescimento do consumo de energia (5,3%), como também a maior participação percentual no consumo mundial do petróleo atual (31,5%). Esse fato pode ser explicado não apenas pela presença dos dois países mais

populosos do mundo, a China e a Índia, mas, sobretudo, pelo fato destes países se encontrarem num intenso processo de industrialização.

Figura 9: Taxa de crescimento de consumo 2010 em relação a 2009
Fonte: Elaboração própria; Base de Dados da BP, 2011

No Brasil, uma opção política no passado, centrada no transporte rodoviário e no desenvolvimento de rodovias, em detrimento das ferrovias e hidrovias, direcionou o país a uma dependência dos derivados de petróleo, parte deles importada. Em 2010, de acordo com os dados do BEN 2011, a dependência brasileira em relação ao mercado externo de energia foi de 21.527×10^3 tep (7,8%). Segundo a mesma fonte, o setor de transportes é responsável, atualmente, por 28,8% do consumo de derivados do petróleo.

O autor Bob Dudley defende que o crescimento populacional e de renda são os dois importantes fatores impulsionadores da demanda por energia (BP Energy Outlook 2030¹⁴). Estima que nos próximos 20 anos é provável que ocorra uma integração global contínua e o rápido crescimento das economias de baixa e média renda, tendo como consequência um aumento populacional de 1,4 bilhão e um aumento de renda real de 100%. Conclui afirmando que, em âmbito global, a relação mais fundamental na economia da energia permanece robusta - mais pessoas com mais renda é sinônimo de maior produção e consumo de energia.

¹⁴http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/2030_energy_outlook_booklet.pdf

Em 2010, as Reservas Provadas¹⁵ mundiais de petróleo foram de aproximadamente 1,4 trilhões de barris e a relação Reserva/Produção (R/P)¹⁶ de 46,2 anos, (BP, 2011).

A atual estrutura de propriedade das reservas petrolíferas mundiais, aliada à concentração das maiores reservas em áreas de instabilidade política histórica, que tem sido um fator permanente de conflitos e de intervenções militares das potências hegemônicas para garantirem a satisfação de suas necessidades energéticas; a diminuição da disponibilidade e os custos cada vez mais elevados de acesso às reservas remanescentes, têm resultado em um contexto no qual grande parte das populações pobres da África e da América Latina enfrentam dificuldades em contar com esse recurso para o suporte do seu desenvolvimento, o que impõe a necessidade de encontrar novos modelos e alternativas energéticas.

Figura 10: Distribuição mundial das reservas de petróleo 2009.
Fonte: Elaboração própria; Base de Dados da BP Statistical 2011

A consolidação dos processos democráticos e a melhoria progressiva de qualidade de vida nos países da América Latina, a conquista das independências e o curso inadiável da introdução da democracia participativa e pluralismo político na África (SILVA, 1997), e a recente Primavera Árabe são fatores que tendem a trazer para estas regiões maior estabilidade política, investimentos, desenvolvimento socioeconômico e, conseqüentemente, maior demanda de energia.

¹⁵ As reservas provadas de petróleo são as quantidades que informações geológicas e de engenharia indicam com razoável certeza que podem ser recuperadas no futuro, de reservatórios conhecidos nas condições econômicas e operacionais existentes.

¹⁶ Relação Reserva/Produção (R / P) – expressa a vida útil (em anos) de uma reserva, caso se mantenha a mesma taxa de exploração.

“Agências de análises e empresas de energia não lidam, ainda, com a hipótese da substituição energética plena, mas sim com a necessidade de suprir o aumento da demanda por petróleo com novas descobertas, com complementação a partir de fontes renováveis e não convencionais e com fomento a eficiência energética”. (SAUER e SEGER, 2011).

Não se espera, portanto, uma mudança radical na matriz energética mundial, com a eliminação completa das fontes fósseis, mas a redução gradual de sua participação, na medida em que novos avanços na curva de aprendizado vão permitindo o aumento da participação das fontes renováveis. A figura 11 apresenta uma previsão da evolução do consumo das diferentes fontes de energia e que adota essa premissa.

Figura 11: Previsão da participação de energia primária no mundo.
Fonte: BP Energy Outlook 2030

Adicionalmente, faz-se necessária a introdução de novos mecanismos de uso eficiente de energia, como a transição do modelo de transporte individual para um modelo eficiente de transporte coletivo urbano, o desenvolvimento e aplicação do conceito da arquitetura bioclimática, entre outras.

A valorização e o crescimento cada vez maior da participação das energias renováveis na matriz energética mundial têm sido vinculados à percepção do risco da dependência de um recurso não renovável e à necessidade de encontrar novos modelos de apropriação dos recursos naturais para fins energéticos. Um novo modelo que possa ser inclusivo em termos sociais e econômicos, eficiente do ponto de vista do aproveitamento integral dos recursos, descentralizado e compatível com a preservação dos ecossistemas naturais, resultando em uma matriz energética mundial totalmente distinta da atual. Contudo, Sachs (2007) chama a

atenção em relação a que “a energia que menos polui e que geralmente menos custa é aquela que deixa de ser produzida graças à adoção de um perfil mais sóbrio de demanda energética e à maior eficiência no uso final de energias produzidas”.

2.2 O papel da biomassa

Do ponto de vista da ecologia, biomassa é o conjunto de organismos vivos, de origem animal e vegetal, existentes num ecossistema. Contudo, o termo “biomassa” é empregado neste trabalho referindo-se ao conjunto de recursos utilizados como fonte de energia, no sentido empregado por Nogueira e Lora (2003): biomassa é “a matéria vegetal gerada a partir da fotossíntese e os seus derivados, tais como: resíduos florestais e agrícolas, resíduos animais e a matéria orgânica contida nos resíduos industriais, domésticos, municipais, etc.”.

A biomassa é fonte potencial de energia por seu conteúdo majoritário de *hidrato de carbono* (molécula orgânica que apresenta átomos de carbono, hidrogênio e oxigênio), resultado da “cópula” do sol com a água tendo o carbono como elemento reprodutor, como diria BAUTISTA VIDAL¹⁷; contém a energia solar armazenada sob a forma de energia química. Os principais hidratos de carbono são os açúcares, os amidos, os óleos vegetais e a celulose, que constituem a base dos vegetais.

A energia química da biomassa, portanto, pode ser liberada sob a forma de energia térmica através do processo de combustão ou transformada em um produto energético específico para atender a determinados usos. É o caso da transformação do óleo vegetal contido nas sementes oleaginosas em Biodiesel para o uso em motores de ciclo Diesel, ou, ainda, conversão da sacarose (açúcar) contida nos colmos da cana-de-açúcar em etanol para ser usado em motores do ciclo Otto. Nestes casos, os novos combustíveis passam a se chamar Biocombustíveis, definidos pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis como: “combustível derivado de 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 combustíveis de origem fóssil” (Lei Nº 11.097, de 13.1.2005 - DOU 14.1.2005).

Segundo Nogueira e Lora (2003):

“aproveitando aproximadamente 1% do total da radiação solar incidente sobre a Terra, estima-se que anualmente sejam produzidas, pelo processo de fotossíntese cerca de 220×10^9 toneladas de biomassa (base seca), o que equivale a uma energia de 2×10^{15} MJ, ou seja, mais que 10 vezes a energia global consumida por ano no nosso planeta”.

¹⁷ Poder dos Trópicos – Meditação sobre a alienação energética na cultura brasileira. Ed. Casa Amarela, São Paulo, 1998.

SAUER et al. (2011) argumentam que:

“no início do processo de civilização, a apropriação da energia pela Humanidade se deu pela agricultura e pela pecuária, as quais por meio do aproveitamento controlado da fotossíntese e da cadeia alimentar, 'organizavam' a energia direta do Sol. A passagem do sistema de coleta para o sistema de produção agrícola representou um impacto ímpar na produtividade da produção de alimentos e na reprodução da população e, em síntese, resultou no aparecimento das instâncias organizadoras da vida social: a divisão do trabalho, o comércio/mercado, a guerra, a defesa, o poder”.

A disponibilidade da radiação solar é um dos fatores catalisadores na formação da biomassa. A região dos trópicos é privilegiada do ponto de vista energético, na medida em que reúne maiores condições para a reprodução de biomassa. Contrariamente aos hidrocarbonetos (petróleo e gás natural), que tendo na origem os mesmos hidratos de carbono passam por processo geológico de fossilização de centenas de milhões de anos, os hidratos de carbono da biomassa se formam nos açúcares, nos amidos, nos óleos vegetais ou na celulose, em ciclos extremamente curtos. A coleta dos frutos da palma africana, por exemplo, depois de entrar na fase de produção, é contínua ao longo dos anos. O ciclo de produção do girassol é de apenas 3 meses. A cana-de-açúcar se renova anualmente e a cada sete anos (ou menos, dependendo da variedade, das condições de cultivo e do uso a que se destina) se completa o ciclo produtivo da celulose do eucalipto. Essa renovação, em curto espaço de tempo, da biomassa nos trópicos lhe confere a característica de ser uma fonte energética vantajosa para esta região do planeta, ao lado de outras fontes de energias renováveis como a solar térmica e fotovoltaica, a eólica e as pequenas centrais hidrelétricas.

Considerando que o maior uso de combustíveis fósseis atualmente é atribuído ao setor de transporte e o domínio de motores de combustão interna nos veículos, os biocombustíveis líquidos são os únicos capazes de complementar ou reduzir parcialmente os combustíveis fósseis, sem que se tenha a necessidade de alterar de forma significativa a atual matriz de transporte e a indústria automotiva.

2.2.1 Utilização Energética da Biomassa

A biomassa é seguramente a primeira forma de combustível utilizada pelo homem, e de acordo com Cortez *et al.* (2008), apenas há pouco mais de 100 anos ela começou a perder sua liderança histórica para a energia do carvão mineral e, depois, com o crescimento contínuo da oferta do petróleo e do gás natural, sua utilização foi reduzida praticamente às residências em regiões agrícolas.

A biomassa é usada ainda hoje na forma primária, como lenha, resíduos florestais e agrícolas, e até dejetos animais, através da queima direta para geração de calor, para cocção e para aquecimento do interior das residências em muitas zonas rurais dos países em desenvolvimento. Este uso tem sido associado a alguns fatores degradantes ao meio físico e à saúde e qualidade de vida humana. Do ponto de vista da degradação do meio físico, a procura pela lenha tem sido uma das causas do desmatamento de florestas nativas. No que se refere à saúde e qualidade de vida, a procura pela lenha é uma atividade diária, realizada principalmente por mulheres e crianças, que despendem energia e tempo percorrendo distâncias cada vez maiores e transportando sobre os próprios dorsos este material. Por outro lado, a queima da lenha e de outros materiais no interior das residências, utilizando fogões ineficientes, produz uma grande quantidade de fumaça que inalada provoca problemas respiratórios aos moradores, diminuindo a qualidade de vida. Do ponto de vista da eficiência energética, essa forma tradicional de uso da biomassa é ineficiente na medida em que os meios de conversão energética utilizados, como os fogões tradicionais, desperdiçam grande parte da energia útil contida na fonte, induzindo maior consumo e, conseqüentemente, maiores custos¹⁸.

A produção mundial de madeira para fins de combustíveis (incluindo madeira para carvão) totalizou 1.845 milhões de m³ em 2009. A produção de lenha representa, pelo menos, 58% da produção total global de madeira em tora, que foi de 3.275 milhões de m³ (FAOSTAT, 2011). A tabela 2 apresenta informações sobre a produção de lenha entre 2004 e 2009. Nesse período a produção aumentou 1,3%, sendo que no último ano 2008-2009 a tendência inverte-se (uma diminuição de -0,3%). A produção global de lenha, no entanto, permaneceu quase inalterada, tendência não confirmada apenas em duas únicas regiões: a África e América Latina e Caribe, onde a produção de lenha aumentou consideravelmente.

É de salientar que, por se tratar de uma atividade exercida na maioria das vezes de forma ilegal (corte) e informal (coleta), é extremamente difícil fazer a estimativa correta da produção de lenha, principalmente nos países africanos. É provável que a produção mundial de lenha esteja sendo subestimada e que os valores reais podem ser superiores aos apresentados na tabela.

¹⁸ As transformações da energia da biomassa em energia útil, no entanto, são feitas, técnica e economicamente, com eficiência muito abaixo do possível. O INEE estima que pelo menos 25 Mtep hoje desperdiçados poderiam ser transformados em energia útil a partir de um trabalho sistemático que envolve mais mudanças culturais do que avanços tecnológicos. Disponível em: http://www.inee.org.br/biomassa_sobre.asp?Cat=biomassa

Tabela 2 - Produção de lenha 2004-2009, por região.

	Production in 2009 (million m ³)	Share (%)		Change (%)	
		2004	2009	2004-2009	2008-2009
Africa	602.4	30	33	8.7	1.3
Asia	770.7	44	42	-3.2	-0.8
Europe	141.4	8	8	-2.1	-2.8
Latin America & Caribbean	282.9	15	15	3.2	0.7
Northern America	42.6	3	2	-8.2	-8.1
Oceania	10.7	1	1	-6.8	-2.1
WORLD	1850.7	100	100	1.3	-0.3

Fonte: FAOSTAT, 2011

Em 2009, a produção mundial de carvão vegetal foi de 47,0 milhões de m³, liderada pela África com 63% do total. De 2004 a 2009, a África teve um crescimento de cerca de 30% na sua produção, sendo que a região da América Latina e Caribe apresentou redução da produção nesse mesmo período, igualmente de cerca de 30% (Tabela 3).

Tabela 3 - Produção de carvão vegetal 2004-2009, por região.

	Production in 2009 (million metric tonnes)	Share (%)		% change	
		2004	2009	2004-2009	2008-2009
Africa	29.4	52	63	29.8	5.9
Asia	7.4	16	16	10.2	-1.4
Europe	0.5	1	1	5.4	-1.4
Latin America & Caribbean	8.8	29	19	-29.3	-27.4
Northern America	0.9	2	2	-0.7	0.8
Oceania	0.0	0	0	4.1	1.8
WORLD	47.0	100	100	8.9	-3.6

Fonte: FAOSTAT, 2011

África e América Latina e Caribe são responsáveis pelo aumento a longo prazo da produção de lenha. Na Ásia, Europa, América do Norte e Oceania houve a diminuição da produção de lenha, a partir de 1990, enquanto a produção continua crescendo na África e na América Latina (FAOSTAT, 2011) (figura 12). A figura 13 mostra, por outro lado, a diminuição da produção de carvão vegetal da América Latina e Caribe nos últimos anos.

Segundo FAOSTAT, 2011, o carvão vegetal é o combustível mais usado para cocção pelos habitantes das cidades nos países em desenvolvimento, ao invés de lenha. Taxas de urbanização crescente, portanto, poderiam explicar o aumento acentuado da conversão madeira para carvão, nomeadamente em África. Fornos de terra tradicionais, arcaicos e ineficientes, com fator de conversão de 6 m³ (ou seja 6 m³ de lenha são necessários para produzir 1 tonelada de carvão vegetal), numa estimativa otimista, são frequentemente usados para produção de carvão nestes países.

Figura 12 - Evolução da produção de lenha por região
Fonte: FAOSTAT, 2011

Figura 13 - Evolução da produção de carvão por região
Fonte: FAOSTAT, 2011

A Índia é líder mundial na produção de lenha, seguida pela China; enquanto o Brasil lidera mundialmente a produção de carvão vegetal, seguido por dois países africanos, a Nigéria e a Etiópia.

A produção brasileira de carvão vegetal representou 47% da produção de carvão vegetal na América Latina e no Caribe em 2009. Essa produção, no entanto, está certamente subestimada na medida em que só foi computado o carvão destinado à produção de ferro-gusa. É de conhecimento de todos o grande uso de carvão vegetal no Brasil, principalmente no setor comercial de churrasqueiras e pizzarias.

Figura 14 - Os cinco principais países produtores de lenha em 2009
Fonte: FAOSTAT, 2011

Figura 15 - Os sete principais países produtores de carvão vegetal em 2009
Fonte: FAOSTAT, 2011

Segundo o BEN 2011, a produção brasileira de lenha em 2010 foi de 84.101 mil toneladas, sendo que 29.095 mil toneladas são destinadas ao setor de transformação (geração elétrica e produção de carvão vegetal) e 55.006 destinadas ao consumo final. Destas, 23.471 mil toneladas são consumidas no setor residencial e 23. 108 no setor industrial. A produção de carvão vegetal foi de 7.379 mil toneladas, sendo 5.220 mil toneladas consumidas na indústria de ferro-gusa, 788 mil toneladas no setor residencial e 133 no setor comercial (BEN, 2011).

A biomassa pode ser transformada em fontes de energia mais eficientes, usadas em sistemas de conversão modernos, garantindo melhor aproveitamento da energia útil e com a possibilidade de geração de renda e desenvolvimento de regiões rurais, com vocação para produção da matéria-prima. Diversas tecnologias encontram-se hoje disponíveis para a

conversão energética da biomassa primária em fontes de energias capazes de substituir os combustíveis fósseis usados em modernos equipamentos de conversão energética. Neste trabalho serão consideradas apenas aquelas usadas para produção de biocombustíveis líquidos, em especial o etanol, substituto da gasolina em motores do ciclo Otto, através da transformação de açúcares contidos na biomassa.

2.2.2 Fontes da Biomassa para produção do Etanol

O etanol pode ser obtido a partir de diferentes matérias-primas que contenham açúcares ou polímeros de açúcares, como cereais, frutas, tubérculos, gramíneas como a cana-de-açúcar, sorgo sacarino etc. (CORTEZ et al., 2008, pg., 113).

Neste trabalho as matérias-primas serão agrupadas em sacarídeos e amiláceos para facilitar a abordagem.

Os sacarídeos (cana-de-açúcar, sorgo sacarino, frutas, beterraba, etc.) contêm açúcares na sua composição que podem ser convertidos diretamente em etanol através do processo de fermentação e destilação. No Brasil e na maior parte dos países que produzem álcool a matéria-prima mais usada são os derivados da cana-de-açúcar: o caldo de cana e o melaço (coproduto da produção do açúcar). O foco deste trabalho é a produção do álcool e outros produtos a partir de caldo de cana.

Os amiláceos (milho, trigo, arroz, etc.) são formados essencialmente por amido, que precisam ser convertidos primeiramente em açúcares via hidrólise (que pode ser química ou enzimática) para poderem ser fermentados e destilados para a obtenção do etanol.

Esta é a rota da produção do álcool nos Estados Unidos, onde a matéria-prima é o milho. Essa rota apresenta a desvantagem de demandar um consumo energético na fase inicial de hidrólise para converter os amidos em açúcares fermentáveis. Por outro lado, tem a vantagem de permitir a obtenção de vários produtos de interesse comercial, como óleos, proteínas para ração animal ou mesmo para consumo humano, além de álcool.

“É preciso citar, porém, que o conceito de biorrefinaria, ou seja, o local onde a biomassa é processada não apenas para fabricar um ou dois produtos (em geral *commodities*), mas uma ampla gama de produtos de maior valor agregado, está mais avançado na indústria do milho (e da soja) do que na cana-de-açúcar, o que permite a indústria do milho fazer uma cesta de produtos (amidos, óleos etc.) e vender o etanol por um preço mesmo abaixo do seu custo” (FINGUERUT, 2008)

A figura 16 mostra as duas rotas de obtenção do etanol.

Figura 16: Fluxograma de produção do etanol a partir de sacarídeos e de amiláceos.

Portanto, a grande diferença entre a produção de álcool a partir de sacarídeos e a partir de amiláceos é a necessidade de fazer a hidrólise prévia do amido contido nos amiláceos, antes do processo de fermentação.

2.3 A Agroenergia – Potencial de Contribuição para a Nova Matriz Energética

O termo agroenergia é utilizado na maioria das vezes na literatura como sinônimo de bioenergia ou biocombustível, a energia oriunda da biomassa. Contudo, há um debate no sentido de diferenciar a biomassa produzida a partir de agronegócio (a agroenergia propriamente dita), daquela produzida a partir de resíduos agropecuários ou florestais ou no regime de policultura (a bioenergia ou biocombustível). No primeiro caso, a produção da biomassa é baseada na monocultura extensiva, na utilização intensiva de insumos externos e na utilização de mão de obra camponesa, deslocada de suas regiões de origem, pelo que sua sustentabilidade torna-se questionável do ponto de vista social e ambiental. No segundo caso, a produção se dá em consonância com o equilíbrio ambiental e integrada na atividade camponesa, voltada a atender as suas próprias necessidades e da região. Neste trabalho, os termos agroenergia e bioenergia são utilizados de forma indistinta, representando a energia oriunda da atividade agrícola.

As vantagens comparativas do Brasil e de alguns países tropicais, em termos de clima e solo, recursos hídricos e produtividade da biomassa coloca os biocombustíveis como fontes energéticas potencialmente relevantes nas suas matrizes energéticas. O modelo utilizado, no entanto, na exploração e na utilização dos recursos naturais para a produção dos

biocombustíveis é que vai determinar os impactos gerados e a forma de apropriação dos resultados.

2.3.1 Agroenergia Convencional - Evolução da agroindústria canavieira

A agroenergia convencional se estruturou com base na monocultura extensiva de poucas espécies vegetais, tanto no Brasil como em outras partes do mundo, e se caracteriza por forte concentração de terra e de renda, complexidade tecnológica na cadeia produtiva, relação de dominação e expropriação do pequeno agricultor e degradação ao meio ambiente. No Brasil a agroindústria canavieira, herdada dos tempos do Império e responsável pela produção do etanol combustível ocupa, segundo os dados da CONAB (2011), uma área de 8,1 milhões de hectares, 87% dos quais concentrados na região Centro-Sul, sendo 54% no estado de São Paulo.

A concentração de terras junto à unidade de processamento é uma exigência da própria planta, “acelerada pela introdução do corte de cana queimada a partir dos anos 1960” (ALVES, 1991).

O processo bioquímico conhecido como inversão de sacarose determina que a cana deva ser processada o mais rapidamente possível após o corte, para seu maior aproveitamento industrial. E se o fator tempo entre o corte e a moagem é importante no rendimento industrial da cana-de-açúcar, a distância entre a plantação e a indústria deve ser reduzida e a concentração da terra junto à indústria deve ser maximizada. Essas premissas, acrescidas à fuga da dependência de terceiros no fornecimento da cana, estão na base da concentração de terras e no conflito entre a agroindústria da cana e os pequenos produtores. Para ALVES (1991):

“a fuga da dependência de terceiros no fornecimento da cana faz com que os usineiros assumam a produção de grande parte de suas necessidades em cana, preferencialmente em terras próximas à sua usina, deixando a menor parte possível para os fornecedores e em terras piores e mais distantes. Uma forma de viabilizar isso é o arrendamento. Os produtores autônomos acabam optando por arrendamento na medida em que ficam isentos de gerir a produção e recebem certa quantia do usineiro. Mesmo porque a cana tende a tornar pouco atraente outras culturas na sua proximidade pelo seguinte: a soca propaga-se e invade rapidamente outros terrenos prejudicando outras culturas; a quantidade de palha acumulada no período de seca trás risco de incêndio; a prática das queimadas afugenta para áreas vizinhas animais peçonhentos causando riscos potenciais aos pequenos produtores; O incêndio em si é um grande incomodo para as propriedades próximas.”

O plantio de determinadas áreas com cana, em algumas regiões do país, é utilizado como instrumento de expulsão de pequenos produtores, quer proprietários ou não de terras, e de

barateamento das terras que os usineiros querem incorporar. Os incentivos instituídos a partir do Proálcool através de créditos do programa de aquisição da terra, acrescidos pela não limitação de produção de cana própria pelas destilarias autônomas colaboraram para o aumento da concentração da terra (ALVES, 1991).

A concentração de terras para atender à maior eficiência na produção industrial da cana-de-açúcar tem como consequência impactos importantes do ponto de vista ambiental e social. Do ponto de vista ambiental, a monocultura extensiva foi e continua sendo responsável por intensas transformações no uso do solo e perda da biodiversidade.

Do ponto de vista socioeconômico, Macedo (2007) ressalta dois aspectos relevantes (entre vários outros) como contribuição do setor: o significado da produção de etanol para a economia de divisas em moeda forte no país e o impacto do setor no desenvolvimento da grande indústria produtora dos equipamentos que utiliza, hoje com projeção internacional. Segundo este autor, as importações evitadas pela substituição de gasolina por etanol, entre 1976 e 2004, representam uma economia de US\$ 60,7 bilhões (dólares constantes de dezembro, 2004), e se considerar os juros sobre a dívida externa a economia foi de US\$ 121,3 bilhões (Outubro de 2004).

A partir do Programa Nacional do Álcool, em 1975, a indústria brasileira teve um impulso muito grande e hoje tem um índice de nacionalização de quase 100% na produção de equipamentos para a produção de açúcar, álcool, cogeração e uso integral da energia da cana.

As empresas Dedini e Zanini, que são os maiores fabricantes de equipamentos para a indústria sucroalcooleira brasileira, produziram, em dez anos, cerca de 200 destilarias autônomas (e 200 plantas de cogeração correspondentes) com uma média “histórica” de cinco usinas por mês. Considerando os “picos” de fabricação, 96 ternos de moenda em um ano, 81 destilarias em um ano, e uma média de 63 caldeiras por ano entre 1973 e 1982. Esta pujança industrial se traduz internamente na geração de empregos e renda.

Entretanto, do ponto de vista social, a agroindústria de cana-de-açúcar no Brasil tem chamado a atenção pública devido às condições de trabalho dos cortadores de cana. A demanda por uma grande quantidade de mão de obra na fase agrícola é responsável pelo deslocamento de grande massa de trabalhadores rurais das regiões mais pobres e desfavorecidas do país para os polos produtores da cana-de-açúcar. Esses trabalhadores rurais deixam para trás suas terras, suas raízes culturais e suas famílias, muitas das vezes para sempre, e encontram pela frente condições de trabalho, em alguns casos, desumanas o suficiente para levar à morte por esgotamento físico.

De acordo com Alves (2006), a produtividade média do trabalho no corte de cana, passou de 3 toneladas de cana cortadas por dia/homem, em 1950, para 12 toneladas de cana por dia no final da década de 1990 e início dos anos 2000.

Alves (2006) calcula que ao cortar essa quantidade de cana, um trabalhador, em média, realiza as seguintes atividades em um dia:

“... caminha 8.800 metros; despende 133.332 golpes de podão; carrega 12 toneladas de cana em montes de 15 kg; faz 800 trajetos e 800 flexões, levando 15 kg nos braços por uma distância de 1,5 a 3 metros; faz aproximadamente 36.630 flexões e entorses torácicas para golpear a cana; perde, em média, 8 litros de água por dia, por realizar toda esta atividade sob sol forte, sob os efeitos da poeira, da fuligem expelida pela cana queimada e trajando uma indumentária que o protege da cana, mas aumenta sua temperatura corporal”.

Para a pesquisadora Maria Aparecida de Moraes Silva, da Unesp (Universidade Estadual Paulista),

O novo ciclo da cana-de-açúcar está impondo uma rotina aos cortadores de cana que, para alguns estudiosos, equipara sua vida útil de trabalho à dos escravos. É o lado perverso de um setor que, além de gerar novos empregos e ser um dos principais responsáveis pela movimentação interna da economia, deve exportar US\$ 7 bilhões neste ano.

Ao menos 19 mortes já ocorreram nos canaviais de São Paulo desde meados de 2004, supostamente por excesso de trabalho. Preocupados com as condições de trabalho e com a repercussão das mortes, as usinas estão mudando o sistema de contratação desses trabalhadores, antes terceirizados. (SILVA, M. A. M., 2007).

A autora afirma ainda que a busca por maior produtividade obriga os cortadores de cana a colher até 15 toneladas por dia. Esse esforço físico encurta o ciclo de trabalho na atividade que, nas atuais condições, passaram a ter uma vida útil de trabalho inferior à do período da escravidão.

Uma série de reportagens exibida pelo Sistema Brasileiro de Televisão (SBT) em fevereiro de 2009, intitulada: “Série Jequitinhonha – a infância à venda”,¹⁹ mostra o drama da pobreza na região do Vale de Jequitinhonha–MG e o efeito causado pela migração dos trabalhadores rurais da região, em busca de sustento nas plantações de cana, principalmente no interior de São Paulo, como cortadores de cana. Segundo a reportagem, a maioria dos homens de Itinga, pequena cidade da região, deixa suas famílias para procurar trabalho nas plantações de cana e muitas vezes não volta, ou retorna incapacitado. Esse fenômeno fez Itinga ser conhecida como a cidade das viúvas de maridos vivos, ou a cidade dos órfãos, pois também deixam filhos. Ainda segundo a reportagem, a pobreza extrema que se vive nesta região, que tem o menor IDH de Minas Gerais (0,65), acaba por levar as jovens à prática da prostituição infantil.

¹⁹ <http://www.sbt.com.br/sbtvideos/media/?c=119&id=bda430a8b7fb15f35b73484e11e8a7ef>

Pesquisa realizada por Silva (2007) revela uma mudança na origem dos cortadores de cana, antes provenientes de Minas Gerais e Bahia. O maior fluxo, atualmente, está vindo do Maranhão e Piauí. Segundo a pesquisadora, esse fluxo migratório é gerado pelo próprio setor sucroalcooleiro que, ao expandir-se no Centro-Sul, empurra a pecuária para o Maranhão, onde os novos pastos acabam ocupando áreas de babaçu, fonte de sustento das famílias. Com a perda dessa fonte de renda regional, a migração para as regiões canavieiras de São Paulo acaba sendo uma das poucas alternativas.

Por outro lado, a expansão do cultivo da soja no Piauí, devido à valorização das terras no Centro-Sul, leva à expulsão de pequenos produtores de suas terras e à consequente migração para São Paulo, como cortadores de cana.

Para a UNICA (União da Indústria de Cana-de-Açúcar), entidade que reúne as indústrias do setor, não ficou provado que as causas de mortes no campo tenha sido o excesso de trabalho. A entidade informa que as empresas estão imprimindo várias mudanças que beneficiam os cortadores de cana, como a adoção do fim da terceirização, o que vai permitir que os trabalhadores do setor passem a ser contratados pelas usinas e usufruam de assistência médica, entre outras medidas. Segundo esta mesma entidade, o piso de pagamento aos trabalhadores é o correspondente a seis toneladas de cana cortada, o que dá uma remuneração de R\$ 415 por mês²⁰.

O parque agroenergético tradicional brasileiro é um complexo apoiado por políticas públicas e alvo de grandes investimentos públicos e privados. É atualmente o segundo maior produtor de etanol no mundo e o primeiro com base na cana-de-açúcar como matéria-prima, e usa as mais modernas ferramentas agrícolas criadas pela Revolução Verde.

2.3.1.1 Produção Agrícola da Cana-de-açúcar

O cultivo da cana-de-açúcar no Brasil deu-se pela necessidade imperativa de colonizar e explorar um território até então sem importância econômica para Portugal. No cumprimento do Tratado de Tordesilhas, Portugal foi obrigado a ocupar, de fato, a sua colônia nas Américas. Sem ouro ou prata, base da economia mercantilista da época, de acordo com a narração de Pero Vaz de Caminha, escrivão-mor da expedição lusa, a escolha recaiu sobre a cana-de-açúcar, considerando a alta cotação do açúcar no mercado europeu e a existência, no Brasil, do *solo de massapé*, propício para a o cultivo dessa *gramínea*.

²⁰ Reportagem no jornal Folha de São Paulo, domingo, 29 de abril de 2007, seção Dinheiro.

Destinado exclusivamente à exportação, o açúcar transformou-se no alicerce econômico da colonização portuguesa no Brasil entre os séculos XVI e XVII e Portugal, que detinha a exclusividade comercial sobre o Brasil, tornou-se o principal produtor mundial de açúcar de cana.

Consta que as primeiras mudas introduzidas no Brasil foram trazidas da Ilha da Madeira por Martim Afonso de Souza, responsável pela instalação do primeiro engenho em São Vicente, no ano de 1533.

“Pela capitania de S. Vicente se introduziram no Brasil as plantas da cana doce (da fina ou pequena), que então se cultivava na Ilha da Madeira; bem que não falem induções para fazer crer que antes existia indígena uma espécie que, com o nome de caninha, ainda hoje se encontra . bravia até em alguns ilheos fronteiros a Peruibe. Foi igualmente esta capitania a primeira do Brasil que apresentou moente e corrente um engenho de assucar; havendo para esse fim o donatário feito sociedade com alguns estrangeiros entendidos neste ramo da mechanica agricola. Os Venisles, Erasmos e Adornos foram sem dúvida no Brasil os verdadeiros mestres e propagadores de tal industria, que primeiro permittiu que o paiz se podesse reger e pagar seus funcionarios, sem sobrecarregar o thesouro da metrópole.

A capitania de S. Vicente contava aos quatorze annos de fundada seis engenhos, mais de seiscentos colonos, e muita escravaria africana; e a villa de Piratininga, dentro de dez annos mais, era de tanta importância que conseguia do donatario um foral próprio.” (VERNHAGEN, 1854).

Como mecanismo de viabilização da produção de cana-de-açúcar, criou-se o sistema de capitanias hereditárias, que consistia na divisão da faixa litorânea em lotes horizontais, concedidas a donatários, pessoas com recursos para assumir a exploração, submetendo-se às restrições monopolistas da metrópole. O donatário era obrigado, no quadro do pacto colonial, a desenvolver a produção de cana-de-açúcar no modelo de “plantation” que se baseava no latifúndio, monocultura, trabalho escravo e produção para o mercado externo.

O atual modelo de produção da cadeia sucroalcooleira guarda, portanto, semelhanças com o herdado das capitanias hereditárias do século XVI, apesar de não mais existir a figura do escravo africano, da diversificação dos produtos e da grande importância do consumo interno.

a) Cana-de-açúcar como Matéria-Prima para Produção do Etanol - Características Gerais

Na natureza, muitas são as plantas capazes de sintetizar a sacarose, mas somente algumas apresentam expressão econômica para sua industrialização, como é o caso da cana-de-açúcar, do sorgo sacarino e de algumas palmáceas. Várias são as espécies de cana-de-açúcar que apresentam valor industrial, quer pelo seu cultivo ou de seus híbridos. (LIMA, 2002).

A cana-de-açúcar pertence à família das gramíneas, a qual contém mais de 5.000 espécies de plantas. É uma planta composta de partes subterrânea (raízes e rizomas) e aérea (colmo, folha e flores).

“O colmo é a parte da cana que, tecnologicamente, representa todo o interesse industrial. É formado por gomos que são constituídos por nós, Zonas Radiculares e entrenós. É neste último que são acumulados e armazenados o açúcar da cana e outros componentes. É onde, por ação da fotossíntese, procede-se a conversão do gás carbônico do ar e da água em matéria orgânica, com auxílio da energia solar... A sacarose se forma como produto final imediato à fotossíntese, deslocando-se das folhas para o colmo, que são os órgãos armazenadores da planta. É um substrato de dupla ação: crescimento e respiração da planta.” (LIMA, 2002).

“A qualidade da cana-de-açúcar como matéria-prima industrial pode ser definida como uma série de características intrínsecas da própria planta, alterada pelo manejo agrícola e laboratorial, que definem o seu potencial para a produção de açúcar e álcool.” (FERNANDES, 2003).

Com relação à composição química da cana, observa-se que ela é bastante variável quanto à proporção dos elementos, porém, quantitativa e qualitativamente ela é mais ou menos semelhante em todas as variedades. (LIMA, 2002).

A figura 17 apresenta a composição tecnológica da cana-de-açúcar. Observa-se que a distribuição desses componentes não se dá de maneira uniforme, pois as partes duras da cana (nós) encerra o maior teor de fibras. Segundo LIMA, 2002, os colmos contêm cerca de 75% do caldo e as partes duras (cascas e nós), cerca de 25%.

Figura 17: Balanço de massa de cana-de-açúcar (%)

Os açúcares, produtos de interesse para a produção de destilados e doces, representa de 14 a 24% da composição da cana.

b) Cana-de-açúcar no Brasil – Situação atual

A produção de cana-de-açúcar no Brasil, hoje, está assente em bases tecnológicas modernas, uma agricultura de precisão, fazendo uso de tratores e máquinas agrícolas de última geração, controlados por sistemas de geoprocessamento, com a utilização de satélite.

Segundo Macedo e Nogueira (2004), a atual situação da tecnologia agrônômica indica uma evolução contínua da produtividade, em particular para a situação da região Centro-Sul. Estes autores consideram que a disponibilidade de variedades geneticamente melhoradas (seleção a partir de cruzamentos) foi um fator muito importante para o incremento de produtividade, que ocorreu mesmo com a expansão para áreas menos favoráveis. Enquanto há cerca de 20 anos quase 50% da área cultivada com cana em São Paulo era ocupada com uma única variedade, atualmente são cultivadas no país centenas de variedades de cana-de-açúcar, sendo que a variedade mais cultivada não ultrapassa 10% da área plantada.

Existe no Brasil uma série de programas e instituições públicas e privadas envolvidas no melhoramento e seleção de variedades de cana, componentes essenciais não apenas no esforço de incrementar a produtividade, como também auxiliar no adequado controle fitossanitário contra pragas e doenças. Dentre essas instituições destacam-se a COPERSUCAR, a Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro - RIDESA, o Instituto Agrônômico de Campinas e Canavialis, uma empresa privada recentemente constituída para atuação neste ramo.

De acordo com a CONAB 2011, a área cultivada com cana-de-açúcar que será colhida e destinada à atividade sucroalcooleira está estimada em 8.368,4 mil hectares. A lavoura continuou em expansão na safra 2011-2012. No Estado de Minas Gerais as áreas em produção tiveram aumento de 83.100 ha; em Mato Grosso do Sul, 84.700 ha; Goiás, 79.110 ha, e Mato Grosso 13.040 ha. Dez novas usinas entraram em funcionamento nestes Estados na safra 2010-2011, sendo três no Estado de Minas Gerais, duas em São Paulo, duas em Goiás, uma no Estado de Mato Grosso, uma em Mato Grosso do Sul e uma no Rio de Janeiro.

A produção da cana na safra de 2011-2012 foi de 571,5 milhões de toneladas, sendo que 283,9 milhões de toneladas destinadas à produção de açúcar e 287,6 milhões de toneladas para produção do etanol, ou seja, aproximadamente 50% para cada destinação.

Na safra 2011-2012 a produtividade média prevista foi de 68.289 kg/ha. Esta produtividade é 11,8% menor que a da safra de 2010/11, que foi de 77.446 kg/ha. Segundo a CONAB 2011, essa queda de produtividade é causada principalmente por fatores climáticos, como a estiagem ocorrida de abril a outubro de 2010, a escassez de chuvas no mês de maio de 2011, a ocorrência de geadas em São Paulo, Mato Grosso do Sul, Paraná e o florescimento em excesso de boa parte da lavoura. A queda de produtividade foi observada, na realidade, na região Centro-Sul (responsável por 88% da produção) e foi de 80.968 kg/ha para 69.506 kg/ha. Na região Norte-Nordeste (cuja participação na produção é de apenas 12%) houve, ao contrário, aumento de 8,5% de produtividade no mesmo período.

Observa-se, contudo, que é nestas regiões onde se concentram as maiores produtividades da cana-de-açúcar no Brasil. Na safra de 2011/12 a produtividade no Acre foi de 92.350 kg/ha, no Tocantins, 92.925 kg/ha, enquanto em São Paulo a previsão é de 70.496 kg/ha.

Dados da FAOSTAT (2010), mostram que o Brasil não é exatamente o campeão de produtividade de cana-de-açúcar, se comparado com outros países do mundo, como mostra o gráfico 18.

Figura 18: Produtividade da cana-de-açúcar em alguns países
Fonte FAOSTAT, 2010

Além da produtividade, um parâmetro importante na definição da qualidade da cana-de-açúcar é o ATR (açúcares totais recuperáveis), medido em kg/tonelada de cana. Este parâmetro expressa a quantidade (em peso) de todos os açúcares contidos na matéria-prima. O ATR é usado na indústria sucroalcooleira para quantificar a sacarose presente na matéria-prima, sendo este um dos parâmetros utilizados para a definição do valor pago pela tonelada de cana-de-açúcar. O ATR da safra 2011/12 foi de 135,94 kg por tonelada de cana.

Outros parâmetros usados nos cálculos do rendimento industrial da cana são o Brix, o Pol e o ART.

O Brix “é o parâmetro mais utilizado na indústria do açúcar e álcool e expressa a percentagem aparente peso/peso dos sólidos solúveis contidos em uma solução pura de sacarose, ou seja, o teor de sacarose na solução”. (FERNANDES, 2003).

Pol: Representa a percentagem aparente de sacarose contida numa solução de açúcares (por exemplo, o caldo de cana).

ART (Açúcares redutores totais): representa todos os açúcares da cana na forma de açúcares redutores ou invertidos.

Macedo e Nogueira (2004) mostram a variação do teor de sacarose da cana, numa série histórica de 1988 a 2003, para um conjunto de usinas em São Paulo, através do gráfico 19, observando que não apenas a produção de cana por hectare se incrementou, como também sua qualidade.

Figura 19: Evolução do teor de sacarose, Usinas da Copersucar (S. Paulo)
 Fonte: MACEDO e NOGUEIRA, 2004

Outro aspecto importante na produção de cana no Brasil é a utilização da fertirrigação com a vinhaça. Dependendo da topografia e distribuição de terras da usina, há usinas que aplicam vinhaça em até 70% da sua área de cultivo. A cada safra o valor de área de fertirrigação das usinas aumenta na busca do uso racional da vinhaça, visando maior produtividade agrícola e redução no uso de fertilizantes químicos. Apesar disso, o balanço de nutrientes na agricultura brasileira (como um todo) é insatisfatório: a quantidade de nutrientes retirados é maior do que a quantidade aplicada. Os solos são progressivamente empobrecidos em nutrientes; persistindo em longo prazo, isto seria uma ameaça para a sustentabilidade da agricultura. Por outro lado, tanto o consumo de fertilizantes quanto a produtividade no Brasil têm aumentado nas últimas três décadas (MACEDO, 2007).

O sistema de transporte da cana até a usina utilizado na agroindústria brasileira também vem ganhando eficiência e conta, hoje, com equipamentos de alta tecnologia como os *rodotrens*, com capacidade de carga de até 513 toneladas de cana/dia (cana picada). A capacidade diária média de carga para as tecnologias mais comuns (caminhão e reboque, simples) é de 184 toneladas (cana inteira).

2.3.1.2 – Processamento Industrial do Etanol

Antes do Proálcool e na sua fase inicial, a produção do etanol no Brasil era realizada nas usinas de açúcar com destilarias anexas, aproveitando parte do caldo de cana e do melaço proveniente da produção de açúcar. Desse sistema, a industrialização da cana-de-açúcar

Figura 21: Usina de produção de álcool, açúcar e eletricidade excedente
Fonte: Dedini, 2009

A tabela 4 resume a evolução tecnológica da industrialização da cana-de-açúcar no Brasil, do início do programa Proálcool até 2008.

Tabela 4: Evolução Tecnológica do Setor Industrial da Cana-de-açúcar no Brasil

RESULTADOS DA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA – SETOR INDUSTRIAL – 2007			
	PRODUTOS DEDINI	Início do PROÁLCOOL	2008 Hoje
▪ Capacidade de moagem (TCD)-6x78"	DH1 / MCD01	5.500	15.000
▪ Tempo de fermentação (h)	Ferm. Bat/ Cont	24	6 – 8
▪ Teor alcoólico do vinho (°GL)	Planta Fermentação	6,5	> 9,0
▪ Rendimento extração (% aç. cana)-6 ternos	DH1/ MCD01 / Difusor Mod.	93	98,97
▪ Rendimento fermentativo (%)	Ferm. Bat/ Cont / SFD	80	92,90
▪ Rendimento da destilação (%)	Destiltech	98	99,5
▪ Rendimento Total (l bioetanol.hidr./t cana)	Tecnologia DEDINI	66	87,86
▪ Consumo total de vapor (kg/t cana)	Tecnologia DEDINI	600	320-380
▪ Consumo de vapor- hidratado (kg/l)	Destiltech / Split Feed	3,4	1,6-2,0
▪ Consumo vapor-anidro (kg/l)	Destiltech (+) Peneira Molecular / Split Feed + Membrana	4,5	2,0-2,7
▪ Caldeira-Eficiência (% PCI)	AZI/ AT/ SD	66	89
Pressão (bar) / Temperatura (°C)		21/ 300	120/ 540
▪ Bagaço excedente (%)-usina de bioetanol	Tecnologia DEDINI	Até 8	Até 78
▪ Biometano a partir de vinhaça (Nm³/l álco)	METHAX	-	0,1
▪ Produção de vinhaça (l vinhaça/l bioetanol)	BIOSTIL/CONCENTRAÇÃO	13	0,8

Fonte: Dedini, 2009

2.3.1.3 – O ETANOL – Álcool Etílico Hidratado Combustível

a) Especificação e Uso

O etanol usado no Brasil como combustível para veículos leves é o Álcool Etílico Hidratado Combustível (AEHC), especificado pela resolução ANP N°7, de 09/02/2011. Seu Teor Alcoólico é de 95,1 a 96,0 % em volume ou 92,5 a 93,8 % em massa; e sua Massa Específica a 20° C é de 807,6 a 811,0 kg/m³. Este combustível ganhou um novo impulso no uso a partir de 2003, com a introdução dos veículos flexíveis: os flex fuel, que podem usar tanto a gasolina quanto o álcool ou uma mistura dos dois a qualquer proporção. Além do AEHC, no Brasil usa-se o Álcool Etílico Anidro Combustível, de 99,3% em volume de Teor Alcoólico, como aditivo à gasolina.

O uso do etanol é associado à menor emissão de gases do efeito estufa em relação à gasolina, pela facilidade da queima e por ser de origem vegetal, contudo, impactos ambientais referentes à mudança do uso do solo e a poluição atmosférica local são associados à fase agrícola da sua produção.

b) Considerações Sociais e Ambientais

A cana-de-açúcar é uma cultura em expansão no Brasil. Dados da CONAB 2011, mostram que a região Sudeste apresentou o maior percentual de aumento, na ordem dos 38%, mas que outras regiões, nomeadamente Centro-Oeste, apresentaram acréscimo significativo na área de expansão, somando um total de aproximadamente 200 mil hectares.

De acordo com Cortez et. al.,(2008), a expansão da cana para a produção de etanol se dará quase em sua totalidade em terras hoje ocupadas por pastagens, mas que originalmente eram ocupadas por mata de média complexidade, “cerradão”. Para o autor, a mudança do uso da terra para a expansão da cana vai acontecer preferencialmente em direção ao Centro-Oeste, sobre áreas de pastagem degradadas ou de baixa produtividade e sem prejuízo à produção de alimento, pelo contrário, sendo a cana uma cultura de alta produtividade, representaria maior riqueza para o campo.

Para Agostinho e Ortega (2011), esta teoria não está sendo aplicado na prática devido o alto custo monetário para recuperação do solo nessas áreas, o que torna mais rentável alugar pequenas áreas agrícolas ou comprar terras usadas para outras culturas, tais como soja e laranja. Na prática, segundo os autores, a expansão da cana está ocupando as melhores terras, com melhores condições climáticas, tipos de solo, água, recursos disponíveis, baixa declividade, em locais próximos às usinas de etanol e centros urbanos. Os autores concluem

que é evidente que há uma competição por áreas agrícolas entre as pequenas propriedades que se dedicam a multiculturas e a da monocultura da cana. Mostram que no Estado de São Paulo as pessoas que vivem em áreas rurais nas proximidades de monoculturas de cana estão sendo afetadas negativamente do ponto de vista social, econômico e ambiental.

Ávila e Ávila s.d., pesquisaram a situação de Rubiataba, município da região Centro-Norte do estado de Goiás, uma das novas fronteiras da expansão da produção de cana no Brasil e apontam alguns impactos socioeconômicos nesta região tradicional de pequenos produtores dedicados à produção de grãos e pecuária. Segundo os autores, a expansão da cana na região representou realmente um aumento de oferta de emprego e renda. Contudo, constatou-se a redução da oferta de trabalho agrícola, a migração e extinção de atividades que outrora foram responsáveis pelo crescimento da cidade, a exemplo da produção de móveis, confecção e pecuária. A competição pela mão de obra e investimentos acabou por inviabilizar setores importantes da economia local. Com a estratégia de procurarem melhores áreas, de preferência próximas às usinas, para reduzir os custos de formação e manutenção da lavoura e transporte, os usineiros adotam o sistema de arrendamento/parceria como forma de aquisição de terras e, ao mesmo tempo, diminuição de imobilização do capital e dos riscos. A pesquisa mostrou que este mecanismo tem gerado dependência financeira dos agricultores em relação aos usineiros na medida em que, para incentivar o arrendamento, a usina paga adiantado 3 anos de contrato, forçando o agricultor a renovar o contrato com 3 anos de antecedência. Na maioria das vezes, devido a pouca prática de gestão financeira, os agricultores acabam administrando mal o dinheiro recebido ao longo do contrato, ficando dependentes da renegociação com a usina e submetidos, inclusive, à redução de valores. Os contratos de arrendamentos autorizam a usina a retirar cercas, currais, habitações e demais benfeitorias, além de todos os plantios existentes, inclusive pomar e demais árvores, para plantar a cana. Este fato cria uma dificuldade ao agricultor que pretende retornar às atividades na propriedade ao término do contrato de arrendamento. Outro aspecto apontado é o fato da expansão da monocultura e dos arrendamentos estarem reduzindo os espaços da agricultura familiar, que por sua vez diminui a demanda por serviços técnicos prestados ao campo (topografia, projetos, veterinários), ofertas e demandas no comércio local (verdurão, lojas agropecuárias, oficinas).

Impactos ambientais associados à queima da cana para colheita e à disponibilidade de água foram apontados nas pesquisas como as mais significativas.

OMETTO, (2005) analisou os impactos ambientais do ciclo de vida do etanol hidratado combustível na região de Ribeirão Preto - SP e também apontou um alto consumo de água nas

atividades de produção industrial, onde a lavagem de cana consome 131.949,40 kg de água por tonelada de álcool produzido, e na geração de vapor, responsável por 14.265,27 kg/t álcool. De acordo com este autor, a colheita de cana-de-açúcar é a atividade de maior potencial para o efeito estufa, no ciclo de vida do etanol, devido aos gases hidrocarbonetos, metano e monóxido de carbono emitido durante a queimada, e ao dióxido de carbono (CO₂) emitido pelo uso de óleo diesel nos ônibus e caminhões. Calcula em 1.029,40 kg CO₂ eq./t álcool o potencial de aquecimento global provocado pela queimada da cana. Outra categoria de impacto, associado à queima da cana analisada pelo autor é a toxicidade humana causada pela emissão (via aérea) de gases tóxicos e material particulado. Segundo os cálculos, são emitidos 1.258.456.278,73 m³/t álcool de gases e materiais prejudiciais à saúde.

ARBEX, (2001) estabelece uma associação causal entre o material particulado decorrente da queima de plantações de cana-de-açúcar e um indicador de morbidade respiratória da cidade de Araraquara-SP. O autor explica que a associação causal é dose-dependente e que a relação entre poluição atmosférica e efeitos sobre a saúde da população mostrou ter um efeito agudo após curto período de exposição, com um tempo de defasagem de dois dias.

c) Mercado e Competitividade Econômica

O etanol produzido no Brasil apresenta atualmente um dos menores custos em termos de biocombustíveis no mundo. Historicamente, o setor sucroalcooleiro recebeu fortes subsídios do poder público para se consolidar. Atualmente este setor está consolidado e continua competitivo sem subsídios. Segundo Macedo (2004), o custo de produção (sem impostos) do etanol nas usinas do Centro-Sul, estimado em R\$ 647/m³, é competitivo em relação aos custos atuais da produção da gasolina. Segundo o mesmo autor, o custo de produção do etanol no Brasil também é inferior ao do etanol de milho nos Estados Unidos ou de trigo e beterraba, na Europa.

O etanol produzido em pequena escala pela agricultura familiar pode ocupar um mercado específico representado pelas próprias famílias camponesas e pelas frotas cativas de municípios distantes dos principais centros de produção, aonde atualmente os preços deste combustível chegam a valores elevados. Como exemplo, podemos citar os preços do etanol praticados na região Noroeste do Rio Grande do Sul, que atingem valores superiores aos da gasolina em São Paulo.

A figura 22 é uma imagem fotográfica tirada em outubro de 2011 nos arredores de Iraí-RS e que mostra a relação de preços dos combustíveis no local. Observe-se que o preço do etanol é R\$ 2,699, quase na mesma faixa que a gasolina, R\$ 2,869.

Figura 22: Tabela de preços em um posto de combustíveis nos arredores do Iraí-RS
Fonte: O Autor

2.3.2 – Agroenergia com base na Agricultura Familiar e de Pequena Escala.

Uma discussão profunda sobre o conceito da agricultura camponesa e familiar é feita em Abramovay (1992), Wanderley (2004), Sharashkin (2008), entre outras obras, e foge ao escopo deste trabalho. O conceito de agricultura camponesa aqui empregado é aquele defendido pelos movimentos sociais no Brasil, nomeadamente pelo MPA - Movimento dos Pequenos Agricultores, segundo o qual “... a combinação de alimento e energia se dá por meio de policultivos, da integração da atividade agrícola, pecuária e floresta, na rotação de culturas, nos consórcios e nos sistemas agroflorestais e agrosilvipastoris”. (ICPJ, 2008)²².

Todesco (1998) caracteriza a agricultura familiar como aquela em que a família, ao mesmo tempo, é proprietária dos meios de produção e assume o trabalho no estabelecimento produtivo.

Nas discussões travadas por este movimento, a agricultura camponesa é essencialmente uma agricultura familiar, na medida em que se centra na unidade familiar de produção. Contudo, fazem questão de diferenciar a agricultura familiar centrada no policultivo, na valorização dos

²² Instituto Cultural Padre Josimo, Porto Alegre-RS (institutopadrejosimo@hotmail.com)

métodos orgânicos de produção e na produção de alimento, daquela integrada à lógica do capitalismo, que é uma extensão da monocultura de grande escala voltada à exportação e ao lucro, como é o caso das famílias produtoras de soja, mamona ou do dendê, para fornecer aos produtores de biocombustíveis. No primeiro caso, que consideram a verdadeira agricultura camponesa, eles enxergam a autonomia do produtor e um grande potencial de desenvolvimento local, através da produção de alimento, energia e preservação dos recursos naturais. Já no segundo caso, eles veem uma submissão à lógica externa do mercado, interessado numa única cultura, e um forte potencial de conflito com os interesses locais e o meio ambiente.

Segundo Sachs (2009), é necessário um ciclo de desenvolvimento rural nos países tropicais, bem colocados para construir civilizações modernas do vegetal movidas à energia solar captada pela fotossíntese. Apontando a necessidade de desacelerar o êxodo rural através da procura de novos equilíbrios demográficos, sociais, ecológicos e culturais entre a cidade e o campo, reforça a necessidade de humanizar o campo criando oportunidades de emprego e autoemprego “decentes”²³. Para isso, há que se explorar o trinômio: biodiversidade x biomassa x biotecnologia para otimizar a produção de alimento, bioenergia, materiais de construção, adubos, fármacos e outros, aumentando, ao mesmo tempo, o rendimento da biomassa e ampliando o leque dos produtos derivados.

Na concepção de Sachs, é preciso levar ao campo soluções intensivas em conhecimento e mão de obra, econômicas em capital e recursos naturais e baseadas numa revolução duplamente verde, ou seja, que proporcione alto rendimento por hectare, mas considerando as limitações ecológicas e dirigidas ao camponês. A estas soluções Sachs chama de *desenvolvimento rural inclusivo*.

Um modelo de produção de agroenergia com base na agricultura camponesa atenderia ao conceito do desenvolvimento rural inclusivo, pressupondo a quebra do paradigma da produção de biocombustíveis em grande escala, baseada na monocultura extensiva e na concentração de renda. Para Sachs, é necessário avaliar até onde as áreas cultiváveis do Planeta e os recursos hídricos disponíveis permitem a produção das diferentes biomassas sem por em perigo o postulado da “segurança alimentar”. Neste sentido, a agricultura camponesa tem muito a oferecer, pois os camponeses executam naturalmente serviços ambientais essenciais de que dependem para sobreviver.

²³ SACHS entende por Trabalho Decente – um trabalho convenientemente remunerado; salubridade aceitável; respeito à dignidade do trabalhador.

A formulação e implementação de uma política nacional de incentivo à produção de biocombustíveis em pequena escala, que envolva o desenvolvimento de tecnologias apropriadas, melhoramento das espécies vegetais utilizados, capacitação dos produtores rurais e incentivo ao uso de biocombustíveis produzidos localmente, pode ser uma alternativa para descentralizar a produção de energia e diversificação do escopo da agricultura camponesa.

2.3.1.1 – Experiências no Mundo

A cana-de-açúcar cresce no mundo entre a latitude 36,7 N e 31,0 S, do nível do mar até aproximadamente 1000 m de altitude. É uma planta essencialmente tropical, de grande crescimento vegetativo e potencial econômico (pode atingir até mais de 110 toneladas de biomassa integralmente aproveitáveis para produção de alimento e energia, por hectare). A cana-de-açúcar pode ter um papel importante na economia dos países em desenvolvimento, sobretudo para a diminuição da pobreza (ou melhor, geração da riqueza e melhoria do bem-estar) para as populações rurais da África e da América Latina. É um cultivo de longa duração e, portanto, convive com todas as estações - chuvosa, inverno e verão - durante seu ciclo de vida²⁴.

A figura 23 mostra as principais zonas de cultivo da cana-de-açúcar atualmente no mundo. Observa-se que esta ocorrência se restringe preferencialmente às regiões intratropicais, mais concretamente em torno dos paralelos 30° Norte e Sul.

Figura 23: Distribuição Geográfica da Cana-de-açúcar
Fonte: <http://www.sugarcane crops.com/p/introduction/>

Serão abordadas, a seguir, as experiências de cultivo da cana-de-açúcar e de envolvimento de pequenos agricultores em três países selecionados: Ilhas Maurícias, no Oceano Índico, costa Oriental da África; Colômbia, na América do Sul, e Guiné-Bissau, na Costa Oeste africana.

²⁴ <http://www.sugarcane crops.com/p/climate/>

Os três casos ilustram diferentes modelos e possibilidades de organizar a produção da cana e exemplos de espaços com vocação para replicação das experiências de produção de etanol e alimento, fora do Brasil.

Ilhas Maurícias²⁵

A cana-de-açúcar foi introduzida nas Ilhas Maurícias em 1639 pelos colonizadores holandeses para produzir cachaça artesanal. No seu auge, em 1838, havia 259 usinas de açúcar nas Ilhas Maurícias.

O açúcar tem uma importância vital na economia da Ilha e é negociado no âmbito do Acordo de Açúcar da Commonwealth desde 1951 e do Protocolo de Açúcar desde 1975.

Dados da FAOSTAT (2010) mostram uma área ocupada com cana atualmente de 58.709 ha, com a produção de aproximadamente 4,4 milhões de toneladas de cana, uma produtividade média em torno de 74 toneladas por hectare de cana.

Para beneficiarem-se de economias de escala e se modernizarem, as usinas de açúcar têm usado a estratégia de se reagrupar. Na década de 1960 existiam 25 usinas de açúcar. Em 1990 este número caiu para 19 e hoje existem apenas 11 usinas de açúcar com uma produção estimada de 575.000 toneladas de açúcar por ano (uma média de 52 mil toneladas de açúcar por ano, para cada usina).

Dez dessas fábricas usam bagaço para gerar eletricidade e, em 2004, as vendas ascenderam a 318 GWh, o que equivale a cerca de 20% do uso total de energia no país.

No seu Plano de Ação 2005-2015 o governo das Ilhas Maurícios prevê, entre outras medidas:

1) promover a modernização e a diversificação do sector do açúcar para converter a indústria de cana-de-açúcar em uma indústria eficiente voltada para a produção de açúcar, de elevado valor acrescentado, subprodutos e energia; e 2) garantir uma maior participação de pequenos agricultores (cujo tamanho das parcelas é inferior a 4 ha) em usinas de açúcar, bem como na produção de energia.

²⁵ Informações obtidas e compiladas a partir dos trabalhos “A roadmap for the mauritius sugarcane industry for the 21st century, government of mauritius” disponível em:

<http://www.sadc.int/fanr/agricresearch/mapp/reports/Mauritius%20-%20National%20situation%20analysis%20report%20-%20September%202007.pdf>;

“Analysis of the agricultural technologies and dissemination situation in the republic of Mauritius, SADC Multi-country Agricultural Productivity Programme”, disponível em:

<http://www.sadc.int/fanr/agricresearch/mapp/reports/Mauritius%20-%20National%20situation%20analysis%20report%20-%20September%202007.pdf>;

e da FAOSTAT, 2010.

A previsão do Plano é de que as usinas de açúcar atinjam patamares de cerca de 1.700 GWh de energia elétrica exportada, a partir da queima do bagaço de cana em 2015.

Em relação ao etanol, a estimativa é de uma produção anual de cerca de 30 milhões de litros a ser misturado na gasolina, usando o melaço como matéria-prima.

Responsáveis por cerca de 23% da produção de cana nas Ilhas Maurícias, os pequenos plantadores são encorajados a se reagruparem, a fim de facilitar a implantação de infraestruturas para a melhoria da produção, como a mecanização, a irrigação e a preparação da terra.

A experiência de Maurícias mostra um aspecto diferente de inclusão do pequeno produtor no sistema produtivo global de cana-de-açúcar. Agricultores com menos de 4 ha de terra são integrados ao processo de produção tanto do açúcar como da energia e são encorajados a se agregarem em grupos para potencializar o seu crescimento.

Colômbia

O “Cluster” do açúcar na Colômbia, país situado na região Norte da América do Sul, é composto de treze usinas, doze delas cogeradoras de energia e cinco equipadas com destilarias de álcool. Fazem parte da cadeia produtiva do álcool mais de 2.700 agricultores fornecedores de cana, e a área plantada em 2010 foi de 218.000 ha, sendo 25% propriedades das próprias usinas e 75% provenientes de fornecedores de cana. Essas informações foram prestadas por Luis Fernando Londoño Capurro, presidente da “Asocaña” (Associação dos Produtores de Cana da Colômbia). A capacidade instalada em cogeração atualmente gira em torno de 200 MW, e os excedentes vendidos, 53 MW; projeta-se para 2015 aumentar a capacidade a 333 MW, dos quais 145 MW poderão ser vendidos (Asocaña, 2012).

Destacam-se duas regiões na produção de cana-de-açúcar na Colômbia. A grande região produtora de açúcar e etanol no “Valle del Rio Cauca”, com melhores condições de solo e clima e onde se encontram cinco das seis plantas produtoras de etanol (tabela 5).

Tabela 5 - Plantas Produtoras de Etanol em Operação, abril de 2011.

Cidade, Estado	Investidor	Capacidade l/dia	Área plantada para produção de etanol (ha)
Miranda, Cauca	Incauca	350.000	11.942
Palmira, Valle	Engenho Providencia	300.000	9.287
Palmira, Valle	Manuelita	250.000	8.721
Candelaria, Valle	Mayaguez	250.000	6.587
La Virginia, Risaralda	Engenho Risaralda	100.000	3.004
Puerto - Lopez, Meta	GPC	25.000*	1.200
Total		1.275.000	40.741

*A partir de mandioca amarga – é a única localizada fora do cluster.

Fonte: Fedebiocombustibles, 2012

A outra região abrange os estados de Cundinamarca, Antioquia, Boyacá, Santander, Nariño e Caldas e é responsável pela produção de 70% da chamada “Caña Panelera”, destinada à fabricação de rapadura. Cabe anotar que somente três estados, Santander, Boyacá e Cundinamarca contribuem com 50% da produção de rapadura do país, em especial pelos altos rendimentos da “Hoya del Río Suárez” (Boyacá e Santander), os quais atingem entre 13 e 15 toneladas por hectare. É uma região de terras mais íngremes e de pequenas propriedades, com uma agricultura pouco “tecnificada” e com engenhos que produzem derivados da cana como a rapadura, localmente conhecida como “panela”, e o açúcar mascavo, importantes componentes na alimentação da região.

A “caña panelera” é considerada a segunda agroindústria rural depois do café, pelo número de estabelecimentos produtivos, a área plantada e a força de trabalho a ela vinculada. Em 2005 esta atividade gerou 353.366 empregos diretos. Estima-se que a Colômbia é o primeiro consumidor mundial de rapadura per capita, com 38,6 quilogramas.

Segundo cálculos da Federação Nacional dos “Paneleros” – Fedepanela –, existem no país 17.883 trapiches, com capacidade de processo entre 50 a 300 kg/hora de rapadura. Com relação ao tamanho, estima-se que mais ou menos 83% das unidades produtoras podem ser catalogadas como pequenas (capacidade instalada menor a 100 kg/hora), 15% médias (capacidade instalada menor a 150 a 250 kg / hora) e 2% se classificam como grandes unidades produtoras (capacidade instalada superior a 250 kg/ hora) (MADR, 2006). Na tabela 6 são mostrados alguns dados desse setor.

Tabela 6: Dados estimados de “Caña Panelera” para 2010

Área plantada (ha)	Área colheita (ha)	Produção (ton.)	Rendimento (ton./ha)	Produtores “encuesta nacional panelera” (ENP) 60%	Trapiches
240418	201695	1274733	6,32	39961	17883

Fonte: Fedepanela, 2012

Existem 6 projetos para produção de etanol em etapa de implantação, que produzirão 1.500.000 l/dia, entre eles cabe destacar o projeto da Bioenergy/Ecopetrol, situado em Puerto Lopez – Meta, a partir de 12.000 hectares de cana-de-açúcar. Houve tentativa de implementar um projeto de pequena escala em Barbosa (Santander) e Frontino com capacidade de 5.000 – 8.000 l/dia, o investimento do Ministério de Agricultura (US\$5.500 milhões) e uma área requerida de 300 ha de cana (MADR, 2010). A inauguração em Barbosa ocorreu em outubro de 2008 e em Frontino em fevereiro de 2009. No entanto, o projeto não avançou como esperado.

Tabela 7: Projetos de Plantas Produtoras de Etanol

Empresa	Região	Capacidade l/dia	Materia Prima	Data Início
Bionergy/Ecopetrol	Puerto López – Meta	300000	cana-de-açúcar	Janeiro de 2013
Maquiltec	Tuta - Boyacá	300000	beterraba	Janeiro de 2014
Agrifuels S.A.	Pivijay - Magdalena	300000	cana-de-açúcar	Janeiro de 2013
Alcohol del Rio Suarez	Barbosa - Santander	300000	“cana panelera”	Janeiro de 2014
AQA S.A.	Valle R. La Vieja - Quindio	150000	cana-de-açúcar	Janeiro de 2014
Engenho Mayaguez (ampliação)	Candelaria - Valle	150000	cana-de-açúcar	Dezembro de 2011
Total		1500000		

Fonte: Fedebiocombustibles, 2012

A Colômbia é um importante ator na indústria sucroalcooleira mundial. Em 2009 ocupou o 2º lugar na exportação mundial do açúcar refinado e apresenta a maior produtividade mundial (118 ton/ha) de cana segundo a FAOSTAT, 2010. A produção de etanol foi iniciada em 2005, e em 2011 foram produzidos 351 milhões de litros (Fedebiocombustibles, 2012b).

A construção do marco legal e institucional para a produção de etanol iniciou-se com a Lei Nº 693 de 2001, emitida pelo Congresso da República. Além das motivações que são comuns a todos os países que optam por empreender um programa de biocombustíveis, como a redução da dependência dos combustíveis fósseis ou a redução das emissões dos gases de efeito estufa, a Colômbia aponta duas justificativas adicionais decorrentes da própria realidade político-

militar: 1) alcançar uma maior ocupação lícita e pacífica do território nacional e 2) maior segurança democrática porque produz uma sistemática debilitação dos cultivos ilícitos (Minminas, 2009).

Guiné-Bissau

As informações sobre o setor canavieiro na Guiné-Bissau aqui veiculadas foram obtidas a partir de um trabalho de pesquisa de campo nesse país, realizado pelo autor em março de 2007. A pesquisa foi realizada no quadro do projeto “*Iniciativa para identificação de oportunidades de cooperação entre Brasil e Guiné-Bissau no domínio da utilização de fontes energéticas de biomassa*”, apoiado no quadro do Programa de Cooperação Temática Brasil/África em Matéria de Ciência e Tecnologia – PROÁFRICA, instituído pelo governo brasileiro através do CNPq/MCT (Edital MCT/CNPq nº 15/2006).

O levantamento de informações deu-se a partir de visita aos locais de produção e contato com os produtores de cachaça (alambiqueiros), único produto derivado cana-de-açúcar na Guiné-Bissau.

O primeiro contato nesse sentido foi estabelecido com o Sr. José Henriques, um senhor, então com 87 anos de idade, cujo pai, Abílio Henriques, implantou a primeira destilaria de cana-de-açúcar na Guiné (então Portuguesa), em 1914, utilizando a variedade *cana caiana*, importada do Brasil. Segundo o Sr. Henriques, a variedade mais difundida atualmente na Guiné-Bissau é uma variedade de origem cubana, que lhe foi entregue em 1959, pelo engenheiro agrônomo Amílcar Lopes Cabral, que viria a ser o líder da revolução que conduziu a independência do país da colonização portuguesa, em 1974.

A FAO estimou em 220 ha a área plantada de cana-de-açúcar na Guiné-Bissau, em 2010, com uma produtividade muito baixa, em torno de 27 toneladas de cana por hectare por ano.

Em seguida foram feitos levantamentos, através de formulários, em 6 propriedades produtoras de cana e/ou destiladoras de cachaça, nos arredores da capital Bissau e nas regiões de Biombo (Centro) e Bafatá (Leste).

O único produto de processamento da cana-de-açúcar na Guiné-Bissau é a *aguardente* (cachaça), que tem uma grande importância nos ritos tradicionais da maioria dos grupos étnicos guineenses. Todas as empresas visitadas trabalham em condições de higiene e segurança de trabalho aquém da recomendável, com equipamentos obsoletos, na sua maioria de fabricação brasileira (moendas). Nenhuma delas possui meios de controle de qualidade do produto, inclusive para a aferição do grau alcoólico da aguardente produzida. Todos os atuais

produtores são herdeiros de segunda ou terceira geração e trabalham seguindo os métodos tradicionais deixados pelos pais e avós. Confessam desconhecer os processos modernos de destilação e estão abertos a parcerias que possam contribuir para a modernização e expansão de suas atividades. Em termos de subprodutos do processamento da cana: vinhaça e bagaço, atualmente todos são destinados ao descarte no meio ambiente ou queimados. Alguns produtores, no entanto, têm ideias do que gostariam de fazer com o bagaço, caso houvesse condições de financiamento e de parcerias com o Brasil, como:

- Gerar energia para suprir as demandas da destilaria e fornecer o excedente para os serviços essenciais da municipalidade: escolas, hospitais, iluminação pública e sede do governo municipal;
- Produzir compensados de madeira; e
- Produzir papéis e absorventes higiênicos.

Todos os produtores entrevistados têm a capacidade de expansão da produção e estão dispostos a estabelecer parcerias para este fim, oferecendo como contrapartida suas instalações agroindustriais e seu potencial de expansão.

Um estudo realizado em 1976 por duas empresas europeias - uma inglesa e outra holandesa - com vistas a determinar o potencial de produção da cana-de-açúcar na Guiné-Bissau identificou, só na região de Bafatá, na localidade de Gambiel, (Leste do País) uma disponibilidade de 6.000 hectares aptos para o cultivo de cana. Na altura foi desenhado um projeto de implantação de uma usina para produção de 60.000 toneladas anuais de açúcar, que seriam exportados para o Médio Oriente. Este projeto acabou sendo abortado com o golpe de Estado ocorrido em 14 de novembro de 1980²⁶.

Na Guiné-Bissau existem disponibilidade, interesse e condições concretas para expandir a área de produção de cana, melhorar a produtividade do seu canavial e diversificar o escopo da produção dos derivados, inclusive com a introdução da produção de álcool combustível em pequena escala, como forma de reduzir a sua dependência em relação aos combustíveis fósseis importados.

²⁶ Evento conhecido na história da Guiné-Bissau como “Movimento Reajustador 14 de Novembro”, em que o general João Bernardo Vieira “Nino”, derrubou o então Presidente Luis Cabral, sob acusação de desvio das linhas mestras traças por Amílcar Cabral, fundador do partido político que conduziu a luta de libertação da Guiné e Cabo Verde, assassinado em 1973.

2.3.1.2 – Experiências no Brasil

Diversas experiências voltadas para a produção de etanol foram realizadas no Brasil, contudo, sem contar com incentivos e políticas públicas direcionadas para este campo. Foram experiências desenvolvidas por alguns “pioneiros”, tanto na fabricação de equipamentos quanto na implantação de sistemas integrados de produção de álcool, alimentos e serviços ambientais. Duas dessas experiências se destacam, pela diversidade do escopo de suas propostas:

a) a desenvolvida pelo geólogo Marcello Guimarães de Mello na Fazenda Jardim, em Mateus Leme, Minas Gerais e b) a Miniusina de Álcool Integrada (MUAI), um projeto conceitual desenvolvido por universidades e centros de pesquisas do estado de São Paulo.

a) Sistema integrado de produção de alimentos e energia (SIPAE)

Segundo Ortega (2008) SIPAE é uma designação genérica de projetos que se propõem ao estudo e produção de álcool em pequena escala, associada à produção de forragens para o gado bovino, biogás, biofertilizante, aproveitamento do vinhoto, uso do bagaço excedente como combustível e outras atividades que poderiam aumentar a lucratividade do empreendimento.

A Fazenda Jardim de Marcello Mello possui uma área total de 300 ha, sendo que 20 ha desse espaço estão ocupados pelo sistema da microusinina de álcool (desenvolvida pelo proprietário) e a plantação da cana-de-açúcar ocupa apenas 2 ha.

“A fazenda tem reserva de vegetação nativa dentro do vale da microusinina (10 ha), plantações diversas como bananal, eucaliptal, horta e pomar (1 ha) e áreas de pastagem para o gado (6 ha). Essa ocupação do espaço contribui para uma maior sustentabilidade, para a preservação da biodiversidade do meio ambiente e para a existência de nascentes” (ORTEGA, 2008).

A figura 24 mostra o fluxograma do sistema integrado de produção de alimentos e energia implantado na Fazenda Jardim. O sistema inclui a produção agrícola de cana-de-açúcar com o aproveitamento de todos os subprodutos, inclusive bagaço, ponteira e vinhoto para alimentação dos bovinos e esterco bovino para a adubação orgânica. Na parte florestal conta com a plantação de eucalipto para fornecer lenha para a alimentação da fôrnelha que produz o calor para o processo.

Análise emergética realizada por Ortega et. al.,(2008) mostra que este sistema possui um índice de renovabilidade de 67% e uma baixa pressão exercida sobre o meio ambiente.

Figura 24: Fluxograma do SIPEA da Fazenda Jardim.

Fonte: ORTEGA, (2008)

b) Miniusina de Álcool Integrada (MUAI)

“O projeto conceitual da MUAI está todo fundamentado em pesquisas desenvolvidas na ESALQ, USP-EESC, EPUSP, IFUSP, IPT, IPAI. Seu conceito de integração agropecuário e industrial permite baixar os custos de produção, reduz riscos de monopólio, cartel ou truste, além de manter a atividade de pequena empresa de iniciativa privada ou em pequena cooperativa, com responsabilidades sociais, econômicas, culturais e ambientais.” (OMETTO et. al, 2007)

A (MUAI) constitui-se em uma agroindústria que produz etanol, energia elétrica e alimentos para 18.000 habitantes. A cana-de-açúcar e sorgo sacarino são os insumos básicos para a produção de 40.000 litros/dia de etanol e 7,13 MW de energia elétrica, além de estender para 10 meses o tempo de operação da MUAI no ano. São colhidas 630 t/d de cana ou sorgo. Na área do sorgo desenvolvem-se, nos oito meses de sua entressafra, atividades agropecuárias e hortifrutícolas. Há, ainda, a criação de gado em semiconfinamento para corte e leite e rotação de culturas. A área total da MUAI (agrícola, pecuária e industrial) é 4360 ha. O conceito básico da MUAI atende a máxima eficiência produtiva com a preservação da qualidade ambiental e social, não queimando o canavial ou o sorgal. A vinhaça, tratada anaerobicamente com os resíduos do gado, é transformada no biofertilizante ideal para a cana e sorgo. A fertirrigação é realizada por gotejamento, minimizando a contaminação do solo e do lençol freático. A MUAI pode se constituir em polo de desenvolvimento econômico, fixando a população e atendendo as exigências ambientais do desenvolvimento sustentado.

Uma proposta semelhante à MUAI, designada de Geração de Energia Renovável Integrada à Produção de Alimentos (GERIPA), é referida por Ometto (2007) no seu *paper* “The benefits of a Brazilian agro-industrial symbiosis system and the - strategies to make it happen”.

2.3.1.3 – Legislações e Incentivos para o etanol no Brasil

A promoção do uso combustível do álcool de cana teve, a princípio, um papel mais significativo como regulador do mercado açucareiro. Algumas experiências foram realizadas pela Estação Experimental de Combustíveis e Minérios (EECM) na década de 1920, com resultados favoráveis, fato que ajudou a sustentar a introdução das misturas em 5% na gasolina importada desde 1931. Posteriormente, em 1933 a partir da fusão da Comissão de Estudos do Álcool Motor (CEAM) e a Comissão de Estudos do Álcool Motor (CEAM) foi criado o Instituto de Açúcar e de Álcool (IAA). Este organismo teve grande importância para a política energética do álcool combustível, além do setor sucroalcooleiro, até depois de instituído o Proálcool. Sua função prioritária era regular e fiscalizar as atividades do setor, atuando também como agente financiador. Ao final da década de 1930 por motivo da II guerra, as misturas foram incrementadas e a indústria de álcool foi determinada de interesse nacional. Já na década de 50 foi concedida uma bonificação para os produtores de álcool anidro e promovida a construção de destilarias autônomas particulares. A década de 1960 inicia a expansão da indústria açucareira, resultado do cancelamento das exportações de açúcar de Cuba aos Estados Unidos. Em 1965 houve uma diminuição nos preços relativos e

absolutos do açúcar. A política antes expansionista do IAA mudou de enfoque e passou a privilegiar a concentração e modernização do setor. Foram assim incorporados: o Plano Nacional de Melhoramento da Cana de Açúcar em 1966, administrado por Planalsucar; o Plano de Racionalização da Indústria Açucareira; o Programa de Apoio à Indústria Açucareira; e finalmente o Programa Nacional de Álcool – Proálcool- em 1975 (Rico; Mercedes; Sauer, 2010)

Entre 1975 e final dos 90 foram aplicados diferentes incentivos tanto para a produção de álcool combustível como para a modernização do setor sucroalcooleiro e o desenvolvimento da indústria automobilística brasileira. Cabe destacar, entre outros, os financiamentos; a fixação de preços e garantia de compra aos produtores de álcool; o sistema de manutenção de estoques; as isenções fiscais; e o subsídio de equalização de custos. Com a emissão da Lei 9.478 de 1997, ou "Lei do Petróleo", marcou-se a liberalização do setor petróleo, gás natural e derivados, no Brasil. O Estado não controlou mais nem a produção, nem a exportação de álcool, mas reteve mecanismos para regular o mercado como, por exemplo, os limites nas misturas. Também em 1997 foi criado o Conselho Interministerial de Açúcar e de Álcool (CIMA), como organismo independente dentro do Ministério de Indústria, Comércio e Tecnologia – MICT – até 1999, quando transferiu sua titularidade ao Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento – MAPA. O Proálcool passara por uma crise ao final dos anos 80 e começos dos 90 devida, em parte, ao acelerado ritmo de crescimento da frota a etanol, ritmo esse não acompanhado pelos investimentos na produção do combustível, mas, também, pelo aumento nos preços do açúcar, fato que foi aproveitado pelos usineiros. Esse período foi superado com a introdução dos veículos flex-fuel em 2003. Desde esse ano e até 2011 o número de veículos flex-fuel licenciados totalizou 13,42 milhões e a participação desses veículos dentro da frota total de veículos leves chegou a 43% (MME, 2011). No final de 2011, a frota de veículos leves estava conformada 50% por veículos flex-fuel, superando a participação que tiveram os veículos a etanol no final dos anos 1980, de 40%.

Considerando alguns fatores que têm incidido sistematicamente na oferta de etanol no Brasil, tais como o crescimento da frota de veículos flex-fuel, os baixos investimentos na produção de etanol, o incremento de preços de etanol no período safra/entressafra, assim como os incrementos nos preços do açúcar, algumas medidas foram tomadas através da sanção da Lei 12490 de 2011. Por meio desta Lei, a ANP passa a regular, autorizar e fiscalizar as atividades relacionadas com a produção, importação, exportação, armazenamento, transporte, transferência, distribuição, revenda e comercialização de biocombustíveis. A Lei adiciona

novos objetivos à Política Energética Nacional, entre eles a garantia de suprimento de biocombustíveis em todo o território brasileiro. A lei altera também o limite mínimo adicionado à gasolina, no entanto a competência para definir a mistura continua com o CIMA (BRASIL, 2011).

Cabe anotar que alguns incentivos são mantidos no setor, por exemplo, a isenção de ICMS (imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços) e CIDE (Contribuição sobre a Intervenção no Domínio Econômico) no álcool anidro e de CIDE no álcool hidratado (Ishihara, 2006). Igualmente os veículos flex-fuel e os movidos exclusivamente a álcool têm um Imposto de Produtos Industrializados (IPI) menor do que os veículos movidos a gasolina. As principais mudanças na legislação são apresentadas na seguinte tabela abaixo.

Tabela 8: Principais mudanças na legislação referente ao álcool

Misturas Compulsórias	
Decreto 19717/1931	Adição de 5% na gasolina importada.
Lei 8.723/1993	Nível de mistura entre 20% - 25%.
Resol. 37/2007 – CIMA	Nível de mistura – 25%.
Lei 12.490/2011	Nível de mistura 18% a 25%.
Resol. 01/2011 – CIMA	Nível de mistura – 20%
Estoques	
Decreto 83.700/1979	Estoques de álcool combustível financiados sobre a base dos preços de paridade
Decreto 238/1991	Instituiu o Sistema Nacional de Estoques de Combustíveis (Sinec).
Ley 9.847/1999.	A ANP fica responsável pelo SINEC.
Ley 12.490/2011	A ANP poderá exigir dos agentes regulados a manutenção de estoques mínimos de combustíveis.
Isenções Fiscais	
Protocolo 1979	Protocolo entre o Governo e a Anfavea e fixa o IPI dos carros movidos a álcool em 5%.
Decreto 6006/2006	Fixa o IPI dos veículos flex-fuel em 11 e 13% em comparação com 13% e 25% dos veículos a gasolina. Dependendo da cilindrada.
Decreto 7017/2009	Retorna aos parâmetros do Decreto de 2006.
Decreto 7567/2011	
Situação Atual	Isenção de ICMS e CIDE no álcool anidro e de CIDE no álcool hidratado.
Subsidio de Equalização de Custos	
Ley 4871/1965.	Divide o país em duas regiões produtoras
Decreto 4.267/2002.	Proposta de operacionalização do subsidio pelo MAPA e a ANP.
Remuneração aos produtores	
Decreto 76.593/1975.	Determina o preço de paridade do álcool baseado sobre a proporção de 44 litros de álcool por 60 kg de açúcar estándar.
Portaria MF 294/1996.	Libera preços do álcool anidro nas destilarias depois de maio de 1997.
Resol.CIMA 15/1999	Suspende a remuneração sobre o álcool hidratado.
Financiamentos	
Decreto 76.593/1975.	Define o financiamento e gastos do Proálcool através do Sistema Bancário Nacional. Dá atribuição ao Conselho Monetário Nacional para definir as condições de financiamento.
Medidas de Política Econômica	
Lei 10453/2002.	Garante subvenções para a estabilidade do setor de álcool combustível.
Decreto 4353/2002.	Regula Lei 10453/2002

Fonte: Rico; Mercedes; Sauer (2010).

2.4 – Índices de sustentabilidade: técnicas ferramentas e metodologias.

A sustentabilidade é um dos temas mais debatidos atualmente, tanto nos meios acadêmico-científicos, quanto nos meios políticos e de tomada de decisões sobre o desenvolvimento. Seu significado tem a ver com o ato ou efeito de sustentar, manter, conservar, resistir, suportar. O tema assumiu uma relevância global desde que a sociedade percebeu que a sua interação com a biosfera na busca de recursos para a satisfação de suas necessidades de subsistência, de conforto e de melhoria incessante de qualidade de vida, resulta na alteração, por vezes irreversível, destes recursos.

Para Giampietro et. al., (2001), os seres humanos têm a capacidade de alterar o ambiente em que vivem, com suas atividades, através do trabalho e da tecnologia, visando aumentar a eficácia dos processos de produção e consumo de bens e serviços na sua sociedade. O processo de auto-organização da sociedade humana, na concepção do autor, pode ser vista como a capacidade de estabilizar uma rede dos fluxos de matéria e energia, definido sobre um determinado domínio do espaço-tempo, representando o que é produzido e o que é consumido no processo econômico. À continuação são descritas algumas metodologias empregadas para obtenção de índices de sustentabilidade de sistemas e produtos. Este trabalho utilizará o método de análise emergética e balanço energético.

Por ser um tema multidimensional, é difícil encontrar um indicador para medir a sustentabilidade que seja consensual. Alguns pesquisadores têm avançado com propostas de indicadores, e dentre eles a de análise emergética formulada por ODUM (1991). A esse respeito, Herenden (1994) observou que nenhum esforço se aproxima do objetivo de medir o custo ambiental total, como a análise de Emergia (Huang e Odum, 1991; Odum e Arding, 1991). Contudo, reconhece que essa abordagem, que quantifica os serviços ambientais em termos de energia solar que criou e dirige a biosfera, necessita ainda de melhorias.

2.4.1 – Balanço Energético e Análise Exergética

O balanço energético para um sistema de produção de biocombustíveis pode ser definido como a diferença entre a energia consumida por unidade de área (*Input/ha*) e a energia produzida por unidade de área (*Output/ha*). (ALMEIDA NETO, 2006).

Para Gazonni et. al. (2009), o balanço energético é o parâmetro mais adequado para definir a viabilidade técnica e a sustentabilidade de um programa de agroenergia, ao estabelecer a relação entre o total de energia contida no biocombustível e demais derivados de uma

determinada matéria-prima e a quantidade de energia investida em todo o processo de produção, incluindo-se as etapas agrícola e industrial.

Segundo Ortega et. al. (2008) a contabilidade de um sistema pode ser feita como balanço de energia e massa, em vez de fazer um balanço de entradas e saídas de dinheiro. Para o autor isso permite duas vantagens: incluir as contribuições da natureza e colocar todos os fluxos na mesma unidade.

Silva et. al. (1978) apontam que a energia despendida na produção de uma planta inclui todas as formas de energias usadas na agricultura e na indústria de processamento, exceto a energia que a planta usa para o seu crescimento.

Para Gazonni,

A energia consumida no sistema de produção de uma cultura não é de fácil determinação, pois depende de muitos fatores. É necessário estimar a energia consumida em todo o processo produtivo, desde a fabricação de máquinas e implementos, a produção de insumos, o plantio, o manejo e a colheita, até o transporte do produto agrícola ao local de processamento. É necessário estimar a energia consumida em todo o processo produtivo, desde a fabricação de máquinas e implementos, a produção de insumos, o plantio, o manejo e a colheita, até o transporte do produto agrícola ao local de processamento.

O consumo de combustível nas operações agrícolas pode apresentar variação em uma mesma operação, pois depende dos fatores clima, topografia, tipo de solo, profundidade de trabalho, tamanho e forma da área de trabalho, habilidade do operador e outros. No Brasil, que é um país de dimensões continentais, é difícil considerar valores exatos de gastos, por isso tomam-se como base valores médios.

Isso torna inevitável o recurso à literatura na maioria das vezes produzida em outros países com realidades ainda mais distintas da do Brasil. Verificou-se este fato, por exemplo, no cálculo do balanço energético do etanol no Brasil, onde SILVA et. al. (1976) usaram os dados relativos à mão-de-obra, consumo de combustível fóssil, fertilizantes, inseticidas e herbicidas elaborados por HEICHEL e PIMENTEL et. al., para produção de milho nos Estados Unidos.

Por outro lado mostra a necessidade de se empreender iniciativas para a realização de projetos sistemáticos de levantamento de dados para estudos de balanços de sistemas agroenergéticos brasileiros, como forma de melhor poder avaliar a sua inserção no processo de planejamento energético.

Para Mora-Bejarano (2009), o balanço energético avalia a eficiência dos processos de conversão de energia, mas não dimensiona a perda de qualidade de energia no processo (uma vez que ele obedece à primeira lei da termodinâmica, que é uma lei de conservação), a análise exergética considera a primeira e segunda lei da termodinâmica.

2.4.2 – Análise Econômico-Financeira

Uma das premissas consideradas para a sustentabilidade de um projeto é a sua rentabilidade financeira. Nesta base, métodos quantitativos convencionais, principalmente ferramentas da matemática financeira, para a avaliação econômico-financeira de um projeto de investimento são fundamentais na busca pela melhor alternativa, frente a um cenário considerado. Segundo Rebelatto (2004)²⁷,

A análise das alternativas de investimento é o estudo dos fluxos de caixa – desembolsos de capital (saídas de caixa) e retornos de investimentos (entradas de caixa) – de um projeto para avaliar a sua viabilidade econômica. A viabilidade econômica de um investimento exige sua recuperação de capital (retorno do investimento) e sua remuneração (retorno sobre o investimento).

Contudo vale ressaltar que os métodos de estudo da viabilidade econômico-financeira que levam em conta as figuras de mérito: *Payback* Simples, Valor Presente Líquido (VPL), Custo Anualizado, Taxa Interna de Retorno e Relação Benefício/Custo, não são suficientes para avaliação da sustentabilidade de um projeto, porque são incapazes de medir as externalidades decorrentes da implantação de projetos.

2.4.3 – Avaliação de Ciclo de Vida

O conceito de ciclo de vida de um produto pode ser entendido intuitivamente. Isso significa que um produto percorre uma trajetória partindo (é seguido) de seu “berço”, onde matérias-primas são extraídas de recursos naturais, passando pelo processo de (através da) produção e uso e terminando no (para o) “túmulo”, a disposição (final) (BAUMANN e TILLEMANN, 2004). A crescente preocupação acerca de um conjunto de questões ambientais como expressa pela opinião pública, órgãos governamentais e indústria é uma das razões para a realização de um estudo de avaliação de ciclo de vida (BAUMANN e TILLEMANN, 2004). Quaisquer que sejam as razões para preocupações ambientais (preservação dos recursos naturais, saúde ou meio ambiente), elas acabam gerando ações, como regulações, adaptações ambientais na indústria, mudanças no estilo de vida... É necessário investigar se essas ações são “ambientalmente amigáveis”. Para isso, são necessárias ferramentas de avaliação assim como rotas estruturadas de pensar o ambiente.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta metodológica padronizada pelas Normas ABNT NBR ISO 14040 e 14044 (2009), usada na avaliação do desempenho

²⁷ REBELATTO, D.A.N. *Projeto de Investimento: Um estudo de caso completo na área de serviços*. Barueri: Manole, 2004.

ambiental de produtos e serviços e que vem sendo aos poucos incorporada por organismos nacionais e internacionais de fomento ao desenvolvimento nos seus processos de tomada de decisão, em busca da sustentabilidade.

Chehebe (2002) atribui às crises do petróleo vividas na década de 1970²⁸ aos primeiros estudos envolvendo a Avaliação do Ciclo de Vida, não obstante reconhecer que anteriormente, na década de 1960, alguns trabalhos foram realizados utilizando similar abordagem, aplicados, sobretudo às comparações do desempenho ambiental de diferentes opções de embalagens.

A ACV enfoca os elementos ambientais e os impactos ambientais potenciais (por exemplo, uso de recursos e as consequências de liberações de rejeitos para o meio ambiente) ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, desde a aquisição das matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final (isto é, do berço ao túmulo). ABNT, 2009.

Para Marzullo (2007), a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida pode ser considerada como a primeira e única metodologia de avaliação ambiental padronizada em abrangência internacional (através das normas da série ISO). Salienta, também, que este método apresenta algumas características básicas que o distinguem de outros, como a possibilidade de condução da análise de “berço a túmulo” e a vinculação dos elementos e impactos a uma “unidade funcional” que quantifica a função ou benefício do sistema, dando-lhe a possibilidade de ser um instrumento comparativo.

A Norma ABNT 14044 aponta a ACV como instrumento que pode oferecer subsídios para:

A identificação de oportunidades para a melhoria do desempenho ambiental de produtos em diversos pontos de seus ciclos de vida;

O nível de informação dos tomadores de decisão na indústria e nas organizações governamentais ou não-governamentais (visando, por exemplo, ao planejamento estratégico.

A definição de prioridades ou ao projeto ou reprojeto de produtos ou processos),

A seleção de indicadores de desempenho ambiental relevantes, incluindo técnicas de medição e o marketing (por exemplo, na implantação de um esquema de rotulagem ambiental, na apresentação de uma reivindicação ambiental ou na elaboração de uma declaração ambiental de produto).

²⁸ Quando em janeiro de 1974 o preço do barril do petróleo bruto aumentou dos US\$ 2,75 para US\$ 10,84 (evento conhecido como primeiro choque do petróleo) a estrutura da oferta e do consumo mundial dos derivados de petróleo ficou seriamente abalada. Cinco anos depois, na transição de 1979/80, o preço do barril do petróleo se posicionara em torno de US\$ 34 (segundo choque do petróleo). SILVA, O.C., 1997

Do ponto de vista metodológico as normas recomendam que um estudo de ACV seja composto de quatro etapas: Definição de Objetivo e Escopo, Análise de Inventário, Avaliação de Impactos e por fim, Interpretação.

2.4.4 – Análise Emergética

Odum (1996) aponta no seu livro “Environmental Accounting – Emergy and Environmental Decision Making” que os recursos disponibilizados pela natureza, como solo fértil, água potável, ar puro, riquezas do sistema ecológico em geral são suportes à vida e à sociedade e permitiram o rápido crescimento do capitalismo. Após mais de dois séculos da expansão da economia em cima dos recursos naturais decrescentes, onde empresas de interesses privados se apropriam de sistemas ecológicos que são a base do bem-estar público, estabelece-se o conflito entre aqueles que defendem a proteção do meio ambiente e aqueles que defendem maior desenvolvimento econômico.

Parte deste conflito é devido à inexistência de uma base comum para contabilizar os recursos da natureza envolvidos na produção dos bens econômicos. Aliás, “o modelo econômico típico não contempla a moldura ou restrições ambientais. Cuida de focalizar tão somente fluxos e variáveis do domínio econômico”. (CAVALCANTI, 2010).

A análise emergética de um produto, serviço ou processo proposto por Odum (1996) implica na medição de todos os recursos renováveis e não renováveis, de origem natural ou produzido pelo homem, utilizados na produção deste produto, serviço ou processo. Por serem recursos de natureza distintos, há que se encontrar uma unidade comum para agregá-los numa soma. Através da análise emergética é possível proceder esta somatória convertendo todos os fluxos que entram no sistema de produção, em “Equivalente em Joules de Energia Solar” (sel).

A análise emergética é feita utilizando uma linguagem simbólica gráfica, desenvolvida por Odum (1996), a partir de símbolos utilizados na eletrônica e sistemas de circuitos analógicos e outros criados pelo próprio autor, conforme a figura 25.

Figura 25: Símbolos Emergéticos
Fonte: Adaptação de Odum (1996)

Através destes símbolos são construídos os diagramas sistêmicos onde aparecem identificadas funções e relações entre os componentes, à trajetória dos fluxos que atravessam o sistema e dentro dele seus limites e componentes internos, como representados na figura 26.

Figura 26: Modelo Diagrama Emergético
Fonte: Agostinho (2005)

Considerando que tanto materiais com serviços podem ter uma fração renovável e outra não renovável, Ortega (2002) propôs identificar e atribuir valor à fração renovável desses itens. Assim a figura 26 sofre uma ligeira modificação, conforme segue na figura 27.

Figura 27: Diagrama Sistemico, considerando as modificações propostas por Ortega (2002)

Para converter esses fluxos diferentes para o mesmo tipo de energia a metodologia de análise emergética usa a Transformidade, um fator de conversão de energia que expressa a quantidade de energia de um tipo que é necessária para produzir uma unidade de outro tipo de energia. Os ecossistemas devem ser analisados energeticamente para calcular a eficiência na

obtenção de seus produtos. A transformidade mede, portanto, a relação da energia incorporada com a energia produzida, ou seja, ($Tr = \text{energia incorporada} / \text{energia produzida}$). Ou seja, quanto maior a transformidade de um recurso mais longe da origem ele estará, pois há muito valor agregado embutido nele.

A metodologia de análise emergética consiste em 3 etapas:

- (1) análise dos fluxos energéticos de entrada e saída do sistema;
- (2) obtenção dos índices emergéticos;
- (3) interpretação dos índices emergéticos.

Na primeira etapa faz-se a identificação dos componentes do sistema, ou seja, o levantamento de todos os dados das entradas e saídas. Esta etapa foi realizada através do trabalho de campo envolvendo o acompanhamento das atividades agrícolas e na agroindústria em Caiçara (Cooperbio) e Santa Cruz do Sul (Cooperfumos). Estes dados são representados em diagramas ecossistêmicos representativos do sistema a ser analisado.

Na segunda etapa são construídas tabelas de avaliação emergética onde são expostos, caracterizados (se recursos renováveis ou não renováveis, material ou serviço etc.) e calculados os fluxos emergéticos totais.

Nota (1)	Contribuições (2)	Valor (3)	Unidades (4)	Transformidade ⁶ (5)	Fluxo de energia (6)
R: Recursos da natureza renováveis					
N: Recursos da natureza não-renováveis					
M: Materiais da economia					
S: Serviços da economia					

Figura 28: Modelo de uma tabela de avaliação emergética

As linhas representam os diferentes tipos de recursos começando com aquelas relacionadas com a contribuição da natureza (I) envolvendo os recursos naturais renováveis (R) e os não-renováveis (N). Em seguida são colocados os recursos da economia (F), que envolvem materiais (M) e serviços (S) desenvolvidos pela ação do homem. Para cada um destes recursos são introduzidos um valor e a unidade em que esse valor é expresso, a sua transformidade e por fim o cálculo da sua contribuição em fluxo de energia (Y), coluna (6), multiplicando-se o valor introduzido pela sua transformidade (coluna 3 pela coluna 5).

Na terceira etapa calculam-se os índices emergéticos a partir dos indicadores agregados obtidos anteriormente através da tabela de avaliação de fluxos de energia. Os índices são os seguintes de acordo com Agostinho (2005) *apud* Cavallet (2004):

(a) **Transformidade (Tr):** avalia a qualidade do fluxo de energia e permite fazer comparações com outras formas de energia de outros sistemas, além de ser uma medida da posição do produto em termos de hierarquia energética. A transformidade solar do recurso gerado por um sistema é obtida dividindo-se a energia que o sistema incorporou ao produto final (Y) pela energia produzida pelo sistema (E_p), ou seja, $Tr=Y/E_p$. Sua unidade é expressa em energia por unidade de energia, massa ou dinheiro, usualmente sej/J, sej/kg ou sej/US\$.

(b) **Renovabilidade Emergética (%R):** é utilizada para avaliar a sustentabilidade dos sistemas de produção. O índice de renovabilidade é expresso em porcentagem e é definido como a razão entre a energia dos recursos naturais renováveis empregados (R) e a energia total utilizada pelo sistema (Y), ou seja, $\%R=R/Y$. Considerando as modificações introduzidas por Ortega (2002) este índice foi calculado neste trabalho usando a formula: $\%R = (R+M_R+S_R)/Y$.

(c) **Razão de Rendimento Emergético (EYR):** é uma medida da incorporação de energia da natureza e é expresso como a relação do total de energia investida (Y) por unidade de retorno econômico (F), ou seja, $EYR=Y/F$. Indica quanta energia da natureza (gratuita) o processo retorna ao setor econômico.

(d) **Razão de Investimento Emergético (EIR):** mede o investimento da sociedade para produzir determinado bem em relação à contribuição da natureza. O EIR é obtido através da divisão dos recursos da economia (F) pelos recursos provenientes da natureza (I), ou seja, $EIR=F/I$. Pode ser interpretado como um índice de competitividade que varia com o lugar e o tempo.

e) **Razão de Carga ambiental (ELR)=(F+N)/R):** é a relação entre a soma da energia comprada com a energia não renovável (F+N) pela energia dos recursos renováveis (R). Se esta relação tem um valor elevado, isto sugere um nível tecnológico alto em termos de uso emergético, bem como um alto nível de impacto ambiental. Com a adoção das modificações de Ortega (2002), $ELR = (N+M_N+S_N)/(R+M_R+S_R)$.

De acordo com Agostinho (2005), os índices permitem-nos comparar diferentes sistemas analisados e fazer alguns julgamentos. Os índices avaliam a sustentabilidade do sistema, verificando qual a dependência de insumos da economia, serviços, recursos naturais

renováveis e não renováveis. Através dos índices pode-se analisar se a sobrevivência do sistema está relacionada à utilização excessiva de recursos não renováveis ou se está baseada na utilização racional de recursos da natureza, garantindo maior sustentabilidade.

3–Avaliação das experiências da Produção de Etanol e Alimento no Rio Grande do Sul

3.1 – COOPERBIO – Suas Origens e Objetivos

A Cooperativa Mista de Produção, Industrialização e Comercialização de Biocombustíveis do Brasil, Ltda. (COOPERBIO) foi fundada em 2005, no município gaúcho de Palmeira das Missões. “Seu surgimento partiu da necessidade concreta da sua base social organizada pelo Movimento dos Pequenos Agricultores – MPA, com o intuito de buscar a organização da produção das famílias camponesas” (OLIVEIRA, 2010).

Sua área geográfica de atuação abrange 63 municípios localizados na região Noroeste do Rio Grande do Sul, divisa com o estado de Santa Catarina (separados pelo Rio Uruguai) e sua estrutura agrária é formada predominantemente por pequenos e médios agricultores com propriedades de até 50 hectares, perfazendo 95% dos mais de 57.000 propriedades no total. De acordo com Oliveira (2010), esta região é historicamente marcada pelas lutas camponesas que remontam à resistência dos indígenas à invasão portuguesa e espanhola do início da colonização europeia, ao nascimento de movimentos sociais, dentre as quais o Movimento dos Trabalhadores Sem Terra (MST) e o Movimento dos Pequenos Agricultores (MPA).

A Cooperbio tem seu objetivo focado na congregação de seus associados, pequenos e médios produtores para produzir matérias-primas, armazenar, industrializar e comercializar biocombustíveis, e estabeleceu como alguns dos seus objetivos estratégicos:

- a) conjugar a produção de alimento e energia visando à soberania e a segurança energética das comunidades e da sociedade como um todo;
- b) diversificar a matriz produtiva incorporando métodos de integração entre as atividades florestais, agrícola e pecuária;
- c) desenvolver sistemas de manejo dos recursos naturais visando à conservação e manutenção da biodiversidade, da água e do solo como recursos estratégicos para construção de um novo modelo de produção com base na agricultura ecológica;
- d) desenvolvimento de programa de mecanização de pequeno porte, com o intuito de potencializar a mão-de-obra familiar e garantir o incremento na renda das famílias; entre outras.

3.1.1 - Alimergia - uma proposta que integra a produção de Alimento, Energia e Serviços Ambientais.

O MPA defende o conceito de Sistemas Camponeses de Produção (SCP), como alternativa ao conceito de Cadeia Produtiva. Para o MPA, “implícito na cadeia produtiva está, a organização da produção de forma integrada ao mercado, emprego de insumos energéticos e materiais externos petrodependentes e deterioração ambiental”. (ICPJ, 2008).

De acordo com Oliveira, 2010, o Sistema Camponês de Produção busca a integração justa e ecológica da produção de alimentos, energia, serviços ecossistêmicos e a ocupação do território. A esse novo conceito o MPA denominou Alimergia.

“A Alimergia visa à soberania alimentar e energética das comunidades e dos povos de maneira integrada e harmônica com os ecossistemas locais. No entanto, isso só será possível através de sistemas agrícolas de base ecológica, de modo especial a agroecologia, o que implica em sistemas complexos de policultivos”. (ICPJ, 2008).

A Alimergia, no entender do MPA, não se trata apenas de um novo conceito procurando unir em um processo integrado, alimento, meio ambiente e energia. É um novo paradigma necessário para responder aos desafios e as exigências objetivas que o equilíbrio entre a atividade humana e a biosfera impõe.

3.2 – Projeto COOPERBIO/PETROBRAS – MOTIVAÇÃO E ESCOPO

O envolvimento da Petrobras no segmento de biocombustíveis já ocorre há algumas décadas, com sua atuação expressiva no Programa Nacional do Álcool (Proálcool). A participação da Petrobras foi decisiva para viabilizar o Proálcool, desde o seu lançamento na década de 70, até hoje. A companhia participou com logística, comercialização, tecnologia e capital. Na produção, teve uma rápida participação com a usina de álcool de Curvelo, em Minas Gerais. Utilizava mandioca como matéria-prima, mas a experiência durou pouca (PETROBRAS, 2008).

Dentre suas prioridades estratégicas para o aumento da produção de bcombustíveis no Brasil, a Petrobras privilegia a parceria com agricultores familiares, para a produção agrícola da matéria-prima, em diferentes regiões do país. Como exemplo, em 2006 aprovou a contratação de três unidades industriais para a produção de biodiesel, cada uma com a capacidade de 50.000 toneladas/ano, em Quixadá (CE), Montes Claros (MG) e Candeias (BA). Estas usinas entraram em funcionamento em julho de 2008.

“São usinas que, instaladas no semi-árido, potencializam a esperança de trabalho e renda para milhares de agricultores. Além de serem novos e importantes ativos para a Petrobras, estes empreendimentos têm um significado especial. Representam a entrada da companhia na produção comercial de biodiesel, uma atividade que traz oportunidades de ganhos econômicos, além dos benefícios sócio-ambientais inerentes ao negócio. Estas usinas também demonstram a importância dada pela Petrobras - uma empresa de energia com excelência na produção de petróleo e gás natural - para a construção de uma matriz energética diversificada e limpa. E, buscando a obtenção do Selo Combustível Social, a companhia reforça a sua disposição - e solidariedade - para incentivar o fortalecimento da agricultura familiar, um grande parceiro sem o qual o próspero negócio se tornará refém da agricultura intensiva e sujeito à volatilidade de seus preços. A produção da agricultura familiar vem justamente minimizar esse efeito perverso na produção do biodiesel. Ou seja, dependemos da agricultura familiar para prosperar nessa nova empreitada²⁹”.

Outra ação neste sentido foi à assinatura de um protocolo de intenções com a Cooperbio, em 2006, para a realização de estudos de viabilidade para a implantação de uma unidade industrial de produção de biodiesel no Rio Grande do Sul.

Foi também neste contexto que a Petrobras e a Cooperbio assinaram, em outubro de 2006, o contrato para a implantação do “Projeto de Validação Tecnológica de Produção de Álcool a partir da Agricultura Camponesa”, foco deste trabalho.

A Petrobras assumiu, entre outras obrigações, o aporte de recursos financeiros para a realização do projeto e a Cooperbio a execução dos serviços de consultoria para o desenvolvimento do projeto de validação tecnológica de produção de biocombustíveis pela agricultura familiar, de forma cooperativada e integrada com a produção de alimentos.

Constam do escopo do projeto os seguintes pontos:

(...) analisar a viabilidade de diferentes modelos integrados de produção de biocombustíveis e alimentos. Estes modelos envolvem novos processos tecnológicos e organizacionais, com foco na descentralização da produção e criação de oportunidades para a agricultura familiar. Considerando este escopo e o trabalho dos coexecutores, os serviços que seriam prestados, no âmbito do projeto, seriam os seguintes:

- a. Avaliar a produção de álcool a partir de diferentes tecnologias e cultivos;
- b. Criar um novo sistema logístico na cadeia produtiva de álcool;
- c. Quantificar balanço de massa e de energia nos modelos de produção propostos;
- d. Avaliar a eficiência econômica do processo de produção descentralizada de álcool;
- e. Aplicar e desenvolver conhecimentos agronômicos capazes de sustentar um programa de produção de álcool e alimentos;
- f. Avaliar capacidade de geração de renda e emprego no campo, dentro dos modelos de produção propostos e;
- g. Publicar os dados resultantes do projeto e disseminar o conhecimento nos diversos meios de comunicação social. (PETROBRAS, 2006).

²⁹ Texto de apresentação do Relatório “Histórico das Ações em Biocombustíveis Desenvolvidas na Área de Gás e Energia – Janeiro de 2003 a Julho de 2008. Petrobras, 2008.

O projeto consiste na implantação de dez microdestilarias, sendo nove com capacidade unitária de 500 l/dia de etanol semi-acabado (fora das especificações da ANP³⁰), nos municípios de Caiçara, Cristal do Sul, Erval Seco, Iraí, Pinheirinho do Vale, Redentora, Seberi, Taquaruçu do Sul e Vista Alegre e uma Unidade Central Retificadora (UCR) com a capacidade nominal de 5000 l/dia de “álcool Etilico hidratado combustível” (de acordo com as especificações da ANP), no município de Frederico Westphalen (figura 23).

O etanol semi-acabado produzido nos 9 municípios seria encaminhado para a UCR em Frederico Westphalen, onde então receberiam adequações para ser comercializado de acordo com as exigências das especificações técnicas.

Este arranjo partiu do pressuposto de que as microdestilarias, devido às simplificações tecnológicas que lhes são inerentes, não teriam condições técnicas de produzir etanol dentro das normas estabelecidas pela ANP. E, à semelhança do que ocorre com outros produtos da região, nomeadamente o leite, que é transportado das fazendas produtoras para os centros de beneficiamento, o álcool inacabado produzido nas comunidades (deixando ali o bagaço para alimentação animal) seria transportado para a UCR para ser beneficiado (retificado).

Adicionalmente, o projeto previa a implantação de uma unidade piloto para amiláceos, junto à unidade central, com capacidade de 1200 l/dia de sacarificação e fermentação.

A figura 29 representa esquematicamente o arranjo proposta para a produção do etanol em microdestilarias nos nove municípios e seu envio à Frederico Westphalen para ser retificado.

“O arranjo produtivo desenvolvido tem o caráter de uma rede de agroindústrias descentralizadas, interligadas e geridas coletivamente, fortalecendo os sujeitos locais e sua apropriação tecnológica, econômica e social. As razões da descentralização da produção têm por base além dos aspectos sociais, critérios técnicos e ambientais, são, a saber: i) diminuir o transporte de cana-de-açúcar e os custos de produção; ii) diminuir a concentração e o fluxo de massa na indústria; iii) transformar o bagaço e vinhoto resultante do processamento em fertilizantes orgânicos, rações e blocos alimentares; iv) diminuir os impactos ambientais do processo de produção de álcool combustíveis; v) gerar uso produtivo da energia combinado a produção de alimentos nas comunidades locais; e vi) diminuir a emissão de gases poluentes a atmosfera.” (OLIVEIRA, 2010)

³⁰ Agência Nacional do Petróleo, Gas Natural e Biocombustíveis “Autarquia federal, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, a ANP é responsável pela execução da política nacional para o setor energético do petróleo, gás natural e biocombustíveis, de acordo com a Lei do Petróleo ([Lei nº 9.478/1997](http://www.anp.gov.br/?pg=57397&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1327692634734))”. <http://www.anp.gov.br/?pg=57397&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1327692634734>

Figura 29: Esquema representativo do Projeto Cooperbio.

Fonte: Cooperbio

Previu-se o envolvimento de cerca de 150 famílias no projeto, como um todo, cada uma delas destinando até dois hectares para a produção de cana-de-açúcar. Cada unidade produtora seria constituída por uma microdestiladora e um grupo de agricultores familiares responsáveis pelo fornecimento de cana para a microdestiladora. O álcool semi-acabado produzido pelas microdestiladoras seria encaminhado para a destiladora retificadora. Nesta unidade o produto passaria por um processo de adequação da qualidade, de onde sairia para comercialização dentro dos padrões exigidos pela agência reguladora.

As tecnologias utilizadas foram concebidas por pesquisadores e empresas brasileiras com larga experiência na produção de aguardentes e etanol combustível, em pequena escala:

- Prof. Marcelo Guimarães Mello: processo em batelada (grau de pureza 94°GL) – 8 unidades
- Prof. Jack Eliseu Crispim: processo contínuo (grau de pureza 92°GL) – 1 unidade
- Limana Polisserviços: processo contínuo (grau de pureza 96°GL) – 1 unidade retificadora central.

Para a execução do projeto e “validação tecnológica” da proposta, a Cooperbio estabeleceu parcerias com a Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e Missões (URI),

localizada em Frederico Westphalen, e a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria/RS.

Ficou definida como papel para a URI, a sistematização de conhecimentos gerados na organização cooperativada e na produção integrada de alimento e biocombustíveis, além da assessoria na área de gestão empresarial e análise de custos.

A UFSM ficou responsável pela sistematização de conhecimentos gerados no processo de agroindustrialização, pesquisas e desenvolvimento na área de culturas energéticas, produção de energia, avaliação, adaptação e validação de processos mecânicos e bioquímicos de produção de biocombustíveis, tendo como base, diferentes matérias-primas (cana-de-açúcar, mandioca, batata-doce, abóbora e florestas energéticas).

O contrato, com duração de 12 meses, foi assinado em outubro de 2006, como o início de funcionamento das microdestilarias e da unidade central retificadora previsto para Julho de 2007.

A Petrobras Distribuidora tem a prioridade contratual na compra do etanol produzido pelas famílias envolvidas no projeto.

Os agricultores seriam responsáveis pela operação das microdestilarias, em modelo de comodato com a Cooperbio. Uma das exigências básicas é a diversificação da produção, integrando a produção de cana de açúcar com a produção de leite, feijão, outras possíveis leguminosas, como por exemplo, o amendoim, com vistas ao consumo próprio e ao atendimento a outros mercados.

O projeto previu também o plantio, a partir de julho/07, de 70 ha de florestas energéticas (máximo de um hectare por família) para uso como combustível nas microdestilarias e para suprir as demandas energéticas domésticas dos próprios agricultores. Seriam utilizadas para este fim espécies florestais de crescimento rápido, adaptadas às condições climáticas locais como o eucalipto, a acácia, a bracatinga e a cana fístula, sendo os três últimos de ocorrência endêmica na região.

3.3 – IMPLANTAÇÃO DO PROJETO E AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL

Para o cumprimento de suas tarefas no projeto, a UFSM estabeleceu as seguintes metas:

- 1 – Avaliar a produção de biomassa da cana-de-açúcar
- 2 – Avaliar a produção primária de etanol a partir da cana-de-açúcar
- 3 – Avaliar a produção primária de etanol a partir da Mandioca

- 4 – Avaliar a produção de etanol na coluna de retificação
- 5 – Avaliar a logística empregada para a produção primária de etanol a partir da cana-de-açúcar
- 6 – Avaliação do custo de produção do etanol empregando diferentes matérias-primas
- 7 – Instalação de unidade piloto para a produção de etanol a partir de matérias primas amiláceas, tais como mandioca e batata.

No relatório final do projeto emitido em março de 2010, a UFSM informa que o cronograma de atividades propostas foi alterado, devido ao atraso da liberação dos recursos e da instalação das unidades de produção do etanol. Como consequência, algumas unidades deixaram de ser instaladas e não foi possível avaliar a produção primária de etanol a partir da mandioca, conforme proposta na meta 3, devido à falta de matéria prima e da unidade de produção de etanol a partir de amiláceos.

Foram necessárias, então, alterações nas metas e atividades do projeto, em função dos recursos financeiros disponíveis e dos próprios resultados de avaliação da viabilidade de produção de etanol. Portanto os resultados apurados e discutidos não contemplam exatamente as metas e as atividades inicialmente previstas.

A primeira unidade instalada e testada foi a de Redentora, instalada em maio de 2007, na Linha³¹ Soledade, que usa uma microdestilaria do modelo Marcello Guimarães Mello. A segunda unidade foi instalada também em maio de 2007, em Vista Alegre, na localidade de São Judas (também modelo Marcello Guimarães Mello). A terceira foi instalada na Linha Bonita em Seberi, em novembro de 2007 (modelo Jack Eliseu Crispim).

A Unidade retificadora, fabricada pela Limana Poliserviços foi instalada em meados de 2009 em Frederico Westphalen, com capacidade de 5 mil litros por dia, sendo 2,5 mil litros de álcool retificado.

3.3.1 – Resultados da Avaliação da Produção de Etanol

3.3.1.1 – Produção de Biomassa de Cana-de-açúcar

“Para atender aos objetivos do projeto foi somente avaliada a qualidade da cana-de-açúcar para a fermentação alcoólica, sem nenhum acompanhamento do manejo e dos tratamentos culturais realizados pelos produtores durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento das plantas.” (UFSM, 2010).

³¹ Termo usado na região com o mesmo significado que comunidade.

“As amostras de cana-de-açúcar avaliadas, representativas da matéria prima disponível na região, são assim descritas: **Amostra 1:** A cultivar era a RB7654418, plantada em 23/09/2005 na localidade de Linha Bonita, Seberi, RS, com corte de dois anos. **Amostra 2:** A cultivar era a RB7654418, plantada em setembro de 2006 na localidade de Linha Bonita, Seberi, RS, com corte de ano ou primeiro corte. **Amostra 3:** A cultivar era a RB7654418, plantada em setembro de 2006 na localidade de Linha São Judas, Vista Alegre, RS, com corte de ano ou primeiro corte.” (UFSM, 2010)

A tabela 9 apresenta as características das 3 amostras de cana-de-açúcar analisadas.

Tabela 9: Características das três amostras de cana-de-açúcar da variedade RB7654418 coletadas nos municípios de Seberi e Vista Alegre, RS.

Caracteres avaliados	Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3	
Comprimento do colmo		1,85		1,73		2,61
	Base	2,09	Base	2,39	Base	2,29
Circunferência do colmo	Ponta	2,24	Ponta	2,37	Ponta	2,45
Índice de maturação		1,08		1,09		1,15
Brix sacarimétrico %		18,53		18,0		17,78
Umidade % bagaço		47,29		43,26		41,26
Massa seca % bagaço		52,71		56,74		58,74
Fibra % cana		13,50		8,68		14,94
AR ¹ no caldo %		0,75		2,24		1,64
ART ² no caldo %		18,05		17,02		16,91
Pol no caldo		17,30		14,78		15,27
Pol na cana		14,27		13,25		12,28
AR % da cana		0,62		2,00		1,32
Pureza do caldo %		93,36		82,11		85,88
ATR ³ na cana		137,64 kg/ton		140,00 kg/ton		125,36 kg/ton

¹AR=açúcares redutores; ²ART=açúcares redutores totais; ³ATR=açúcares totais recuperáveis.

Fonte: UFSM, 2010

Estes resultados indicam uma baixa qualidade de cana-de-açúcar, motivado, sobretudo pelo fato da colheita ter sido fora do período de industrialização, onde a cana apresenta teores de sacarose na faixa de 13 a 16%, considerada ideal para o processamento. O índice de maturação superior a 1,0 significa que está ocorrendo o desdobramento da sacarose em açúcares de cadeias menores, portanto a perda de qualidade.

3.3.1.2 – Produção de Etanol a partir da Cana-de-açúcar

“As microdestilarias são uma simplificação tecnológica das unidades comerciais visando às facilidades operacionais e o baixo custo de investimento, cujo resultado é uma unidade industrial que pode ser compatível, em razão de sua escala de produção, com as necessidades de combustíveis para propriedades agrícolas, cooperativas, comunidades isoladas, etc.” (UFSM, 2010).

Neste sentido, as microdestilarias usadas no projeto também contemplam as etapas de Colheita, Transporte, Recepção e Extração do caldo, Fermentação, Destilação e Utilidades. A tabela 10 resume as fases de produção de etanol avaliadas e suas principais características.

Tabela 10: Fases testadas da produção do etanol e suas características

FASES	CARACTERÍSTICAS
Colheita	Corte manual a facão com rendimento estimado de 3 toneladas por trabalhador por jornada de 8 horas
Transporte	À carreta tracionada por trator, com capacidade de 1,3 toneladas
Extração do caldo	Moenda móvel acionada por trator na própria lavoura e também junto a destilaria
Fermentação	Dornas de polipropileno, contendo pé-de-cuba de fermentações anteriores, sem sistema de controle de temperatura e sem complementação de nutrientes que permitam aumentar a eficiência do processo. O caldo é diluído a 16° Brix e o processo estende-se por um período de 24 horas.
Destilação	Sistemas de destilação simplificados sem dispositivos de separação de produtos secundários como alcoóis superiores, ésteres, aldeídos, etc. Os diferentes modelos de equipamentos de destilação serão avaliados em seguida.

Fonte: Elaborado pelo autor – baseado na UFSM, 2010

Os sistemas de geração de calor de processo, de circulação de água e eletricidade são utilidades que não estão diretamente envolvidos no processo produtivo, mas indispensáveis para o funcionamento da unidade. A geração de calor pode ser através de caldeira de fluido térmico (caso da primeira destilaria modelo Marcelo Guimarães instalada em Vista Alegre), ou caldeira a vapor, como na maioria das unidades. A água é usada na produção do vapor, na diluição do caldo e na limpeza dos equipamentos. A eletricidade é usada para a movimentação dos motores e na iluminação.

3.3.1.3 – Avaliação dos Modelos de Microdestilarias

Dos 3 modelos de microdestilarias inicialmente contemplados no projeto (Marcello Guimarães Mello, Jack Eliseu Crispim e Limana Polisserviços), somou-se um quarto modelo produzido por Orci Ribeiro.

De acordo com os relatórios de UFSM (2008 e 2010) as primeiras duas unidades instaladas e testadas em maio de 2007 foram concebidos por Marcello Guimarães e têm a capacidade aproximada de 15 litros/hora. O primeiro, um protótipo fabricado pela GeralCoop, foi

instalado no município de Redentora, Linha Soledade e a segunda unidade, fabricada pelo Grupo Fockink, foi instalada no município de Vista Alegre, localidade de São Judas.

A terceira unidade, modelo Jack Crispim, instalada no município de Seberi, Linha Bonita, em novembro de 2007 tem capacidade de 25 litros/hora. Uma unidade semelhante a este veio a substituir posteriormente ao instalado em Vista alegre, por aquele ter apresentado problemas operacionais.

Em Caiçara, Linha Dalmolim, foi instalada em meados de 2008 e testada em novembro de 2009, uma unidade do modelo Orci Ribeiro, com capacidade de aproximadamente 500 litros/dia e que permanece em funcionamento até o presente momento.

A unidade retificadora com capacidade de 5 mil litros/dia, construída pela Limana Poliserviços foi instalada em meados de 2009 e os testes foram realizados em setembro deste mesmo ano.

Crítérios Utilizados na Avaliação

Na avaliação da produção de etanol pelos diferentes modelos de microdestilarias, foram escolhidos seis parâmetros, considerando as incertezas quanto à eficiência dos equipamentos no que concerne ao rendimento e a qualidade do etanol produzido, e as condições de operacionalidade. A tabela 11 apresenta de forma resumida, os parâmetros utilizados e seus escopos.

O parâmetro *Produtividade Industrial* engloba todos os rendimentos envolvidos na cadeia produtiva do etanol, por isso é o parâmetro usado na validação da produção industrial.

Para a UFSM, 2008, as análises e cálculos efetuados têm por objetivo final fornecer indicadores de desempenho que mostrem qual produção de álcool combustível é possível a partir de uma tonelada de cana-de-açúcar processada na microdestilaria, para que sejam planejadas as ações e procedimentos que visem melhorar o processo de produção de álcool em pequena escala.

Tabela 11: Parâmetros utilizados na avaliação das microdestilarias

	Parâmetro	Expressão	Escopo
1	Operacionalidade		Análise qualitativa da funcionalidade dos equipamentos
2	Rendimento da Destilação (η_{dest})	$\eta_{dest} \cdot \eta_{ext} \cdot \eta_{conc}$	Resulta da multiplicação do rendimento da extração (η_{ext}) pelo rendimento da concentração (η_{conc})
3	Rendimento da Extração de etanol (η_{ext})	$\eta_{ext} = V_{álcooldest} / V_{álcoolvinho}$	Relação entre a quantidade de produto final obtida na saída da coluna ($V_{álcooldest}$) e a quantidade do produto existente no vinho ($V_{álcoolvinho}$).
4	Rendimento da Concentração de etanol (η_{conc})	$\eta_{conc} = GL_{dest} / GL_{Max}$ $GL_{Max} = 97,14^\circ$	Graduação máxima de etanol que pode ser obtida, usando como referência a concentração da mistura azeotrópica.
5	Fator Energético (FE)	$FE = \sum_{out} / \sum_{in}$	Expressa a relação entre a energia disponibilizada pelo combustível produzido ($\sum_{out}$) e a energia consumida no processo produtivo ($\sum_{in}$).
6	Produtividade Industrial (P)	$P = 6,4 \text{ ART\%cana} \cdot \eta_{ind}/0,96$ $\eta_{ind} = \eta_m \cdot \eta_{ferm} \cdot \eta_{dest}$	Engloba todos os rendimentos do processo: moagem (η_m), fermentação (η_{ferm}) e destilação (η_{dest}).

Fonte: UFSM, 2008 – Elaborado pelo Autor.

- **Descrição dos Equipamentos e Operação**

a) Modelo Marcello Guimarães

Os dados construtivos e operacionais da destilaria modelo Marcello Guimarães não foram disponibilizados pelo fabricante segundo o relatório da UFSM, 2010.

Segundo Oliveira, 2010 trata-se de um sistema simples, com capacidade nominal de 400 litros/dia, de fácil operação por ser muito semelhante aos sistemas de produção de aguardente, amplamente conhecida pelos agricultores.

b) Destilador Modelo Jack Crispim

O destilador projetado por Jack Crispim é constituído de três colunas, cada uma delas equipada com um condensador no topo, e um condensador/resfriador instalado à saída do produto final. A primeira coluna tem a função de esgotar o álcool contido no vinho (destilação) e as duas outras funcionam como retificadoras dos vapores alcoólicos. A figura 30 mostra o fluxograma do destilador Jack Crispim.

A geração de vapor é feita numa caldeira flambotubular vertical, usando lenha como combustível. A água é alimentada por uma bomba cujo acionamento pode ser manual ou automático, na medida em que possui um sensor de nível de água.

A operação começa quando a pressão na caldeira atinge aproximadamente $1,5 \text{ kgf/cm}^2$, que é a pressão de trabalho da coluna de destilação. O vapor é injetado na coluna de destilação e circula pelas outras duas até todas ficarem aquecidas. Em seguida o vinho é alimentado da

base ao topo da coluna de destilação onde encontra o primeiro condensador. O topo da coluna de destilação é ligado à base da primeira coluna de retificação, de onde o destilado sobe até ao topo, passando pelo segundo condensador. O topo da primeira coluna de retificação se liga à base da segunda coluna de retificação por onde o destilado segue o percurso passando pelo terceiro condensador no topo desta, para finalmente chegar ao condensador/resfriador, de onde é direcionado para o recipiente coletor.

É importante ressaltar que este equipamento é adaptado para produzir tanto o álcool quanto a cachaça. Para a produção da cachaça, basta direcionar o destilado diretamente da coluna de destilação para o condensador/resfriador, sem passar pelas colunas de retificação.

Figura 30: Fluxograma da Destilaria Modelo Jack Crispim
Fonte: UFSM, 2008

c) Destilador Modelo Orci Ribeiro

O destilador modelo Orci Ribeiro é constituído de duas colunas (uma de destilação e a segunda de retificação), um trocador de calor para o pré-aquecimento do vinho, três condensadores e um condensador/resfriador de etanol.

O vapor à pressão de aproximadamente $1,5 \text{ kgf/cm}^2$ é admitido na base das duas colunas até o aquecimento das mesmas. Em seguida o vinho é alimentado a partir do pré-aquecedor e entra

na coluna de destilação por um ponto intermediário. O produto da base da coluna desce para o pré-aquecedor, de onde é eliminado como vinhoto e o de topo alimenta a coluna de retificação, também num ponto intermediário. Novamente o produto da base desta coluna de retificação é escoado para o pré-aquecedor e o produto do topo alimenta sucessivamente os três condensadores. O condensado pode ser bombeado de volta a coluna de retificação, constituindo a corrente de refluxo do sistema, ou direcionado para o condensador/resfriador, de onde é retirado como produto final.

O equipamento, mostrado na figura 31, comporta adicionalmente um sistema de refrigeração utilizando água num circuito fechado, acionado por uma bomba, circulando entre uma torre de refrigeração e os condensadores.

Figura 31: Fluxograma da destilaria modelo Orci Ribeiro

d) Destilador Modelo Limana Poliserviços

O destilador modelo Limana Poliserviços instalado em Frederico Westphalen é a unidade central retificadora projetada para produzir 5.000 litros/dia de etanol, dentro das normas ANP (93,2º INPM). Prevê-se que 60% desta capacidade serão destinadas a retificação de etanol produzido nas microdestilarias que fazem parte do projeto e 40%, à produção do álcool a partir da cana moída no próprio local, de acordo com a Cooperbio.

O sistema de extração é constituído por moinho de facas (picador) e uma moenda de dois ternos com um mecanismo de embebição entre eles, acoplado a uma correia transportadora do bagaço para a alimentação da caldeira, uma vez que esta é projetada para queimar tanto o bagaço como a lenha.

Na parte da fermentação, conta com cinco dornas de fermentação, uma de diluição e uma volante para armazenar o vinho pronto para a destilação.

O sistema de destilação apresenta duas colunas conjugadas, aquecidas com o vapor da caldeira. A entrada do vinho se dá pelo topo da primeira coluna que, durante o fluxo descendente, aquece gerando vapor hidroalcoólico que sobe ao topo da torre, segundo Oliveira, 2010.

Faz parte do conjunto, duas torres de arrefecimento instaladas em série, cujas tubulações encontram-se instaladas “... de forma não adequada e que, de alguma forma afetam negativamente a praticidade do processo e a apresentação geral da unidade.” (UFSM, 2010).

- **Resultado de Avaliação dos Modelos**

- a) **Balanço de Massa**

A figura 32 apresenta um fluxograma de processos de produção de etanol, com as respectivas entradas e saídas de materiais (produtos e subprodutos).

A cana-de-açúcar, contendo na sua composição uma parte sólida e outra líquida, após a moagem é desintegrada na parte sólida (bagaço) e na parte líquida (caldo). O caldo é formado por água e açúcares totais (ART), enquanto que o bagaço é predominantemente fibra, mas preservando certa quantidade de umidade, dependendo da eficiência da extração.

O caldo segue para a fermentação, onde, com auxílio de fermento e a água de diluição, os açúcares são convertidos em vinho (uma mistura hidroalcoólica de baixa concentração), tendo como consequência desta reação, a liberação do CO₂. O vinho segue para a destilação, a última etapa do processo, cujo objetivo é separar o álcool da água, até uma concentração desejada.

Figura 32: Fluxograma de processos de produção de etanol com entradas e saídas de produtos e subprodutos.
Fonte: UFSM, 2010 – Adaptado pelo Autor.

Na Tabela 12, as entradas e saídas estão quantificadas a partir dos testes realizados pela UFSM, com os modelos Marcello Guimarães, Jack Crispim e Orci Ribeiro em Vista alegre, e o modelo Jack Crispim em Seberi.

Tabela 12: Resultado de avaliação dos três modelos de microdestilarias

Municípios =>		Vista Alegre			Seberi
Modelos =>		Marcello G.	Jack Crispim	Orci Ribeiro	Jack Crispim
	Un.				
Cana-de-açúcar	kg	1000	1000	1000	1000
Teor de água	L	698,4	728,6	728,6	732,7
Bagaço	kg	149,4	110,7	110,7	97,3
ART	kg	127	152	152	157
Outros	kg	25,23	8,7	8,7	13,02
Moagem					
1. Caldo	L	610,99	550	550	680
Água	L	548,43	473,6	473,6	581,1
ART	kg	93,11	103,9	104	138,9
2. Bagaço	kg	358,45	422,5	422,5	286
Água	L	147,45	263,7	263,8	164,6
Fibra	kg	149,4	110,7	110,7	97,3
ART	kg	34,6	48,1	48,1	24,1
Fermentação					
1. Vinho	L	625	572,9	572,9	636
Gradduação Alcoólica	GL	7,3	9,18	9,18	10,5
Água	L	579,54	522,5	520,32	569,19
Etanol	L	45,64	50,42	52,59	66,78
2. Água de diluição	L	88,5	91,7	91,7	58
3. Pé de cuba	L	382,44	147,8	147,8	275,4
4. CO2 Liberado	kg	38,4	44,9	44,9	50,9
5. Perdas por evaporação	L	85			
Destilação					
1. Vinhoto	L	584	529,33	509,26	564,73
Gradduação Alcoólica	GL	0,42	1,03	2,15	2,1
EtOH	L	5,44	5,45	10,95	11,86
Água	L	579,54	523,9	498,3	552,9
2. Álcool	L	40,2	43,58	44,23	71,23
Gradduação Alcoólica	GL		80	90,13	84
Água	kg		8,7	4,4	11,4
EtOH	L		34,87	39,87	59,83

Fonte: Elaborado pelo Autor, com base na UFSM, 2010

O teste de extração do caldo de cana com o modelo Limana Poliserviços realizado em Frederico Westphalen utilizou 1.300 kg de cana-de-açúcar, que foi processado em 31 minutos, indicando uma capacidade nominal de processamento, naquelas condições, de 2,516 kg/h. Contudo, a operação foi feita numa ocasião em que ainda estava sendo feitos alguns ajustes, o que não permitiu avaliar a real capacidade de extração do sistema. O rendimento na extração foi de 61,5%, com a produção de 800 kg de caldo.

Não houve acompanhamento e relato da etapa de fermentação. A tabela 13 resume os valores encontrados na etapa da destilação.

Tabela 13: Vazões do processo durante a destilação

Correntes de Processo	Vazão (L/h)	Massa específica (kg/m³)	Vazão (kg/h)	% peso		Graduação alcoólica °GL (a 15 °C)	Vazão de etanol (kg/h)
				Água	Etanol		
Vinho	3.000,0	985,2	2955,6	95,38	4,73	5,91	139,9
Vinhoto	3.879,3	981,0	3805,6	98,09	1,91	2,39	72,6
Injeção de vapor	-	-	393,4	100,00	0,00	0,00	0,0
Destilado*	116,1	810,7	94,1	9,90	90,10	93,3	84,8

* valor máximo obtido

Fonte: UFSM, 2010

b) Balanço de Energia

O relatório usa o Fator Energético (FE), relação entre a energia disponibilizada no combustível produzido e a energia consumida no processo produtivo, como uma medida de atratividade do processo do ponto de vista energético. O FE negativo indica que o processo apresenta um déficit energético e o contrário, FE positivo, indica a viabilidade energética do processo. O balanço energético neste caso se traduz na análise do FE e se concentra no processo de destilação, na medida em que o interesse maior é avaliar o processo de destilação nas microdestilarias. Assim, a contabilidade energética se restringiu a lenha usada no processo de geração de vapor e a energia elétrica usada no acionamento de bombas para as diferentes finalidades do processo.

Tabela 14: Valores Energéticos das Destilarias

Municípios =>		Vista Alegre			Seberi
Modelos =>		Marcello G.	Jack Crispim	Orci Ribeiro	Jack Crispim
Processo de Destilação					
(+)Álcool	L	50	40	30	110
	GL	70	80	90,13	80
	J	6,09x10 ⁸	6,97x10 ⁸	5,997x10 ⁸	20,26x10 ⁸
(-) Lenha	kg	183	166	123,04	97,77
	J	18,41x10 ⁸	16,70x10 ⁸	12,36x10 ⁸	9,99x10 ⁸
(-) Eletricidade	kWh	41	63	10,6	n.d.
	J	0,148x10 ⁸	0,227x10 ⁸	0,382x10 ⁸	n.d.
Balanço			(-) 9,95 x 10 ⁸	(-) 6,75x10 ⁸	(+) 10,33x10 ⁸
Fator Energético		0,351	0,412	0,471	2,041

Fonte: Elaborado pelo Autor (Baseado na UFSM, 2010)

c) Operacionalidade

O desafio de uma microdestilaria é ser econômico, do ponto de vista de investimento de capital, sem, no entanto, que a busca da economia introduza simplificações que afetem a operação, comprometendo a sua funcionalidade.

“Os possíveis ganhos provenientes da economia de gastos com tubulações de interligação entre equipamentos, bombas centrífugas para movimentação de líquidos, entre outros, anulam-se quando avaliada a dificuldade encontrada pelos operadores das microdestilarias, ocasionadas por falta desses materiais ou equipamentos” (UFSM, 2010)

Foram observados alguns problemas operacionais que devem ser corrigidos, para o melhor desempenho das unidades.

No modelo Crispim, uma mesma bomba centrífuga é usada para movimentar o sistema de refrigeração e para o bombeamento do vinho para a coluna de destilação, ocasionando interrupções do fornecimento de água em pleno funcionamento e prejudicando o equilíbrio em que a coluna se encontrava.

O modelo Orci Ribeiro é equipado com indicadores de temperatura, válvulas de controle de vazão de vapor e visor de nível na base de cada coluna, que permite controlar a alimentação do vinho a coluna. Existem bombas específicas para cada função, tornando a operação mais homogênea, embora isso incremente o consumo de eletricidade. Este modelo permite uma boa operacionalidade, embora, à semelhança do modelo Crispim, não apresentar isolamento térmico, o que pode contribuir para o aumento do gasto energético do processo, além de aumentar o risco de acidentes com queimaduras.

Tabela 15: Produtividade Industrial das microdestilarias avaliadas

Microdestilaria	Produtividade industrial (L de etanol por ton de cana-de-açúcar)
Seberi (modelo Crispim)	59,83 (84°GL)
Vista Alegre (modelo Crispim)	34,87 (80°GL)
Vista Alegre (modelo Orcy Ribeiro)	39,87 (90,13°GL)

Fonte: UFSM, 2010

Tabela 16: Rendimento nas diferentes etapas do processo de fabricação de etanol

Rendimento	Seberi (Crispim)	Vista Alegre (Crispim)	Orcy Ribeiro	Microdestilaria (600 L/dia) ¹
Moagem	0,791	0,650	0,650	0,970 ²
Fermentação	0,850	0,846	0,846	0,820
Destilação	0,775	0,570	0,703	0,960
Industrial	0,521	0,313	0,387	0,763

¹ Dados de operação para uma microdestilaria padrão (Secretaria da Indústria e Comércio/RS, 1984).

² O alto rendimento apresentado deve-se ao uso de um difusor para a extração do caldo, sendo que o valor serve apenas para ilustração.

Fonte: UFSM, 2010

Tabela 17: Produtividade Industrial calculada para as microdestilarias avaliadas

Item	Seberi (Crispim)	Vista Alegre (Crispim)	Orcy Ribeiro	Microdestilaria (600 litros/dia) ¹
ART (% cana)	15,7	15,2	15,2	14,0
Rendimento industrial	0,521	0,313	0,387	0,763
Produtividade industrial	54,54	31,76	39,19	71,3

¹ Dados de operação para uma microdestilaria padrão (Secretaria da Indústria e Comércio/RS, 1984).

Fonte: UFSM, 2010

3.3.2 – Sistema de Organização Produtiva

O sistema de organização produtiva adotado pelo MPA baseia-se no Sistema Camponês de Produção. Para o MPA é necessário um novo paradigma na organização da vida social e produtiva no campo, e isso requer:

“... formatos produtivos diversificados e multifuncionais, geradores de postos de trabalho e renda, organizadores de sistemas integrados de produção agrícola, pecuária e florestal. Os novos formatos produtivos precisam envolver nas comunidades camponesas (ou rururbanas) muita gente e muito trabalho direto, organizando sistemas industriais flexíveis e descentralizados com circuitos comerciais e distributivos readequados conforme a localização da população. Eles devem redistribuir as pessoas no espaço geográfico, o que traz a exigência da reforma agrária.” (OLIVEIRA, 2010)

O Sistema Camponês de Produção é, portanto, “... essa forma de trabalhar na terra manejando os recursos naturais de forma ecológica, integrada, produtiva e sustentável, produzindo alimento, energia, fibras, óleos remédios, madeira, gerando postos de trabalho e ocupação popular do território.” (OLIVEIRA, 2010).

A figura 33 mostra uma representação esquemática de um SCP, voltado para a produção de álcool e alimento. Destaca-se na fase agrícola a policultura associada à produção animal e

florestal, ao contrário da monocultura dos sistemas agroenergéticos convencionais. Na fase industrial a ênfase é dada a produção descentralizada de álcool em pequena escala, visando a geração de oportunidade de incremento de renda das famílias envolvidas, inclusive com o aproveitamento dos resíduos industriais. A distribuição privilegiado o uso local é menos onerosa, considerando menores distâncias a percorrer.

Figura 33: Representação esquemática do Sistema Camponês de Produção de álcool e alimento
Fonte: Oliveira, 2010

3.4 – ESTÁGIO ATUAL – DIFICULDADES E AVANÇOS

De acordo com Frei Sérgio Görden, coordenador do MPA, os testes realizados nos equipamentos selecionados, que se supunham de tecnologias maduras e replicáveis, demonstraram que estes funcionavam precariamente, necessitando de ajustes e adaptações nos locais da implantação. Como eram unidades experimentais, inclusive os custos foram subestimados, com base nas informações fornecidas pelos seus criadores. Estes fatos adicionados às dificuldades encontradas em outras esferas como a demora nas instalações da rede elétrica, na emissão e nas exigências não previstas para o licenciamento ambiental, provocaram atrasos no cumprimento do cronograma, inviabilizando a instalação de algumas unidades e gerando alguma resistência por parte de alguns agricultores. Foi necessária uma mudança de estratégia, optando por ajustar tecnicamente e experimentar as unidades no Centro de Desenvolvimento Tecnológico do MPA, em Santa Cruz do Sul, antes da sua implantação no campo.

Com isso conseguiu-se avançar e disponibilizar aos camponeses, em suas comunidades, equipamentos e perfeito funcionamento, como é o caso de Caiçara e Iraí.

Outros avanços conquistados no projeto foram ilustrados por Frei Sérgio:

- Compreensão de que a viabilidade econômica se dá no sistema em seu conjunto, com vários produtos e co-produtos e não só com o álcool, como, aliás, fazia parte de nossa hipótese inicial;
- A importância do uso múltiplo da cana na pequena propriedade, na medida em que, mesmo onde a indústria não estava funcionando a cana salvou os animais e a produção de leite em três estiagens prolongadas;
- Teste e seleção de mais de trinta variedades de cana em Frederico e Santa Cruz e mais de seis variedades de sorgo sacarino. Já em curso a multiplicação de sementes e mudas e fazendo fomento com os agricultores.
- Aproveitamento do sorgo como mais uma matéria prima altamente viável e polivalente;
- Experimento com ração animal feita de vinhoto e bagaço de cana e sorgo;
- Conclusão da inviabilidade de fazer o corte da cana manualmente. Estamos encaminhando a mecanização do corte, com equipamentos de corte desenvolvidos para a agricultura familiar.
- Oito microusinas operando no Rio Grande do Sul: Caiçara, Seberi, Erval Seco, Iraí, Santa Cruz do Sul, Hulha Negra, Canguçu e Esmeralda.

3.5 – Contextualização da Produção de Álcool e Alimento em Caiçara-RS

O município de Caiçara fica localizado na Mesorregião Noroeste-Riograndense, Rio Grande do Sul, há 445 km de Porto Alegre e a 12 km à Noroeste de Frederico Westphalen. Ocupa uma área geográfica de 189 km², sua população é de pouco mais de 5.000 habitantes e tem na agropecuária a sua principal atividade econômica, responsável por 52,4% (R\$ 24.806.000) do Valor Adicionado Bruto-PIB, de acordo com o IBGE, 2008. O principal produto da economia do município, assim como da grande parte da região é o fumo, seguido de milho, mandioca e feijão, conforme a tabela 18.

Tabela 18: Principais Lavouras Temporárias

Produto	Quant. Produzida (toneladas)	Área Plantada (ha)	Valor Produção (R\$)	Rendimento (kg/ha)
Fumo em folha	2.870	1.400	14.136.000	2.050
Milho	15.464	6.500	5.830.000	2.379
Mandioca	8.280	360	4.119.000	23.000
Feijão	1.410	1.100	2.373.000	1.280
Soja	3.015	2.500	2.167.000	1.206
Cana-de-açúcar	10.850	310	662.000	35.000
Batata-doce	720	40	481.000	18.000
Arroz	455	130	218.000	3.500

Fonte: IBGE, 2008

A linha Dalmolin, comunidade formada por cerca de 30 famílias de colonos, de ascendência predominantemente alemã, italiana e polonesa foi beneficiária de uma das microdestilarias no quadro do projeto Cooperbio, em operação desde 2008 e produzindo, além do etanol a 96° GL, cachaça e açúcar mascavo. A ponteira da cana, separada no momento da colheita é oferecida como reforço alimentar às vacas leiteiras, contribuindo para o aumento da produção do leite.

Em seguida serão descritas as diferentes fases da produção agroindustrial do álcool na linha Dalmolin.

3.5.1 – Produção Agrícola da Cana-de-açúcar

A produção de cana-de-açúcar no município de Caiçara e especialmente na linha Dalmolin vem de longa data e é parte integrante do modo de vida da população, em sinergia com culturas como milho, feijão, entre outras, e a criação de animais domésticos. A cana-de-açúcar é usada principalmente como forragem para os animais e em alguns casos, processada para a obtenção do caldo usado no fabrico tradicional da cachaça e do açúcar mascavo. Conta-se que um velho patriarca da comunidade, de nome Orlando Lanzarotto, já falecido, insistentemente ensinava: "colono, pra ser colono, tem que ter milho no paiol e um "bão" canavial. Milho se dá pros animais; e cana, se o vizinho não tem, ele vem comprar de ti. Você dá para porco, gado, faz açúcar, melado, rapadura e cachaça"!...

Os ensinamentos do velho Lanzarotto nos remetem, de forma simples, à noção de sustentabilidade e revelam a função "multiutilitário" da cana-de-açúcar para aquela comunidade. Expressa sua capacidade de proporcionar certa autonomia em relação às necessidades alimentares básicas da população. A vantagem de agregar o uso energético à cana-de-açúcar está na possibilidade de conferir, também, certo grau de autonomia local na oferta energética, ou colocado de outra forma, promover certo grau de independência energética.

A variedade de cana comumente usada é a RB7654418 e o cultivo é feito sem uso de fertilizantes ou defensivos químicos. Esta variedade é classificada como precoce, com período máximo de produtividade de maio a setembro, apresentando boa qualidade e produtividade na região, quando observado o período útil de industrialização, segundo o relatório parcial elaborado pela Universidade Federal de Santa Maria³². A aferição da maturidade é feita de

³² Relatório Parcial do Projeto "Avaliação da Viabilidade da Produção de Álcool a Partir de cana-de-açúcar e Mandioca em Pequenas Unidades Camponesas de Produção" em colaboração com a COOPERBIO, 2008.

forma empírica, sem a utilização de nenhum equipamento em especial, mas na base das experiências dos agricultores.

As principais características da variedade RB7654418 na região foram pesquisadas pelos técnicos da UFSM, utilizando três amostras coletadas nos municípios de Seberi e Vista Alegre, próximos de Caiçara. De acordo com os pesquisadores, a cana-de-açúcar foi colhida quando já se encontrava no declínio fisiológico, ou seja, a sacarose estava sendo metabolizada, diminuindo o teor de açúcar disponível, apresentando um Pol³³ e pureza do caldo, baixos e um alto índice de maturação. A Tabela 19 apresenta as médias dos resultados obtidos.

Tabela 19: Características da variedade da cana plantada na região

Características Avaliadas		
Comprimento do Colmo		2,06
Circunferência do Colmo	Base	2,26
	Ponta	2,35
Índice de Maturação		1,11
Brix Sacarimétrico%		18,10
Umidade % Bagaço		43,94
Massa Seca Bagaço %		56,06
Fibra %Cana		12,37
AR % no Caldo		1,54
ART no Caldo %		17,33
Pol no Caldo		15,78
Pol na Cana		13,27
AR % da Cana		1,31
Pureza do Caldo %		87,12
ATR na Cana %		134,33

Fonte: UFSM

Obs.: AR=açúcares redutores;
ART=açúcares redutores totais;
ATR=açúcares totais recuperáveis

Os dados indicam uma baixa qualidade da cana-de-açúcar, compatível com uma cultura já no período de declínio e explicam-se pelo fato da coleta ter sido feita fora do período útil de industrialização, quando a Pol é igual ou superior a 14% e o índice de maturação inferior a 1,0. O baixo teor de ART³⁴ e alto teor de AR³⁵ mostram que está havendo desdobramento de sacarose confirmam este quadro.

³³ Representa a porcentagem aparente de sacarose contida numa solução de açúcares (por exemplo, o caldo de cana)... Para o caldo de cana madura, o teor de glucose e frutose é geralmente baixo, menor que 0,5%, comparado com o teor de sacarose, que pode estar acima de 16% na média da safra. Isso faz com que o valor da pol aproxime-se bastante do teor real de sacarose, sendo normalmente aceito como tal. (FERNANDES, 2003)

³⁴ Açúcares Redutores Totais: "... representa todos os açúcares da cana na forma de açúcares redutores ou invertidos."

3.5.1.1 Colheita e Transporte

O corte é feito manualmente, com ajuda de um facão, sem queimada prévia. É feita a despalha e a separação da ponta (ou ponteira) que são transportados (ponta e colmo) em carro de boi até a unidade de processamento (colmo) e cocheiras (ponta).

Figura 34: Corte manual da cana

Os carros de boi têm uma capacidade de transporte de aproximadamente 3 toneladas e as distâncias entre os diferentes canaviais à usina de processamento é de 1,5 km em média, percorridos em aproximadamente 25 minutos.

De acordo com os dados do IBGE a produtividade da cana nesta região é de 35 toneladas por hectare/ano. Contudo, em entrevista, os agricultores afirmam que a produtividade da cana ultrapassa os 60 toneladas por hectare/ano. Este é o dado considerado, na medida em que está mais próximo do dado medido em Santa Cruz, outra localidade do Estado, onde se desenvolve um projeto semelhante, descrito na sessão 3.6 deste trabalho.

³⁵ Açúcares Redutores: “Termo empregado para designar os açúcares (glucose e frutose, principalmente)...”(FERNANDES, 2003)

Figura 35: Sistema de transporte

3.5.2 – Industrialização da cana-de-açúcar – Análise dos Aspectos Técnicos

O arranjo tecnológico da industrialização da cana utilizado em Caiçara inclui os processos de extração, fermentação, destilação e de geração de calor.

3.5.2.1 Processo de Extração

A extração do caldo de cana é feita a partir de uma moenda fixa, de um terno de rolos, acionada por um motor elétrico de 10 CV, fabricado pela empresa Rani Pierotti, localizada na cidade de Visconde do Rio Branco – MG. A capacidade nominal de processamento é de até 1.100 kg de cana por hora. A moenda é alimentada com energia elétrica fornecida pela rede, porém, opcionalmente a eletricidade pode ser fornecida por um grupo gerador equipado com um motor de ciclo Otto, adaptado para operação a álcool hidratado carburante.

Figura 36: Moenda

Normalmente não é feita a estocagem da matéria prima no pátio da usina de processamento. Os carregamentos que chegam ao pátio são processados no mesmo dia, evitando assim perdas por inversão da sacarose. O caldo extraído passa por um conjunto de peneiras, para separação

de materiais em suspensão e um tanque de decantação, antes de ser enviado, por gravidade para o setor de fermentação. Testes realizados pela Cooperbio nesta unidade para a determinação do rendimento do processo de moagem chegaram a resultados de um rendimento de 80% do caldo extraído e 20% de bagaço com 50% de umidade. (COOPERBIO, 2009).

A capacidade de extração está naturalmente abaixo dos equipamentos comerciais de grande porte, na medida em que se trata de um único terno não associado a um sistema de embebição. No entanto, como se trata de um projeto que visa à produção de energia associada à utilização do bagaço para a alimentação animal na propriedade, pode ser considerada muito boa.

3.5.2.2 Processo de Fermentação

O processo de fermentação utilizado em Caiçara é bastante simplificado. Conta com 3 dornas de polipropileno com fundo chato, com capacidade de 1000 litros cada e uma dorna volante, ou tanque pulmão, com capacidade de 2000 litros destinada a acumular o produto final da fermentação, o vinho, a ser usado no processo de destilação para a produção do etanol ou da cachaça. O sistema não conta com mecanismos de controle de temperatura ou de adição de nutrientes secundários, como recomendado em Lima e Marcondes (2002).

É usado no processo de fermentação o fermento natural ou fermento selvagem, produzido na própria fazenda a partir de uma receita tradicional, conforme descrito pelo produtor RL de Caiçara:

“coloca-se 20 a 30 kg de farinha ou quirela de milho numa cuba de 1000 litros e adiciona-se caldo de cana até ficar com a consistência de uma 'polenta dura'. Deixa-se repousar durante 6 a 7 dias no final dos quais fica azedo. Mais 5 litros de caldo de cana são adicionados, seguidos de 3 a 4 dias de repouso, antes da adição de mais 5 litros de caldo de cana. Após esta ultima adição espera-se o início da fermentação que acontece entre o décimo oitavo e o vigésimo dia do início do processo. Obtêm-se no final deste processo cerca de 100 litros de 'pé-de-cuba', suficiente para serem usados durante toda a safra”.

Daudt e Brum (1977) analisaram aspectos microbiológicos, em 24 amostras de mostos coletados em estabelecimentos vinícolas no Rio Grande do Sul, com o objetivo de classificação dos fermentos selvagens ali encontrados. “Foram isolados fermentos selvagens e submetidos a testes bioquímicos e exames morfológicos, comparados entre si e com o standard *Saccharomyces cerevice* var. *Ellipsoideus*”. Como resultado foi observado similaridade entre os fermentos selvagens e o standard utilizado e concluído que o mosto obtido em cantinas Sul-riograndesnses apresentam razoável qualidade com relação ao aspecto

microbiológico, podendo, entretanto ser melhorados se as condições de obtenção da matéria prima obedecerem critério tecnológicos adequados.

Por outro lado, “A utilização ou adição de fermentos selecionados na vinificação poderá melhorar as condições de fermentação, determinando a redução do tempo na obtenção do teor alcoólico desejado...” (DAUDT; BRUM, 1977).

Figura 37: Cubas de Fermentação

3.5.2.3 Processo de Destilação

O equipamento de destilação instalado em Caiçara foi idealizado por Orci Ribeiro. A capacidade de produção diária nominal é de 200 litros de álcool a 96° GL ou 400 litros de destilado alcoólico com 45° GL.

Figura 38: Destilaria

O sistema comporta duas colunas (de destilação e de retificação), quatro condensadores e um trocador de calor para o pré-aquecimento do vinho. A coluna de destilação é constituída de pratos perfurados com furos de 0,8 mm diâmetro. Produz vapores alcoólicos com concentração de até 40° GL. A de retificação é constituída de pratos perfurados, com diâmetro de 0,6 mm. Ocorre o refluxo do destilado entre a coluna de retificação e os três primeiros condensadores, ou seja, de cada unidade do produto obtido do condensador, 7 unidades retornam à coluna de retificação com o objetivo de aumentar a graduação alcoólica e assim, garantir a graduação final de 96° GL. A razão de refluxo, portanto nesta coluna é de 7. O Vapor é injetado na base das duas colunas (destilação e retificação), equipados com visores de níveis e termômetros. De acordo com o fabricante, o sistema tem um consumo de 3,0 kg de vapor $1,5 \text{ kgf/cm}^2$ por litro de álcool.

Foram realizadas ensaios de caracterização físico-química em duas amostras de alcoóis produzidos em destilarias de pequena escala, do mesmo modelo idealizado por Orci Ribeiro. A primeira é uma amostra de álcool de cana-de-açúcar coletada na microdestilaria de Caiçara e a segunda, uma amostra de álcool de arroz produzido na Fazenda Santa Tereza, em São Vicente do Sul-RS, sede da empresa Usinas Sociais Inteligentes, fornecedora das microdestilarias, cujo diretor técnico é o Orci Ribeiro. Os ensaios foram realizados no Centro de Energias renováveis do Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR e os resultados são apresentados na tabela 20.

Tabela 20: Características Físico-químicas do Etanol de cana e arroz

Ensaio		Unidade	Álcool Etílico Arroz	Álcool Etílico Cana
3.1	Cor e Aspecto	-----	Incolor/LII, 19,4°C	Incolor/LII, 19,6°C
3.2	Acidez Total (em mg de ácido acético)	mg/L	32,2	146,2
3.3	Condutividade Elétrica a 20°C	µS/m	59	295
3.4	Massa específica a 20°C – método densímetro	kg/m³	810,1	824,1
3.5	Teor Alcoólico	% massa	92,9	87,6
		% volume	95,3	91,5
3.6	Potencial Hidrogeniônico a 20°C - pH	-----	6,3	5,0
3.7	Teor de hidrocarbonetos	% volume	0,0	0,0
3.8	Cobre (Cu)	mg/kg	<0,1	0,35
	Ferro (Fe)	mg/kg	<0,05	0,34
3.9	Teor de Água - método Karl Fischer	% volume	7,1	12,3

Fonte: TECPAR, 2012

De acordo com a Resolução ANP N°7 de 09/02/2011 que especifica o Álcool Etílico Hidratado Combustível (AEHC), o teor alcoólico é de 95,1 a 96,0 (% em massa) ou 92,5 a 93,8 (% em volume). Observa-se que o teor alcoólico (% em massa) tanto do álcool de arroz

(92,9%) quanto do álcool da cana (87,6%) está aquém da norma. Contudo o teor alcoólico (% em volume) do álcool de arroz é ligeiramente superior aos limites da norma, enquanto que o da cana situa-se ligeiramente abaixo destes limites. A acidez total apresenta-se em ambos os casos muito acima da norma que estipula o máximo de 30 mg/L de ácido acético. Isso se deve a falta de controle no processo de fermentação. De acordo com o fabricante do equipamento de destilação, o teor alcoólico pode ser normalizado com a introdução de pequenos ajustes no equipamento.

3.5.2.4 Processo de Geração de Calor

O calor para o processo de destilação é fornecido a partir do vapor gerado por uma caldeira (Figura 38), queimando cavacos de lenha e bagaço de cana. A água da caldeira é alimentada através de bomba centrífuga, a partir de um tanque localizado próximo à caldeira. O pré-aquecimento da água do tanque pode ser feito através da válvula que injeta vapor da caldeira de volta ao tanque. A saída de vapor da caldeira alimenta a linha de vapor através da válvula.

Figura 39: Caldeira

3.5.3 – Perspectivas para a produção de leite

Atendendo a solicitação do autor deste trabalho, o Prof. Ives Bueno do departamento de zootecnia da FZEA/USP, fez uma simulação de uso de bagaço de cana na alimentação de vacas leiteiras de peso vivo médio de 400 kg e de baixa produção (10 kg/dia). De acordo com os cálculos, cada hectare de cana-de-açúcar poderia alimentar 12 animais por 180 dias. A produção de bagaço considerada é de aproximadamente 15 t de matéria seca por ha. Devido ao baixo teor protéico do bagaço de cana, esta quantidade de bagaço deve ser complementada com os seguintes ingredientes (dados expressos em peso seco):

- 7,0 kg de bagaço de cana

- 2,40 kg de farelo de soja
- 1,20 kg de farelo de trigo
- 3,55 kg de milho
- 0,16 kg de fosfato bicálcico
- 0,05 kg de calcita
- 0,15 kg de sal

O Prof. Bueno estima o custo da dieta por animal em R\$ 0,59/kg MS (matéria seca), ou aproximadamente R\$ 4,42/dia. O custo total de alimentação dos 12 animais por 180 dias seria de R\$ 9.547,20. Para este cálculo não foi computado o custo do bagaço de cana.

3.5.4 – Características Socioeconômicas

A linha Dalmolin é ocupada por cerca de 30 famílias de agricultores. Quinze dessas famílias foram abordadas através de questionários, com o objetivo de conhecer as características socioeconômicas e principalmente suas relações com a produção agrícola e pecuária, a fim de avaliar o alcance dos possíveis impactos da introdução de um projeto de produção de álcool combustível e alimento. Na determinação do número de famílias abordadas foi levada em consideração a participação de cada família com 1 ha de cana e a capacidade instalada de moagem de 1.100 kg/hora.

As famílias entrevistadas são formadas, na média por quatro pessoas, incluindo o casal e filhos. Predominam indivíduos adultos, na faixa dos 20 aos 59 anos de idade (60% da população), onde o nível médio de escolaridade é de 5 anos de frequência escolar. Os indivíduos jovens (11 – 19 anos) perfazem 20% da população e possuem níveis de escolaridade média de 10 anos de estudos, conforme a figura 40.

Figura 40: Perfil etário da população consultada

A tabela 21 apresenta o formulário utilizado no levantamento de dados na comunidade pesquisada

Tabela 21: Formulário de pesquisa de dados utilizado

1. - Identificação				
Nome do Produtor: _____			Contato: (55) _____	
2. - Composição Familiar				
Criança (0-10 anos)	Masculino	Estudo(anos)	Feminino	Estudo(anos)
Jovem (11-19 anos)				
Adulto (20-59 anos)				
Idoso (maior 60 anos)				
3. - Propriedade				
		Tipo de Adubação		
Produção agrícola	Área (há)	Verde/Orgân	Químico	
Milho				
Feijão Soja				
Fumo				
Mandioca				
Cana-de-açúcar				
Pastagem				
Mata nativa				
Reflorestamento				
Total área utilizada				
Total área propriedade				
Área não Utilizada		Porquê: _____		
4. - Produção animal				
		Tipo de Alimentação		
Gado Bovino	Cabeças	Pasto	Ração	
Boi				
Vaca				
Terreiro				
5. - Consumo de combustível por ano				
Tipo	Gasolina	Diesel	Alcool	
Quantidade (litros)				
6. - O Fumo como principal atividade produtiva				
a) Tem o fumo como principal atividade geradora de renda? () Sim; () Não				
b) Quantos meses trabalha por ano no fumo? () meses				
c) Acha que a atividade com fumo prejudica sua saúde? () Sim; () Não				
d) Valor aproximado da renda anual com o fumo: _____ (R\$)				
e) Está satisfeito com a cultura do fumo? () Sim; () Não				
f) Se pudesse trocaria o fumo por outra atividade com a mesma renda? () Sim; () Não				
g) Gostaria que seus filhos se interessassem pela cultura do fumo? () Sim; () Não				
7. - Cana-de-açúcar como alternativa ao fumo				
a) Participa da cooperativa de produção de cana da microdestilaria? () Sim; () Não				
b) Porque acha que as pessoas não participam? () Falta Informação; () Falta garantia; () Falta Interesse				
c) Acha que a produção de álcool pode dar a mesma renda que o fumo? () Sim; () Não				
d) Acha que a atividade com cana prejudica sua saúde? () Sim; () Não				
e) Acha que a cana é melhor que o fumo para a sua família? () Sim; () Não				
f) Caso não participe, gostaria de participar se tivesse garantia de renda? () Sim; () Não				
g) Caso decida participar do projeto que área utilizaria? Pasto (); Mata (); Não Plantada (); fumo (); Ou:				
Obs.:				

Fonte: O Autor

Em termos de propriedade de terra, o universo consultado possui um total de 474,6 hectares, distribuídos entre áreas de produção agrícola de subsistência, de produção comercial de fumo, pastagens, áreas florestais nativas e plantadas, áreas não utilizadas diretamente por ser de declividade, alagada ou de outra natureza, distribuídos conforme mostra a figura 41, abaixo.

Figura 41: Produção agrícola

A pesquisa questionou também a existência de gado bovino cuja distribuição por tipo é mostrada na figura 42. A criação do gado é extensiva, no pasto, complementada com a cana-de-açúcar.

Figura 42: disponibilidade de gado bovino

Em entrevistas realizadas com algumas famílias visitadas, ficou evidente que a principal atividade econômica que permite o ingresso de renda na comunidade é o cultivo do fumo, que

é patrocinado pelas empresas multinacionais instaladas na região nomeadamente a Philips Morris, a Souza Cruz e a Universal. Estas empresas vendem para os agricultores as sementes e os agrotóxicos para o desenvolvimento do cultivo, comprando depois o produto final, a folha do fumo. Apenas uma das 15 famílias não participa atualmente do cultivo do fumo, por opção, apesar de ter participado no passado. A renda média dessa atividade é de aproximadamente R\$ 7.500 (sete mil e quinhentos Reais) anuais, que é complementada com a criação do gado de corte e de leite. A produção do milho assim como da cana-de-açúcar destina-se preferencialmente à alimentação animal e apenas uma parte da cana-de-açúcar é eventualmente destinada à produção do álcool, cachaça ou açúcar mascavo. Apesar da produção do fumo se constituir na principal fonte de renda da comunidade, as famílias são unânimes em caracterizar esta atividade como degradante à saúde humana e ao meio ambiente e em reconhecer que a praticam por falta de opção. Em seguida, são apresentados os relatos de alguns agricultores da comunidade, entrevistados.

O Agricultor 1 “não pensava duas vezes em largar o fumo se tivesse outra alternativa. O fumo é uma coisa terrível; ano passado passei mal por causa do fumo. Apodreceu e quando isso acontece solta uma toxina que deixa a gente mal; pode até matar...” No mesmo tom, o Agricultor 2 afirma “se tivesse a oportunidade de abandonar o fumo não queria nem ver na minha frente...; pelo menos 6 ou 7 pessoas conhecidas foram parar no hospital por causa do fumo no ano passado...” O Agricultor 3 afirma que ele mesmo foi parar no hospital nos últimos dois anos por causa do fumo e que conhece mais plantadores com problemas de doenças causadas pelo fumo, e finaliza: “tendo alternativa deixaria de plantar o fumo. Perguntado se deixaria o cultivo do fumo caso tivesse outra alternativa, o Agricultor 4 reagiu: “... *ma meia noite!*... (expressão local que significa dizer imediatamente); o fumo tem que estar toda a hora com veneno; eu já estou acostumado, mas mesmo assim quando a gente está com estômago vazio, a gente sente náuseas...”.

Figura 43: Trabalho de campo

Para o Agricultor 5, que tem uma filha estudando numa Universidade na região, apesar de o fumo ser algo degradante é a única fonte de renda que permite custear o estudo da filha, pelo que só mudaria de atividade se tivesse algo absolutamente certo. Lamentou o prejuízo na colheita do ano anterior, causado por problemas climáticos e sua esposa interveio para reclamar maior atenção das autoridades públicas para com os colonos.

O Agricultor 6 deixou de praticar o cultivo do fumo por convicções políticas e ecológicas. Registrou que a região está tendo um êxodo³⁶ da massa jovem, incentivado pelos próprios pais, que não querem ver os filhos dando continuidade à atividade de produção do fumo à qual eles, por falta de opções, foram relegados. Este fato explicaria o reduzido número de membros nas famílias da comunidade.

Uma das principais queixas apresentadas pelos agricultores entrevistados refere-se à intensidade de trabalho imposta pela cultura de fumo. Em média a atividade demanda 11,2 meses ao ano de trabalho intenso dos agricultores. 12 das 14 famílias que praticam a fumicultura se declararam insatisfeitos com a atividade, nenhuma delas quer ver os filhos envolvidos com o fumo e todas manifestaram desejo de trocar esta atividade por outra menos intensiva em mão-de-obra e em produtos químicos, desde que ofereça rendimentos semelhantes. Todas as famílias se declararam interessadas em participar da cooperativa de produção do álcool, desde que haja garantia da compra. Treze, das 15 famílias, acreditam que a produção da cana pode proporcionar a mesma renda que o fumo e todos concordam que é menos ofensiva à saúde, o que permitiria envolver os filhos na atividade e frear a fuga de jovens para as cidades. Por fim, todos declararam que destinariam suas áreas atuais de produção de fumo à produção de álcool, caso haja garantia da compra e da renda.

Ainda no âmbito do levantamento de informações úteis para traçar o perfil socioeconômico do município, houve uma entrevista com o secretário municipal de planejamento de Caiçara com a finalidade de colher o ponto de vista do poder público, relativamente à cultura do fumo no município. Para este dirigente municipal está claro que, não obstante o fumo representar a maior arrecadação do PIB agropecuário do município é necessário encontrar uma alternativa econômica segura ao seu cultivo. Explicou que houve tentativas de introduzir alternativas como a floricultura e a vaca leiteira, sem grandes sucessos. Chamou ainda a atenção para alguns municípios que abandonaram a cultura do fumo e tiveram em consequência, crescimento tanto econômico quanto populacional acentuado, exemplificando o município de Caxias do Sul. De fato, observando os dados da dinâmica populacional para este município no

³⁶ Consultados os dados do IBGE sobre a dinâmica populacional entre o censo de 2000 e a estimativa populacional de 2009, constatou-se uma diminuição da população no município de Caiçara de 5.580 para 5.240 neste intervalo de tempo.

mesmo intervalo de tempo de Caiçara, verificou-se um fenômeno inverso. De 2000 a 2009, houve um crescimento populacional de 360.419 para 410.116 habitantes. Os dados da pesquisa socioeconômica estão sintetizados na tabela 22.

Tabela 22: Dados socioeconômicos das famílias agregadas ao projeto

	Itens/Produtor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	TOTAL	sim	não
Agregado Familiar	N. de Integrantes	4	3	3	7	3	3	3	4	4	2	5	5	5	3	3	57		
	Criança (0-10 anos)	0	0	1	2	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	7		
	Jovens (11-19 anos)	1	0	0	0	0	0	1	2	2	0	1	0	2	1	1	11		
	Adultos (20-59 anos)	3	2	2	5	2	2	2	2	2	1	3	2	2	2	2	34		
	Idoso (maior de 60 anos)	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	5		
Prod. Agrícola	Qde. Terra (ha)	6,2	18	14	47	6	12,5	18,3	18	13	13	13,5	12,5	24,5	25	31,9	273,4		
	Milho	1	5	2	6	0,2	3	4	4	2	2,5	5	3	5	1	12	55,7		
	Feijão	1	0	0	0	0	0	3	0,5	0,5	0,2	0	0	0	0	2	7,2		
	Soja	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	4	6	5	16		
	Fumo	1	1	1,5	4	0,8	2	0,8	2	1,7	0	2	2	2	1	1	22,8		
	Mandioca	0,1	0,8	0,1	0,2	0,1	0,6	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	3		
	Cana-de-açúcar	0,2	0,3	0,5	0,5	0,2	1	1	0,6	0,5	2,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	10,3		
	Pastagem	1	1,5	2	0,3	3	4	6	3	2	2	3	3	6,5	5	4	46,3		
	Mata nativa	1	6	4	10	1	3,5	4	4	3,3	3,3	3	2	6	1	7	59,1		
	Reflorestamento	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0	0	0	2	3,7		
	Área total Utilizada	5	13,8	9	18	3	5	7	11,1	5,2	4,2	7	5	12	14	22	141,3		
	Área Não Utilizada	1,2	4,2	5	29	4	7,1	2,7	6,9	2,9	8,8	6,5	7,5	6,5	5	11,9	109,2		
	Localização (km da destilaria - Média)	2	2	1,5	1,2	1,2	1,2	0,1	0,1	0,7	0,09	2,5	2,5	0,7	3	2,7	1,4		
Prod. Animal	Boi	0	2	0	4	0	0	2	2	2	2	3	2	2	2	0	23,0		
	Vaca	4	5	4	10	6	9	6	9	6	4	6	10	10	13	10	112,0		
	Terneiro	4	11	5	12	7	8	8	9	4	13	8	11	11	12	10	133,0		
Consumo Combustível	Alcool	0	0		0	0	0	0	0	0	1000	0	0	0	0	0	1000		
	Gasolina	0	200		250	60	120	200	100	240	120	120	120	720	240	500	2990		
	Diesel	150	45	150	150	0	840	70	100	120	0	1000	1000	360	1200	2000	7185		
Fumo	Principal Atividade	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	sim	não	sim	sim	sim	sim	não		11	4
	Meses de trabalho/ano	12	7	12	12	12	12	12	12	12	0	12	12	10	10	10		11,2	
	Prejudica a Saúde	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	não	sim	não		11	4
	Renda Anual (1.000 R\$)	10,5	7,0	12,0	35,0	7,5	12,5	10,0	6,5	16,5	-	20,0	20,0	20,0	12,0	10,0	199,5	Med=	14,3
	Satisfeito	não	não	não	não	não	não	não	não	não		não	sim	sim	sim	não		2	12
	Trocaria por outra atividade	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim		sim	sim	sim	sim	sim			
Cana	Envolveria seus filhos na atividade	não	não	não	não	não	não	não	não	não		não	não	não	não	não		0	15
	Participa da Cooperativa	não	não	sim	sim	não	sim	sim	sim	sim	sim	não	não	sim	sim	sim		10	5
	Porque não participa (o que falta)	FG	FG	FG	FG	FG	FG	FG	FG	FG	FG	FG	FG	FG	FG	FG	= Falta Garantia		
	Cana pode ter a mesma renda que fumo	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	não		13	2
	Prejudica a Saúde	não	não	não	não	não	não	não	não	não	não	não	não	não	não	não		0	15
	Cana melhor que fumo para família	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim	sim		15	0
	Gostaria de participar se tivesse garanti	sim	sim			sim						sim	sim					5	0

Fonte: O Autor. (Dados obtidos em pesquisa de campo)

3.5.5 – Cenário para análise da produção de álcool e alimento em Caiçara.

Considera-se o cenário em que cada produtor participa com 1 ha de plantio da cana-de-açúcar. Esta área, de acordo com os questionários aplicados, seria subtraída das atuais áreas de cultivo do fumo, para os agricultores que praticam esta atividade.

As atividades de colheita e transporte até a microusina e de moagem seriam da responsabilidade do próprio agricultor. Após a moagem, o agricultor recolheria o bagaço, que juntamente com a ponteira separada no momento da colheita, será oferecido como alimento para os bovinos. As etapas posteriores (fermentação e destilação) seriam da responsabilidade de operadores treinados para este fim.

Levando em consideração os dados da produtividade fornecidos pelos agricultores entrevistados (60.000 kg por hectare/ano), a produção anual de cana pelas 15 famílias seria de

900.000 kg/ano. Tendo em vista a jornada diária de 8 horas de trabalho, toda a safra precisaria des 102 dias para ser processada teoricamente. Contudo considerando as possibilidades de avarias e paralisações considerou-se este prazo estendido aos 130 dias.

O produto final, o álcool combustível, deve ser distribuído entre os agricultores e o excedente comercializado localmente. Deve-se analisar a possibilidade de estabelecer convênio para o fornecimento do álcool excedente para as frotas cativas de veículos, tanto da prefeitura, como das cooperativas de taxi.

3.5.6 – Análise e Resultado do Balanço Energético

O calculo do balanço energético tem como base os dados colhidos no local da pesquisa, dados referenciados na bibliografia e algumas assunções.

O sistema de produção de etanol proposto para Caiçara inclui as etapas de produção agrícola da cana-de-açúcar, transporte da cana até a microdestilaria e o processo de produção industrial do etanol que envolve as fases de moagem, da fermentação e da destilação. Para efeito de análise do balanço energético neste trabalho, são avaliadas as (entradas) de energia em todas as etapas do processo, em relação às energias contidas nos produtos finais (saídas) de processamento da cana: o *álcool hidratado* para uso energético e o *bagaço de cana* destinado à complementação da alimentação animal, conforme mostra a figura 44 mostra o fluxograma do processo de produção do álcool de Caiçara.

Figura 44: Fluxograma de funcionamento do projeto Caiçara

3.5.6.1 - Aquisição e análise dos dados de entradas energéticas

Produção agrícola da cana-de-açúcar

A primeira etapa do processo: a produção agrícola da cana-de-açúcar envolve as fases de preparo do terreno, plantio e corte da cana. Na fase de preparação do terreno são usados tratores que operam durante aproximadamente 6 horas (para cada hectare) consumindo em média 5 litros de diesel por hora.³⁷ Na sequência o trabalho envolve a mão-de-obra do agricultor durante 8 horas por dia, durante 8 dias (totalizando 64 horas), incluindo o preparo da mudas e plantio.

Na fase de colheita são necessárias 6 horas de trabalho/dia para cortar, transportar e moer 3 toneladas de cana³⁸. Isso porque sendo um agricultor/camponês, ele precisa dar conta de outras atividades cotidianas da propriedade. Considerando a produtividade de 60 toneladas de cana por hectares/ano, ele precisa dedicar 20 dias por ano, totalizando 120 horas, aos trabalhos da cana, em cada hectare.

³⁷ Informações fornecidas pelos agricultores locais.

³⁸ Capacidade do sistema de transporte utilizado: junta de bois.

Transporte

O transporte da cana até a usina é feito usando juntas de bois atrelados a uma carroça. A capacidade de carga é de 3,0 toneladas e a distância média da plantação à usina é de 1,4 km, percorridos em uma hora por trecho. Para efeito do cálculo do consumo energético deste conjunto, considerou a substituição dos 2 bois (2 x 400 kg) por 10 homens (10 x 80 kg) e calculou-se o consumo energético destes, com base na tabela apresentada por Batiz (2003), usando o nível de consumo energético máximo equivalente ao trabalho *muito pesado* (600 kcal/hora), por 20 dias.

Processamento Industrial

Esta atividade é exercida por um grupo de agricultores capacitados para tal, em regime de rodízio. Considera-se nesta fase os processos de fermentação, destilação e geração do calor, já que a moagem é feita pelos próprios agricultores logo após a colheita. Se considerarmos as 900 toneladas de cana produzidas por ano e o envolvimento de duas famílias (portanto 2 hectares) por dia no corte, transporte e moagem são necessários 150 dias para o processamento dos 15 hectares. Considerando a jornada diária de 8 horas dentro da microdestilaria, o tempo necessário para o processamento industrial de toda a produção é de 1200 horas/ano.

A Tabela 23 apresenta as premissas assumidas para o cálculo do balanço energético do sistema de produção de Caiçara.

Tabela 23: Premissas para Análise do Balanço Energético

Área Plantada (ha)	15
Produtividade (kg/ha.ano)	60.000
Rendimento Industrial do Alcool	4,7%
Consumo de Lenha (m3) por ton cana	0,87
Densidade da Lenha (kg/m3)	390
Consumo Diesel (litros/há)	30
Densidade Óleo Diesel (kg/m3)	840
Consumo de Eletricidade (kWh/ton cana)	0,98
Teor Alcoólico (% IMPM)	91,50
Densidade Alcool (kg/m3)	824,1
Horas trabalhadas	92
Distância média Plantação x usina (km)	1,4
Quantidade de Bagaço (kg) por 1000kg cana	345

Tabela 24: Saída de dados (por ano)

Qde. Cana Produzida	900.000	kg/ano
Qde. Álcool Produzido por ano (em kg)	42.300	kg/ano
Qde. Álcool Produzido (em Litros/ano)	51.329	litros/ano
Qde. Lenha Consumida	305.370	kg lenha/ano
Qde. Eletricidade Consumido	878	kWh/ano
Produção Anual de Bagaço	310.500	kWh/ano

Tabela 25: Saída de dados (por hectare)

Qde. Álcool Produzido por hectare/ano	2.820	kg/há
Qde. Álcool Produzido (Em Litros/ha)	3.422	litros/há
Qde. Lenha Consumida por hectare	20.358	kg lenha/há
Qde. Eletricidade Consumida por hectare	59	kWh/há
Produção de Bagaço por hectare	20.700	kg/há

Tabela 26: Dados relativos a alimentação animal e produção de leite

Custo de complementação nutricional	4,42	R\$/dia
Quantidade de Vacas leiteiras	12	Vacas/hectare
Tempo de fornecimento da ração	180	dias
Produção de Leite	10	kg/dia
Preço do leite	0,74	R\$/litro

Tabela 27: Calculo da receita da venda do leite

Custo total de alimentação animal	9.547	R\$/há/ano
Produção total de leite	21.600	Litros
Receita total da venda do leite	15.984	R\$
Receita líquida da Venda do leite	6.437	R\$

A Tabela 28 mostra o balanço energético e as fontes energéticas envolvidas nas diferentes etapas, tendo como unidade de análise o hectare.

Tabela 28: Balanço Energético por hectare

	kcal			kcal	R\$	R\$	
	Qde.	Unid.	Ref.	Total	Unid.	Total	%
ENTRADAS				63.942.660		14.956	100,00
Máquina Agrícola				256.470	42,2	295,4	1,98
Tempo de operação (hs)	6	325	c)	1.950	40,0	240,0	1,60
Consumo de Diesel (kg)	25,2	10.100	a)	254.520	2,2	55,4	0,37
Mudas (kg)	12.000		b)	273.000	0,08	960,0	6,42
Mão-de-obra (horas)	232		d)	85.080	160,0	12.640,0	84,51
Preparo e Plantio	64	450	c)	28.800	40,0	2.560,0	17,12
Colheita e transporte	84	450	c)	37.800	40,0	3.360,0	22,47
Processamento industrial	84	220	c)	18.480	80,0	6.720,0	44,93
Tração animal (km)	39,2		e)	168.000		-	
Percurso diário (km)	2,8						
Dias trabalhados	14						
Consumo Energético				63.160.110		1.061,0	7,09
Consumo de Lenha (kg)	20.358	3.100	a)	63.109.800	20,0	1.044,0	6,98
Consumo de eletricidade (kWh)	59	860	a)	50.310	0,29	17,0	0,11
SAÍDAS				61.857.000		14.332,8	
Álcool (kg)	2.820	6.300	a)	17.766.000	2,8	7.896,0	
Bagasso (kg)	20.700	2.130	a)	44.091.000		6.436,8	
RESULTADO				(2.085.660)			

Referências:

a) BEN, 2011

b) SILVA et al, 1978

c) Batiz, E.C. Fisiologia do trabalho, 2003

d) Pimentel, 1977

e) Convertendo o peso animal em homens e aplicando a tabela Batiz

Fonte: O Autor

O cálculo do balanço energético mostrou um resultado negativo de 2.085.660 kcal, correspondente a 3,26%. Ou seja, a soma do conteúdo energético do álcool e bagaço produzidos representa a 96,7% da energia consumida no processo. Aproximadamente 7% da energia consumida são representadas pela lenha, que por ser originária de florestas plantadas pode ser considerada renovável. Alguns autores excluem a contribuição de fontes renováveis na contabilidade de entradas energéticas, para efeito do cálculo do balanço energético. Nessa hipótese, o balanço energético desse processo pode ser considerado positivo em cerca de 4%.

O retorno financeiro da produção de álcool e bagaço é de R\$ 14.332,80 por hectare. Este valor é compatível com a média do rendimento da produção do fumo (tabela 22), o que mostra que a produção conjunta de álcool e alimento é uma alternativa viável à produção do fumo.

3.6 – Sistema de Produção agroindustrial dos derivados de cana na Cooperfumos – Santa Cruz do Sul

A Cooperfumos - Cooperativa Mista dos Fumicultores do Brasil é uma organização criada em 2004 pelos pequenos agricultores produtores de fumo, da região de Santa Cruz do Sul, RS, motivados “pela necessidade de diversificação da produção agrícola nas áreas onde a atividade tabagista se intensificou e da necessidade dos pequenos agricultores terem um instrumento de luta contra a exploração das empresas tabagistas”. (OLIVEIRA, 2010).

Tendo como foco a melhoria das condições de vida de seus associados, a Cooperfumos estabeleceu como alguns dos seus objetivos, a congregação de pequenos produtores rurais para estimular o desenvolvimento e a defesa de suas atividades econômicas e sociais, a valorização de seus produtos através da industrialização e a promoção das vendas em feiras, diretamente ao consumidor. Sua área de atuação abrange cerca de 60 municípios da região Centro Sul do Rio Grande do Sul e seu corpo de associados, que inclui também outros trabalhadores rurais que não produzem fumo, é formado por 10.735 agricultores familiares e médios proprietários.

Como integrante do Movimento dos Pequenos Agricultores, atua em sinergia com a Cooperbio e outras organizações filiadas ao MPA na implementação do conceito e da prática da alimergia.

A produção de cana e derivados tem por objetivo oferecer aos agricultores uma alternativa de diversificação de suas atividades, como forma de reduzir a dependência da indústria de tabaco e melhorar a sua renda através de diferentes opções de produtos derivados da cana-de-açúcar. Em 2007 a Cooperfumos assinou uma parceria com a Petrobrás que permitiu a construção do Complexo Agroindustrial e Profissionalizante Alimentos e Bioenergia São Francisco de Assis e o projeto de produção integrada de alimentos e bioenergia. O Complexo encontra-se instalado no km 103 da BR 471 em uma área de 41 hectares cedida pela Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul e abriga atualmente diversos projetos e infraestruturas na área agrícola, agroindustrial, agrosilvipastoril e de treinamento e capacitação dos agricultores em diversos temas de interesse. A parte agroindustrial inclui infraestruturas para o beneficiamento de derivados de cana (doces, açúcar mascavo, melado, aguardente e álcool); uma extratora de óleos vegetais com capacidade de 8 t/dia e uma usina de biodiesel com capacidade para 1.000 litros/dia, utilizando óleos de fritura e oleaginosas diversas.

3.6.1 – Características da Agroindústria dos Derivados da Cana da Cooperfumos

A agroindústria dos derivados da cana da Cooperfumos é composta por sistemas produtivos de pequena escala, tecnologicamente simplificadas, que visam o aproveitamento do caldo da cana-de-açúcar para a obtenção de diversos produtos. É um modelo que pode ser reproduzido por um agricultor ou grupo de agricultores na sua fazenda e que possibilita produzir doces como o melado e o açúcar mascavo e destilados como o álcool e a cachaça, a partir de caldo da cana conforme o fluxograma da figura 45.

Figura 45: Fluxograma do sistema agroindustrial da Cooperfumos

Fonte: O Autor

A infraestrutura agroindustrial compreende uma moenda móvel atrelada a um trator que se desloca ao campo onde processa a cana cortada manualmente e sem queimada. A moenda tem capacidade de processamento de 2.500 kg/hora de colmo. É formado de três rolos com vincos

circulares, castelos construídos em aço carbono, engrenagens de redução, bacia em chapa de aço-carbono, mancais de atrito em bronze, para acionamento com tomada de força. É acionada pelo próprio motor do trator, consumindo como combustível o óleo diesel. O bagaço e a palha seca são deixados no campo para sua integração ao solo e o caldo extraído é transportado para a agroindústria, onde passa por um decantador e um sistema de filtragem para remoção de partículas como fibras de cana, areia, etc. A ponta da cana é oferecida aos bovinos como alimento.

Figura 46: Processo de moagem da cana no campo
Fonte: O Autor

Na agroindústria, o caldo de cana é despejado num decantador construído em polipropileno com capacidade de 200 litros acoplado a um filtro de pano e segue dois destinos:

- 1) produção de doces (açúcar mascavo e melado) e
- 2) fermentação para a produção de cachaça e álcool combustível.

Para a produção de doces o caldo é bombeado do decantador, passando pelo filtro, para o tacho de pré-aquecimento construído em aço inox 304, 3,00mm, Ø 1,13 x 0,30, capacidade total, (capacidade de carga 200 litros), equipado com manômetro, termômetro, válvula de alívio, registros e drenos, com estrutura de montagem em aço carbono. É feita a correção do pH que pode ser elevado (com aplicação de cal) ou abaixado (com aplicação do ácido cítrico) para aproximadamente 6,5. Em seguida é transferido para o tacho de aquecimento, também em aço inox 304, 3,00mm, Ø 1,13 x 0,30, capacidade total, (capacidade de carga 300 litros), manômetro, termômetro, válvula de alívio, registros e drenos, estrutura de montagem em aço carbono. Acabamento com soldas decapadas e escovado. Ambos os equipamentos são aquecidos com vapor fornecido pela caldeira à lenha de reflorestamento. O caldo é desidratado

até a consistência adequada para produzir açúcar mascavo ou melado. Do tacho de aquecimento o produto com consistência para melado passa para o batedor, de onde é finalizado o processo. Para a produção de açúcar mascavo o produto se cristaliza durante o processo no batedor e daí passa pela peneira vibratória para a obtenção do açúcar mascavo.

Figura 47: Vista parcial do compartimento para produção de doces
Fonte: O Autor

Figura 48: Destilaria de cachaça (Alambique)
Fonte: O Autor

Figura 49: Colunas de destilação do álcool

Fonte: O Autor

A parte do caldo destinada à produção de destilados (cachaça e álcool) segue para a dorna de diluição onde é corrigido o Brix através da adição da água. Desta forma é obtido o mosto que segue para a dorna de fermentação onde se encontra o “pé-de-cuba”, preparado à base de leveduras, capazes de transformar o açúcar contido no mosto em álcool, com a liberação do Dióxido de Carbono.

As dornas são construídas em polipropileno, fundo cônico e cada uma delas tem a capacidade de 1200 litros.

Figura 50: Vista parcial das dornas de fermentação

Fonte: O Autor

O processo de fermentação desenvolve-se por cerca de 36 horas produzindo no final o vinho, composto hidroalcoólico de baixa concentração. O vinho é direcionado para o alambique (para produzir cachaça) ou para as colunas de destilação (para produzir álcool).

O alambique é construído em aço-inox, 304, 1,50mm, aquecido a vapor e tem capacidade de carga para 1000 litros, capacete modelo coluna, sistema de auto limpeza, alonga, termômetro, válvula de segurança, registros de abastecimento e escoamento. Reservatório de condensação e proveta em aço-inox, com suporte para alcoômetro e termômetro, para separação das frações, cabeça, coração e cauda.

A figura 51 apresenta o fluxograma dos processos de produção de cachaça e do etanol da Cooperfumos que usa como fonte de calor para o processo, o vapor produzido pela caldeira a lenha de reflorestamento e a energia elétrica da rede para movimentar as bombas de transferência dos líquidos (água, caldo, mosto e vinho).

Figura 51: Fluxograma dos processos de destilação da Cooperfumos

Fonte: O Autor

As figuras 52 e 53 mostram em detalhe os fluxogramas dos processos de produção de cachaça e álcool, respectivamente.

Figura 52: Fluxograma do Sistema de produção de Cachaça da Cooperfumos
Fonte: O Autor

Figura 53: Fluxograma do Sistema de produção de Álcool da Cooperfumos
Fonte: O Autor

3.6.2 – Balanços de Massa e Energia do Sistema Agroindustrial da Cooperfumos

Para a análise dos fluxos de massa e energia e dos rendimentos no processo de produção dos derivados da cana na agroindústria da Cooperfumos foi feito um acompanhamento e medição de toda a cadeia produtiva. Esta cadeia envolve o corte da cana, a moagem, o transporte, os pré-tratamentos para a produção de doces e destilados e a produção de doces e destilados propriamente dita.

3.6.2.1- Rendimento Agrícola

Para a medição do rendimento agrícola, ou seja, a produtividade da cana por área plantada foi cortada e pesada toda a cana de uma área selecionada de 100m^2 ($10\text{m} \times 10\text{m}$). Obteve-se um total de 906 kg de biomassa, sendo 193 kg de ponteira e 713 kg de colmo industrializáveis. Este valor equivale uma produtividade de 71,3 toneladas de cana por hectare, índice surpreendentemente alto para as condições geográficas locais e considerando os dados de referência do IBGE que estimam a produtividade na região em torno de 35 toneladas/hectare.

Avaliou-se em seguida o índice de maturação da cana (IM), medida que indica o amadurecimento da cana; que ela está com teor de sacarose que favoreça o maior rendimento industrial, portanto, em condições de ser cortada. De acordo com Lima, 2002, um canavial é considerado maduro quando uma amostragem de 10 a 15 colmos aleatórios e bem espalhados, apresentarem Brix médio igual ou superior a 18%. Para a UFSM, 2008, devem ser selecionadas 10 a 12 amostras aleatórias de colmos e determinar o Brix da ponta (BP) e da base (BB) de cada uma delas. O canavial é maduro se a relação das médias ((BP/BB), que expressa o IM estiver entre 0,85 e 1,0. Para ambas as metodologias, o canavial avaliado é considerado maduro. Apresentou o Brix médio de 20% e o IM igual a 0,86.

Os 713 kg de colmos foram moídos ainda no campo utilizando-se a moenda móvel, obtendo como resultado 390 kg de caldo extraído e um volume de 394 litros, resultando numa densidade de 989 kg/m^3 . Obteve-se 323 kg de bagaço, contudo não foi possível medir o teor de umidade, pela ausência de meios para tal. A taxa de extração do caldo foi calculada em 55%. Esta taxa é muito baixa considerando experiências anteriores com a mesma moenda onde a taxa de extração chegou a 70%, segundo os relatos dos técnicos da Cooperbio e da Cooperfumos. A explicação encontrada é a de que sendo uma moenda móvel, este equipamento está sujeito desajustes devido a frequente necessidade de transporte e também ao desgaste natural dos rolos.

Por outro lado, a baixa taxa de extração do caldo significa um bagaço mais rico em açúcar, um produto de maior valor nutritivo quando o objetivo é o aproveitamento do bagaço para alimentação animal. O consumo de óleo diesel pelo trator em 28 minutos de acionamento da moenda foi de 1,4 litros.

O caldo extraído no campo foi transportado, num percurso de 6 km, até a agroindústria, onde se deu início aos processos de produção dos derivados.

3.6.2.2- Rendimento no Processo Fermentativo

O processo de fermentação do caldo de cana moído no campo começou com a transferência de 394 litros do caldo com 19% de Brix (equivalentes a 74 kg de açúcares), do decantador para a dorna de diluição, onde se procedeu a diluição com a adição de 98,5 litros de água para reduzir o Brix a 16%. O mosto, assim produzido, foi transferido para uma das dornas de fermentação contendo 200 litros de pé-de-cuba, onde se daria o processo de transformação dos açúcares contidos no mosto em álcool, com a liberação do CO₂, devido à atuação de leveduras. O processo de fermentação demorou 36 horas resultando em 634 litros de vinho com graduação alcoólica de 6,6 GL.

De acordo com Lima, 2002, a avaliação do rendimento fermentativo pressupõe o conhecimento da natureza do substrato e sua composição. As condições ideais são representadas por um mosto tecnicamente tratado, isento de impurezas, com pH entre 4,0 a 5,0 e grau Brix entre 12 e 16.

“Quando se trabalha com substratos (mosto) complexos, em processos industriais notadamente na presença de corpos estranhos ao meio (fibras, gomas, leveduras selvagens etc.) observa-se a geração de novos subprodutos e o rendimento industrial é reduzido para até 90%. As condições físico-químicas do meio fermentativo tais como a temperatura. A aeração, o pH do meio entre outras, têm notável influência sobre a produção das leveduras durante o processo da fermentação. (LIMA, 2002).

Devido à simplicidade das instalações e dos meios disponíveis para as análises, não foi possível garantir estas condições na agroindústria analisada. O processo de fermentação ocorreu sem o controle necessário da temperatura e do pH na dorna e sem a adição de nutrientes suplementares, outra condição indispensável para melhorar o rendimento da fermentação.

Considerando a reação de fermentação: $C_6H_{12}O_6 = CH_3CH_2OH + 2 CO_2$, parte-se de 180g de açúcares para produzir 92g de etanol e 88g de gás carbônico. Esta relação estequiométrica, no entanto não é factível na prática porque parte do açúcar é consumido no crescimento celular e

em reações secundárias para formações de subprodutos. O rendimento máximo real que se pode atingir num processo fermentativo, conhecido com *Rendimento Pasteur*, é de 95%. E o rendimento de um processo fermentativo qualquer é a razão entre o volume que seria obtido considerando o *Rendimento Pasteur* e o volume realmente obtido. No caso analisado o volume do etanol obtido após a fermentação é de 41,8 litros (634litros de vinho a 6,6 GL), de uma massa de açúcar inicial de 74 kg. O Rendimento Pasteur seria de 70,3 litros de etanol, resultando num rendimento fermentativo de 59,5%. Este é um rendimento muito baixo se comparado, por exemplo, com testes realizados em outros projetos da Cooperbio pela UFSM, que atingiram o rendimento de 77%. Melhores controles do mosto e das condições ambientais podem melhorar este rendimento.

Pela equação de fermentação acima, CO₂ equivale a aproximadamente 48% do produto da reação. A produção deste gás equivale a 21 kg.

3.6.2.3 - Rendimento na Produção de Doces

Na produção de açúcar mascavo foram utilizados 175 litros de caldo de cana com 19% de Brix e pH 4,8. Este pH foi elevado para 6,36 com aplicação de cal.

Após 2h:32mim de aquecimento a 90°C, o caldo já com consistência adequada para produção do açúcar mascavo foi transferido para o batedor, para o início do processo de cristalização. Durante 18 minutos processou-se no batedor acionado por um motor elétrico de 3 cv; 380 V, a cristalização do açúcar mascavo. Em seguida foi transferido para a peneira vibratória (motor de 1 cv; 380 V) para sua desintegração, processo que demorou também 18 minutos. Foram produzidos 26,9 kg de açúcar mascavo neste processo.

Figura 54: Fluxos na produção de Açúcar Mascavo

Se levarmos em conta a entrada no processo de 175 litros de caldo, o que equivale a 173 kg, considerando a densidade do caldo de 0,989, com 19% de brix (19% de açúcares), portando 32,9 kg de açúcares, a produção de 26,9 kg de açúcar mascavo corresponde ao rendimento de 82%.

A produção de melado consumiu 219 litros de caldo (216,6 kg de caldo, contendo 41 kg de açúcares). O processo demorou 4 horas de aquecimento no tacho e mais 1 hora no batedor, tendo como resultado final a produção de 48,4 kg de melado. Rendimento em melado de 118%. Ou seja, para cada 1kg de açúcar contido no caldo extrai-se aproximadamente 1,2 kg de melado.

Figura 55: Fluxos na Produção de Melado

3.6.2.4- Rendimento na Produção de Destilados

Para a produção da cachaça partiu-se de um volume de 643 litros de vinho (mosto fermentado) com 6,45% de teor alcoólico, determinados com o uso do ebuliômetro. O processo começou com a transferência do vinho da dorna volante para o alambique, processo que demorou 6 minutos usando uma bomba de 0,5 cv; 380 V. O processo de destilação propriamente dito, a partir do vapor gerado pela caldeira demorou 3 horas e consumiu 107 kg de lenha. A produção final foi de 66,7 litros de cachaça a 39 GL. Adicionalmente foram produzidos 7,5 litros de “cabeça” a 45 GL e 52,5 litros de “cauda” a 22 GL. Cabeça e cauda são os destilados obtidos no início e no final da destilação da cachaça e que não são aproveitados como bebida, por possuírem alto teor alcoólico e alguns produtos prejudiciais à saúde humana, caso da cabeça, ou baixo teor alcoólico (excesso de água) no caso da cauda. Estes produtos geralmente são misturados ao vinho para a produção do álcool. O rendimento na produção da cachaça ficou em torno de 10%. Se considerarmos a cabeça e a cauda, este rendimento quase que dobra.

Figura 56: Fluxos na Produção de Cachaça

Na produção do álcool foram usados 768 litros de mosto fermentado (vinho), com teor alcoólico igual a 6,6%, avaliado com uso de um ebuliómetro. O processo de destilação decorreu durante 2 horas e produziu 41,2 litros de álcool hidratado a 94,5 GL. Foram consumidos 140 kg de lenha para alimentar a caldeira e o sistema de refrigeração usado foi acionado por uma bomba de 0,5 cv. O cálculo do rendimento da destilação baseou-se nos trabalhos de UFSM, 2008, conforme descrita na tabela 7 (Parâmetros utilizados na avaliação das microdestilarias). Considerando a graduação alcoólica de 94,5 GL e a graduação azeotrópica 97,14%. Chega-se ao rendimento de extração de 77%; rendimento de concentração de 97% e o rendimento final de destilação de 75%. De acordo com os dados da Dedini, 2009 apresentados na tabela 4 deste trabalho, o rendimento de extração nas atuais usinas modernas de grande porte é de 98%, o de destilação 99,5%.

Figura 57: Fluxos na Produção de Álcool

3.7 – Análise de um Modelo Integrado de Produção de Álcool, Cachaça, açúcar Mascavo, Melado e Leite

Para uma análise do aproveitamento integrado dos derivados da cana de açúcar no contexto da agricultura familiar camponesa, propõe-se construir e analisar um modelo de cadeia agroindustrial que contemple os dois sistemas observados na Cooperfumos e na Cooperbio. Ou seja, um sistema que parte da produção agrícola da cana de açúcar, colheita e extração do caldo utilizando uma moenda móvel. O bagaço resultante da extração juntamente com a ponteira é destinado à alimentação das vacas leiteiras para a melhoria na produção de leite,

complementado com nutrientes de valor protéico. O Caldo de cana é transportado para a agroindústria para ser destinado à fermentação para a produção de destilados (cachaça e álcool) e doces. Conforme descrito no sistema Cooperfumos.

Figura 58: Fluxograma do Aproveitamento Integral dos derivados da cana-de-açúcar
Fonte: O Autor

A unidade de referência para a análise do balanço energético é 1 ha (um hectare) de terra destinada à produção de cana. Adota-se como produtividade da cana, o valor de 65,7 toneladas de cana (colmo) por hectare/ano. Este valor é a média entre a produtividade medida em Coopefumos, em Santa Cruz e a estimada para Cooperbio em Caiçara.

Assim, temos na fase agrícola a produção de 83,5 toneladas de biomassa (colmo e ponteira) por hectare, considerando as proporções encontradas na Cooperfumos de 79% de colmo (65,7 t) para 21% de ponteira (17,8 t).

O sistema de extração adotado para a análise é o de moenda móvel, por permitir que o bagaço extraído na propriedade do agricultor possa ali ser deixado para ser processado como alimento bovino e a distância média entre as diferentes plantações e a agroindústria de 3 km. A moenda é atrelada ao trator para o transporte e para acionamento dos rolos, durante o processo de moagem. O trator utilizado é da marca Yanmar Agritech, modelo 1050 DT tração 4 x 4, motor Yanmar BTD40TH de 50,0 cv – TDF de 41,5 cv, com 1.545 kg de peso, de acordo com os dados do fabricante³⁹.

A moenda tem a capacidade de processamento de 2,5 toneladas de colmo de cana por hora e os dados medidos em campo mostram que a moenda tem um rendimento na extração de caldo de cana de 54,7% (em peso). Com estas características, o tempo necessário para processar um hectare de cana seria de 26 horas, com a produção de 36.315 litros de caldo de cana (35,9 toneladas) e 29,8 toneladas de bagaço.

O consumo do trator no processo de moagem é de aproximadamente 3 litros de óleo diesel por hora o que resultaria num consumo de 78 litros de diesel por hectare de cana moída.

De acordo com os dados medidos em campo o rendimento de corte de cana pelo agricultor é de 4 toneladas/dia, numa jornada de 8 horas diária. O tempo necessário para o corte de um hectare será de 131,4 horas.

Serão necessárias 26 horas de trabalho para moer os 65,7 toneladas de colmo e um consumo de 66 litros de óleo diesel. O resultado do trabalho é a produção de 35.946 kg de caldo de cana e 29.770 kg de bagaço.

Metade do caldo obtido é destinada a fermentação para produção de destilados e a outra metade destinada à produção de doces. Da parte destinada à fermentação, 50% é destinada a produção do álcool e 50% à produção da cachaça. Da mesma forma, da parte destinada a produção de doces, 50% vai para a produção do açúcar Mascavo e 50% para a produção do melado, conforme o diagrama abaixo:

Após o processo de fermentação com a adição da água para a diluição do Brix e a presença do pé-de-cuba, obteve-se 31.855 litros de vinho, sendo 15.927 litros usados para a destilação do álcool e outra parte igual para a produção da cachaça.

³⁹ Disponível em: <http://www.agritech.ind.br/site/pt/produtos/1050-4x4.asp?seg=6>

3.7.1- Balanço Energético

A tabela 29 apresenta o balanço energético do processo de produção do caldo de cana e de bagaço, a partir da moagem do colmo da cana-de-açúcar.

Tabela 29: Balanço Energético da Produção de Caldo de Cana e Bagaço

	Qde.	kcal Unid.	Mcal Total	Ref.	%
ENTRADAS			1.331,90		100,00
1. - Produção Agrícola			656,00		49,25
1.1 - Mão de Obra (h)	70	544	38,08 e)		2,86
1.2 - Trator (h)	6	544	3,26 e)		0,25
1.3 - Consumo de Diesel (kg)	25	10.100	254,52 a)		19,11
1.4 - Toletes (kg)	1	264.166	264,17 e)		19,83
1.5 - Calcário (Kg)	1	24.493	24,49 e)		1,84
1.6 - Colheita (h)	131	544	71,48 e)		5,37
					-
2. - Extração Caldo de Cana			675,90 c)		50,75
2.1 - Consumo de Diesel (kg)	66	10.100	661,75 a)		49,68
2.2. - Mão-de-Obra (h)	26	544	14,14		1,06
SAÍDAS			85.803,68		
Caldo de Cana (kg)	35.946	623	22.394,25		
Bagaço (kg)	29.770	2.130	63.409,42		
BALANÇO			84.471,78		

O processo de produção de caldo de cana, com a aplicação de moenda móvel no campo apresenta-se altamente positivo em termos de balanço energético. Isto se explica pela baixa utilização de insumos externos (resumidos ao uso de calcário e do óleo diesel) e na utilização da mão de obra familiar.

As tabelas 30 e 31 mostram os balanços energéticos do álcool e as entradas energéticas da cachaça, melado e açúcar mascavo. Não foram levados em consideração a energia embutida nos materiais e equipamentos usados na agroindústria, pela dificuldade de precisar estes valores. Os resultados mostram que a lenha utilizada para a produção do calor em todos os processos, é o principal peso energético da agroindústria, representando, em todos os casos valores acima de 99%.

Tabela 30: Balanço Energético da Produção de Alcool e Cachaça

Balanço Energético Destilados	Alcool							Cachaça						
	kcal		Mcal	R\$		R\$		kcal		Mcal	R\$		R\$	
	Qde.	Unid.	Total	Ref.	Unid.	Total		Qde.	Unid.	Total	Ref.	Unid.	Total	
ENTRADAS	196						100	406						100,00
Itens														
1. - Consumo de Lenha (kg)	63	3.100	195	a)		99,71		130	3.100	403,3	a)		99,42	
2. - Consumo de eletricidade (kV/h)	0,10	860	0,09	a)		0,04		0,41	860	0,4	a)		0,09	
3. - Mão-de-obra (h)	0,90	544	0,49			0,25		3,6479	544	2,0	e)		0,49	
SAÍDAS	2.063,30													
Alcool (kg)	328	6.300	2.063		2,2	720,5								
Cachaça(kg)						0,0		730				9,0	6.570,3	
BALANÇO	1.867,28							(405,67)						

Fonte: O Autor

Tabela 31: Balanço Energético da Produção de Açúcar Mascavo e Melado

Balanço Energético dos Doces	Açúcar Mascavo							Melado								
	kcal		Mcal		R\$			kcal		Mcal		R\$				
	Qde.	Unid.	Total	Ref.	Unid.	Total	%	Qde.	Unid.	Total	Ref.	Unid.	Total	%		
ENTRADAS	1.064							99,59	1.615							99,54
Itens																
1. - Consumo de Lenha (kg)	341	3.100	1.058	a)			99,51	517	3.100	1.602,69	a)			99,22		
2. - Consumo de eletricidade (KWh)	1,07	860	0,92	a)			0,09	6,09	860	5,24	a)			0,32		
3. - Mão-de-obra (h)	7,94	544	4,32					13,6052	544	7,40						
SAÍDAS	3															
Açúcar Mascavo (kg)	698	3,8	3		7,0	4.884,3										
Melado (kg)	-		-					1003	3	2,67		4,0	4.012,8			
BALANÇO	(1.061,01)								(1.615,32)							

Fonte: O Autor

Foram atribuídos valores financeiros, com base nos preços praticados na região, para os 4 produtos e calculados os rendimentos financeiros das quantidades produzidas de cada um deles. Não foram levados em consideração os custos de produção, relativos ao investimento de capital. Considerando que os 4 produtos são feitos com a mesma quantidade de matéria prima, o caldo de cana, construiu-se um gráfico mostrando o consumo de energia e o rendimento financeiro por produto.

A produção de cachaça teve o menor consumo de energia e maior retorno financeiro. O melado teve o maior consumo de energia e o álcool o menor retorno financeiro, conforme a figura 59.

Figura 59: Cenários de variação da produção dos derivados da cana e respectivas receitas
Fonte: O Autor

3.7.2 – Análise da Sustentabilidade com Base na Energia

A figura 60 apresenta o diagrama emergético do sistema integrado de produção de derivados da cana o álcool e alimento em Caiçara. A mata nativa e a floresta energética constituem parte do sistema, que fornecem importantes serviços ambientais e que a contabilidade convencional não leva em consideração. Do lado externo da fronteira do sistema estão representados os recursos, tanto da natureza (energia solar), como da economia representados por produtos manufaturados (calcário, óleo diesel, semente, eletricidade e complemento proteico) e serviços. Estes recursos entram no sistema e interagem com os elementos internos do mesmo, resultando em produtos que saem do sistema para serem transacionados no mercado, retornando como renda financeira das famílias camponesas. Os principais subsistemas que compõem o sistema integrado são: produção agrícola da cana, pastagem, e microusina e estão detalhados nas figuras 61, 62 e 63. Na parte inferior, em linhas tracejadas está representada a energia degradada durante o processo, observando o princípio da entropia preconizado pela segunda lei da termodinâmica.

Figura 61: Diagrama Sistêmico da Produção agrícola da Cana
Fonte: O Autor

Na figura 62 representativa do subsistema de alimentação bovino, um dos recursos que entram no sistema é a ponteira proveniente do subsistema de produção agrícola. Neste subsistema o gado consome os estoques gerados pela pastagem, assim como a ração produzida pela interação de diferentes recursos vindos de fora do sistema.

Diagrama Sistêmico Alimentação Bovina

Figura 62: Diagrama Sistêmico da produção de Carne e Leite
Fonte: O Autor

O subsistema de agroindústria de produtos da cana é representado na figura 63. O principal recurso que entra é o colmo de cana que interagem com outros recursos da economia em diferentes processos (moagem, fermentação, destilação, trocas térmicas, etc.), resultando nos produtos finais (álcool, cachaça, açúcar mascavo e melado).

Figura 63: Diagrama Sistêmico da Agroindústria dos produtos da Cana
Fonte: O Autor

Tabela 32: Tabela de Cálculo Emergético da produção da cana

		Área (ha) = 1,00		Valor emergético dolar no Brasil 3,7E+12 seJ/dolar		Taxa de Câmbio Média 0,57 dolar/real		Transformidade seJ/unidade de					
Nota	Itens	Dados de entrada	unidade	Fração Renovável	Fluxo	unidade	Transformidade seJ/unidade de	Referência	Energia Renovável seJ	Energia Não-Renovável seJ	Energia Total seJ	%	
R	Renováveis								1,95E+15	0,00E+00	1,95E+15	70,2	
R1	Sol	4,66E+00 kWh/m ² /dia		1	5,20E+13	J	1,00E+00	definição	5,20E+13	0,00E+00	5,20E+13	1,9	
R2	agua de chuva	4,64E+00 l/m ² /ano		1	6,00E+10	J	3,06E+04		1,84E+15	0,00E+00	1,84E+15	66,2	
R3	nutrientes (rocha mãe)	1,80E+01 kg/ha-a		1	1,80E+01	J	3,00E+12		5,40E+13	0,00E+00	5,40E+13	1,9	
R4	Minerais do solo	2,34E+02 Kg/ha/ano		1	7,00E+00	Kg	8,72E+11	Ashton and Montagnini, 19	6,10E+12	0,00E+00	6,10E+12	0,2	
N	Não Renováveis	0							0,00E+00	1,34E+07	1,34E+07	0,0	
N1	perda de solo	1,82E+02		0	1,82E+02	J	7,38E+04		0,00E+00	1,34E+07	1,34E+07	0,0	
M	Materiais								3,77E+14	3,72E+14	7,48E+14	27,0	
M1	tolete	6,50E+01 Kg/ha/ano		0,5	6,50E+01	J	1,13E+13	ulgati e brow n, 2004	3,67E+14	3,67E+14	7,35E+14	26,5	
M2	diesel a)	2,50E+01 Kg/ha/ano		1,0	4,23E+07	J	1,11E+05	Bastianoni et al, 2005 :	4,69E+12	0,00E+00	4,69E+12	0,2	
M3	calcário a)	7,66E+00 Kg/ha/ano		0,5	2,76E+07	J	3,36E+05	ulgati e brow n, 2004	4,64E+12	4,64E+12	9,27E+12	0,3	
S	Serviços								4,72E+13	3,02E+13	7,74E+13	2,8	
S1	Mão de obra	4,12E+03 dias/ano		0,61	1,74E+07	J	4,45E+06	Brandt-Williams, 2002	4,72E+13	3,02E+13	7,74E+13	2,8	
Y	Energia total								2,37E+15	4,02E+14	2,77E+15	100,0	
		Quant.	Unid./ano		J/ha	J/ha/ano	l ou kg/ha						
P	Produtos					4,27E+17	8,35E+04						
P1	Colmo	6,57E+04	5,12E+12		3,36E+17	3,36E+17	6,57E+04						
P2	Ponteira	1,78E+04	5,12E+12		9,11E+16	9,11E+16	1,78E+04						

Fonte: O Autor

Tabela 33: Resumo do cálculo da tabela emergética para cana

R	1,95E+15
N	1,34E+07
I=R+N	1,95E+15
M	7,48E+14
M_R	3,77E+14
M_N	3,72E+14
S	7,74E+13
S_R	4,72E+13
S_N	3,02E+13
F=M+S	8,26E+14
Y=I+F	2,77E+15

Fonte: O Autor

Tabela 34: Índices Emergéticos para Produção da Cana

Indicador	Cálculo	Valor	Unidade
Transformidade	Tr = Y/Qp	6,E-03	seJ/J
Taxa de rendimento	EYR = Y/F	3,36	adimensional
Taxa de investimento	EIR = F/I	0,42	adimensional
Taxa de carga ambiental	ELR = (N+MN+SN)/(R+MR+SR)	0,17	adimensional
Renovabilidade	100*((R+MR+SR)/Y)	85,5	%

Fonte: O Autor

Tabela 35: Tabela de Cálculo Emergético da Agroindústria

		Área (ha) = 1,00		Valor emergético dolar no Brasil 3,7E+12		sej/dolar 1,79		http://economia.uol.com.br/ultimas-noticias/valor/2011/12/01/dolar-ptax-fecha-a-r-17929-queda					
		Taxa de Câmbio Média		real/dolar									
Nota	Itens	Dados de entrada	unidade	Fração Renovável	Fluxo	unidade	Transformi dade seJ/unidade	Referência	Emergia Renovavel seJ	Emergia Não-Renovavel seJ	Emergia Total seJ	%	
I = R + N		RECURSOS NATURAIS							5,22E+13	0,00E+00	5,22E+13	0,41%	
R	Renováveis								5,22E+13	0,00E+00	5,22E+13	0,4	
R1	Sol	4,66E+00	kWh/m²/dia	1	5,20E+13	J	1,00E+00	definição	5,20E+13	0,00E+00	5,20E+13	0,4	
R2	Água	7,37E+03	l/m²/ano	1	3,44E+06	J	6,89E+04	ulgiati e brown, 2004	2,37E+11	0,00E+00	2,37E+11	0,0	
N	Não Renováveis	0								0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0
F = M + S		RECURSOS ECONOMICOS							6,48E+15	6,27E+15	1,28E+16	99,6	
M	Materiais								6,48E+15	6,27E+15	1,28E+16	99,6	
M1	infraestrutura	6,50E+01	kg/ha/ano	0,5	6,50E+01	J	1,13E+13	ulgiati e brow n, 2004	3,67E+14	3,67E+14	7,35E+14	5,7	
M2	eletricidade	7,66E+00	kWh/ha/ano	0,5	2,76E+07	J	3,36E+05	ulgiati e brow n, 2004	4,64E+12	4,64E+12	9,27E+12	0,1	
M3	fermento	1,84E+03	kg/ha/ano	1,0	5,66E+01	US\$	3,70E+12		2,10E+14	0,00E+00	2,10E+14	1,6	
M4	lenha	1,05E+03	kg/ha/ano	0,5	1,50E+10	J	5,81E+03	eucalipto	4,36E+13	4,36E+13	8,72E+13	0,7	
M5	colmo	6,57E+04	kg/ha/ano	0,5	9,30E+11	J	1,26E+04	Bastianoni et al. 2001	5,86E+15	5,86E+15	1,17E+16	91,5	
S	Serviços								7,95E+10	5,09E+10	1,30E+11	0,0	
S1	Mão de obra	4,19E+10	dias/ano	0,61	2,93E+04	J	4,45E+06	Brandt-Williams, 2002	7,95E+10	5,09E+10	1,30E+11	0,0	
Y = I + F		Emergia total							6,54E+15	6,27E+15	1,28E+16	100,0	
Nota	Itens	Quant.	Unid./ano	J/unid.	J/ano	J/ha/ano	I ou kg/ha						
P	Produtos						2,13E+11	5,15E+04					
P1	alcool	3,28E+02	kg	3,40E+04	1,12E+07	1,12E+07	3,28E+02						
P2	vinhoto	1,32E+04	kg	8,40E+04	1,11E+09	1,11E+09	1,32E+04						
P3	bagaço	2,98E+04	kg	7,12E+06	2,12E+11	2,12E+11	2,98E+04						
P4	cachaça	6,44E+03	kg	3,40E+04	2,19E+08	2,19E+08	6,44E+03						
P5	melado	1,00E+03	kg	1,58E+04	1,58E+07	1,58E+07	1,00E+03						
P6	açucar mascavo	6,98E+02	kg	1,11E+04	7,77E+06	7,77E+06	6,98E+02						

Fonte: O Autor

Tabela 36: Resumo do cálculo da tabela emergética para agroindústria

R	5,22E+13
N	0,00E+00
I=R+N	5,22E+13
M	1,28E+16
M _R	6,48E+15
M _N	6,27E+15
S	1,30E+11
S _R	7,95E+10
S _N	5,09E+10
F=M+S	1,28E+16
Y=I+F	1,28E+16

Fonte: O Autor

Tabela 37: Índices Emergéticos para Agroindústria

Indicador	Cálculo	Valor	Unidade
Transformidade	Tr = Y/Qp	6,E+04	seJ/J
Taxa de rendimento	EYR = Y/F	1,00	adimensional
Taxa de investimento	EIR = F/I	244,24	adimensional
Taxa de carga ambiental	ELR = (N+MN+SN)/(R+MR+SR)	0,96	adimensional
Renovabilidade	100*((R+MR+SR)/Y)	51,0	%

Fonte: O Autor

Tabela 38: Tabela de Cálculo Emergético da produção de leite

		Área (ha) = 1,00		Valor emergético dolar no Brasil 3,7E+12		seJ/dolar		Taxa de Câmbio Média 1,79		real/dolar http://economia.uol.com.br/ultimas-noticias/valor/2011/12/01/dolar-ptax-fecha-a-r-17929-queda-de-099.jht		
Nota	Itens	Dados de entrada	unidade	Fração Renovável	Fluxo	unidade	Transformidade seJ/unidade	Referência	Energia Renovável seJ	Energia Não-Renovável seJ	Energia Total seJ	%
I = R + N RECURSOS NATURAIS									1,89E+15	0,00E+00	1,89E+15	13,0
R	Renováveis								1,89E+15	0,00E+00	1,89E+15	13,0
R1	Sol	4,66E+00	kWh/m²/dia	1	5,18E+13	J	1,00E+00	definição	5,18E+13	0,00E+00	5,18E+13	0,4
R2	Chuva	1,20E+03	l/m²/ano	1	6,00E+10	J	3,06E+04	ulgati e brown, 2004	1,84E+15	0,00E+00	1,84E+15	12,6
N	Não Renováveis								0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,0
F = M + S RECURSOS ECONOMICOS									1,24E+16	1,89E+14	1,26E+16	0,0
M	Materiais								1,24E+16	1,59E+14	1,26E+16	86,5
M1	bagço	1,50E+04	Kg/ha/ano	1,00	1,07E+11	J	8,05E+04	mini usina	8,59E+15	0,00E+00	8,59E+15	59,2
M2	complemento proteico	1,07E+03	US\$/ha/ano	0,96	1,07E+03	J	3,70E+12	ulgati e brown, 2004	3,81E+15	1,59E+14	3,96E+15	27,3
S	Serviços								4,72E+13	3,02E+13	7,74E+13	0,5
S1	Mão de obra	4,12E+03	dias/ano	0,61	1,74E+07	J	4,45E+06	Brandt-Williams, 2002	4,72E+13	3,02E+13	7,74E+13	0,5
S2	Eleticidade	1,40E+04	kWh/ha/ano	0,50	3,60E+06	J	3,36E+05	ulgati e brown, 2004	6,05E+11	6,05E+11	1,21E+12	0,0
Y = I + F Energia total									1,43E+16	1,89E+14	1,45E+16	100,0
		Quant.	Unid./ano		J/ha	J/ha/ano		l ou kg/ha				
P	Produtos					7,88E+13		6,57E+04				

Fonte: O Autor

Tabela 39: Resumo do cálculo da tabela emergética para produção de leite

R	1,89E+15
N	0,00E+00
I=R+N	1,89E+15
M	1,26E+16
M _R	1,24E+16
M _N	1,59E+14
S	7,74E+13
S _R	4,72E+13
S _N	3,02E+13
F=M+S	1,26E+16
Y=I+F	1,45E+16

Fonte: O Autor

Tabela 40: Índices Emergéticos para Produção de leite

Indicador	Cálculo	Valor	Unidade
Transformidade	Tr = Y/Qp	2,4E+02	seJ/J
Taxa de rendimento	EYR = Y/F	1,15	adimensional
Taxa de investimento	EIR = F/I	6,69	adimensional
Taxa de carga ambiental	ELR = (N+MN+SN)/(R+MR+SR)	0,01	adimensional
Renovabilidade	100*((R+MR+SR)/Y)	98,7	%

Fonte: O Autor

Tabela 41: Índices emergéticos comparados com os de uma usina padrão

Indicador	Cálculo	Valores			
		Cana	Agroindústria	Pasto	Usina Padrão*
Transformidade	$Tr = Y/Qp$	6,E-03	6,E+04	2,E+02	2,22E+06
Taxa de rendimento	$EYR = Y/F$	3,36	1,00	1,15	1,22
Taxa de investimento	$EIR = F/I$	0,42	0,20	6,69	4,59
Taxa de carga ambiental	$ELR = (N+MN+SN)/(R+MR+SR)$	0,17	0,96	0,01	4,99
Renovabilidade	$100*((R+MR+SR)/Y)$	85,5	51,0	98,7	11,0

Fonte: O Autor
(*Lanzotti, 2000)

3.7.3 – Discussão dos Resultados

O sistema de produção do etanol em pequena escala estudado apresenta índices emergéticos superiores em relação a uma usina padrão, como mostra a tabela 35. A Transformidade (Tr) que indica quanta energia é usada pelo sistema para produzir energia, massa ou dinheiro e que permite comparar o quanto um sistema é mais intensivo em energia, mostra que a usina padrão é muito mais intensivo, em termos de energia incorporada (na ordem de 10^2 maior que a pequena escala).

A taxa de rendimento emergético que indica a incorporação da energia vinda na natureza mostra níveis superiores na parte da produção agrícola da cana. Isso é devido ao baixo uso de insumos externos no campo, na pequena escala.

Como era de se esperar, a carga ambiental da usina padrão também se apresenta muito superior às avaliadas na pequena escala. Enquanto na pequena escala este índice é em torno de 0,1, na usina padrão gira em torno de 4. O mesmo acontece com a taxa de investimento que mede o investimento da sociedade para produzir uma determinada riqueza.

Por último, a renovabilidade, que mede a sustentabilidade do sistema. Na pequena escala todos os índices se situam acima de 50%, enquanto que na usina padrão este índice é de 11%. Estes índices mostram que a produção de álcool em pequena escala associado a outros aproveitamentos dos produtos e coproduto da cana apresenta vantagens do ponto de vista da sustentabilidade, de acordo com a metodologia emergética em relação a grande escala, não obstante precisa ser aperfeiçoada em termos da tecnologia industrial.

Incentivos concedidos a outras fontes energéticas com o biodiesel, as PCHs e a energia solar; ou mesmo à agroindústria sucroalcooleira de grande escala, na sua fase de implantação e consolidação, devem ser estendidos à produção de álcool na escala camponesa como forma de

descentralizar a produção e dar maiores oportunidades de diversificação aos pequenos agricultores.

4 - Conclusões e Recomendações

A produção do etanol combustível no Brasil é uma atividade econômica de grande importância e madura, sendo uma das mais eficientes no mundo, do ponto de vista econômico e energético. Contudo, no aspecto social e ambiental, ainda apresenta práticas questionáveis, em termos de relação de trabalho com os cortadores de cana, o intenso uso de agrotóxicos e as queimadas do canavial para permitir o corte manual. O estudo mostra que com menor utilização de recursos naturais da terra, insumos de base petroquímicos e impactos ambientais finais, se pode produzir maior bem estar para as famílias camponesas. Os índices energéticos mostram que enquanto que para a produção de etanol em larga escala a renovabilidade representa em 11% para produção em pequena escala situa-se acima dos 50%.

A produção do etanol em pequena escala tem um nicho de desenvolvimento muito importante voltado para as cooperativas de pequenos agricultores em regiões distantes dos grandes centros produtores de álcool. Contudo, ainda carece de desenvolvimento tecnológico para maior eficiência dos processos de moagem e destilação e de melhoria da produtividade do canavial.

Levando em conta a realidade local analisada, o nível de saturação da demanda de produtos como o açúcar mascavo, o melado, a cachaça e o álcool, ainda não foi atingido. Apesar de o etanol ter o maior mercado de referência, devido à história brasileira e mundial, enquanto existir espaço para valorizar a produção agrícola e o trabalho em produtos que geram maior retorno como os mencionados e outros subprodutos como a conserva, doces de frutas, deve-se privilegiá-los. Dessa forma valoriza-se a multiplicidade de produtos, a reciclagem dos subprodutos, e a produção integrada no regime familiar, de forma tal que se cria esta carteira de produtos e de insumos mediados pelo trabalho organizado em escala familiar.

Do ponto de vista do monocultivo, cujas características incluem produção intensiva em terra e capital, emprego de alta tecnologia visando economia de escala, e consequentemente obtendo altos índices de produtividade, o modelo familiar de produção, aplicado ao etanol, à primeira vista carece de sentido econômico financeiro. Porém, do ponto de vista estratégico apresenta uma vantagem como válvula final.

Uma vez que o etanol esta se tornando uma *commodity* cujo preço de referência será cada vez mais determinado a partir da relação entre os derivados do petróleo e do próprio etanol como

combustível, assegura-se um mercado praticamente infinito, quando começarem a saturar os mercados de referência para os demais subprodutos.

A produção de etanol baseada na agricultura familiar permite construir uma economia de escopo no âmbito dos insumos e dos produtos, formando o mecanismo que gerará mais segurança para valorizar o trabalho. O risco que corre a agricultura familiar ao produzir um único produto é estar sujeita à determinação dos preços de mercado por um único comprador, por exemplo, o monopsonio do tabaco, do frango ou do porco, ou de outro qualquer. No caso do etanol, em especial, a organização social da produção familiar rompe com esta estrutura (opressão), dando maior grau de autonomia para as famílias, especialmente se elas forem capazes de se organizar em cooperativa, como é o caso das comunidades estudadas. De outro lado, os resultados mostram que nenhum dos fatores intrínsecos da eficiência é prejudicado, porque a produtividade agrícola do sistema familiar pode ser tão elevada quanto na agricultura agroindustrial, ou mais, pelo fato de que, com menos utilização de insumos externos, porque há uma reciclagem natural de todos os nutrientes, na escala de extração do caldo, por exemplo, ou dos subprodutos da cana, é possível melhorar os equipamentos para atingir o mesmo padrão. Mas mesmo que não atingir, ainda existe o reaproveitamento do teor de açúcar remanescente no bagaço, como alimento para o gado, que de outra maneira seria perdida.

Uma política de incentivo à produção do etanol em pequena escala, assim como foi destinada à produção em grande escala é necessária, pelo potencial que a pequena escala tem de complementar a grande escala e de diversificar as atividades das famílias camponesas. Este tipo de produção entraria como elemento coadjuvante da produção em grande escala, em situações como o período de entressafra, aumento nos preços do açúcar, e crescimento da frota de veículos flex.

O estudo mostra também que a comparação das suas opções somente utilizando os atributos econômicos e da eficiência tecnológica não dá a verdadeira dimensão da importância da pequena escala e omite os prejuízos causados pela grande escala à natureza e a sociedade.

5 - Referência Bibliográfica

AVALIAÇÃO da Viabilidade da Produção de Álcool a Partir de Cana-de açúcar e Mandioca em Pequenas Unidades Camponesas de Produção – Santa Maria : UFSM/CT, 2008. Relatório Parcial do Projeto; n.1

_____. Santa Maria : UFSM/CT , 2008. Relatório Parcial do Projeto; n.2.

_____.Santa Maria : UFSM/CT , 2010. Relatório Final do Projeto; n. 3

ALVES, F.J.C. **Modernização da agricultura e sindicalismo:** lutas dos trabalhadores assalariados rurais da Região Canavieira de Ribeirão Preto 1991. Tese (Doutorado) Curso de Pós-graduação em Economia, Instituto de Economia, UNICAMP, Campinas, 1991.

_____. Por que morrem os cortadores de cana? . **Saúde e Sociedade** v.15, n.3, p.90-98, set-dez, 2006

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO . **Acompanhamento de safra brasileira : cana-de-açúcar safra 2010/2011, terceiro levantamento.** Brasília : Conab, 2011.

_____. Acompanhamento de safra brasileira : cana-de-açúcar safra 2009, primeiro levantamento. Brasília : Conab, 2009.

_____.Perfi do açúcar e do alcool no Brasil. Brasília : Conab, 2008. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/safra/perfil.pdf>> Acesso em: 10 jun 2011.

ABRAMOVAY, R. – **Paradigmas do Capitalismo Agrário em Questão** .São Paulo: Hucitec, 1992.

ALMEIDA NETO et. al - **Balanço energético de ésteres metílicos e etílicos de óleo de mamona.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, Campina Grande-PB. 2006. Disponível em: <<http://www.redebaianadebiocombustiveis.br.gov.br/arq>> Acesso em : 10. jun. 2011.

ANALYSIS of the agricultural technologies and dissemination situation in the republic of Mauritius, SADC Multi-country Agricultural Productivity Programme, 2007. Disponível em: <<http://www.sadc.int/fanr/agricresearch/mapp/reports/Mauritius%20->

[%20National%20situation%20analysis%20report%20-%20September%202007.pdf](#)> Acesso em 10 Jun. 2011.

ARBEX, M. A. – **Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara – SP**, Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

ASHE, G. G. - **The feasibility of producing fuel ethanol on a sugar estate using a micro distillery**. In: THE SOUTH AFRICAN SUGAR TECHNOLOGISTS' ASSOCIATION , 1986. **Proceedings**.

ASOCAÑA Y EL SECTOR AZUCARENO. **Informe Anual 2011-2012**. pg 8.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO 14044**: Gestão Ambiental, Avaliação do Ciclo de Vida, Requisitos e Orientações.. Rio de Janeiro, 2009.

AVILA, S.R.S.A; AVILA, M.L. **Considerações sobre o Plano Nacional de Agroenergia e Agricultura Familiar** - GT 8 – Segurança e Soberania alimentar s.d. Disponível em : <<http://www.redesrurais.org.br/sites/default/files/CONSIDERA%C3%87%C3%95ES%20SOBRE%20O%20PLANO%20NACIONAL%20DE%20AGROENERGIA%20E%20AGRICU.pdf>> Acesso em: 20 jun. 2011

BATIZ, E.C. **Fisiologia do trabalho**, Apostila, 2003. Disponível em: <http://www.higieneocupacional.com.br/download/fisiologia-trabalho-eduardo_c_batiz.pdf. Consultado em 30/01/2012.> Acesso em: 10 jan. 2011.

BAUMANN, H.; TILLMAN, A.M. **The Hitch Hiker's Guide to LCA**: an orientation in Life Cycle Assessment methodology and Application. Studentlitteratur AB, Lund, Sweden. Printed in United States of America, 2004

BP Energy Outlook 2030. Disponível em: <http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/2030_energy_outlook_booklet.pdf> Acesso em: 15 jan 2011.

BRASIL. Lei 12.490 de 16 de Setembro de 2011.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal dos Combustíveis Renováveis**, n. 44, ago. 2011.

CAVALCANTI, C. **Concepções da Economia Ecológica: suas relações com a economia**

dominante e a economia ambiental. *In* Estudos Avançados 24 (68) - Teorias Socioambientais. Universidade de São Paulo, 2010.

CHEHEBE, J.R.B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos** : ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro : Qualitymark, 2002.

COOPERBIO - Cooperativa Mista de Produção, Industrialização e Comercialização de Biocombustíveis do Brasil Ltda –**RELATÓRIO DE TESTE MICRO DESTILARIA DE CAIÇARA**, , 2009.

CORTEZ, L.A.B. (Coord) - **Bioetanol de Cana-de-açúcar - P&D para Produtividade e Sustentabilidade** .São Paulo: Bulcher, 2010.

CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; GÓMEZ, E.O.; (Org.) - **Biomassa para Energia** – Campinas : Unicamp, 2008.

DAUDT, C.E.; BRUM, M.A.R.. Aspectos Microbiológicos dos Mostos do Rio Grande do Sul: Isolamento e Testes Morfológicos e Bioquímicos . **Revista Centro Ciências Rurais**, v. 7, n.2, p.123-128, 1977.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Perquenas Indústrias Rurais de Cana-de-açúcar – Melado, Rapadura e Açúcar Mascavo** . Brasília : EMBRAPA, 2003.
FAO, 2008

FAOSTAT. Disponível em : < <http://faostat.fao.org/site/630/default.aspx>) Acesso em: 10 jun 2011.

FEDERACIÓN NACIONAL DE BIOCOMBUSTIBLES DE COLOMBIA, **Fedebiocombustibles, 2012**. Plantas Productoras de Etanol. Disponível em: <<http://www.fedebiocombustibles.com/v2/nota-web-id-270.htm>.> Acesso em: 10 Jun. 2012.

FEDERACIÓN NACIONAL DE BIOCOMBUSTIBLES DE COLOMBIA, **Fedebiocombustibles 2012a**. Plantas Produtoras de Etanol -Proyectos. Disponível em: <<http://www.fedebiocombustibles.com/v2/nota-web-id-621.htm>.> Acesso em: 20 Jun. Jun. 2012.

FEDERACIÓN NACIONAL DE BIOCOMBUSTIBLES DE COLOMBIA, **Fedebiocombustibles 2012b**. Cifras Informativas del Sector deBiocombustibles: Etanol Anhidro de Caña.

FEDERACIÓN NACIONAL DE PANELEROS, **Fedepanela**, 2012. Estadísticas 2010. Disponível em <<http://www.fedepanela.org.co/images/ESTADISTICASPANELA2010.JPG>> Acesso em : 10 Jan. 2012.

FENI, A.; ORTEGA, E. Integrated food, energy and environmental services production as an alternative for small rural properties in Brazil. **ENERGY**; v. 37, n. 1, p. 103-114, Jan., 2012.

FERNANDES, A.C. **Cálculos na Agroindústria da Cana-de-açúcar – STAB**, 2. ed. Piracicaba, 2003. 240p.

FINGUERUT, J et al., **Fermentação Hidrólise e Destilação** – in Biomassa para Energia, Unicamp, 2008.

FOOD and agriculture organization of the United Nations. FAOSTAT, 2010.

GAZONNI et. al. Balanço energético da cultura da canola para a produção de biodiesel. **Espaço Energia** , n. 11, Out. 2009

GOLDEMBERG, J. et al. Energy Balance for Ethyl Alcohol Production from Crops – **SCIENCE**, v. 201, Sept., p. 903-306, 1978.

GOLDEMBERG, J.; GUARDABASSI, P. Are biofuels a feasible option? **Energy Policy**. vol.37, n.1, Jan. ; p. 10, 2009.

GOVERNMENT of Mauritius - **A roadmap for the mauritius sugarcane industry for the 21century**, 2005” disponível em: <http://www.sadc.int/fanr/agricresearch/mapp/reports/Mauritius%20-%20National%20situation%20analysis%20report%20-%20September%202007.pdf>> Acesso em: 10 Jun. 2011.

HERENDEEN, R. NEEDED: examples of applying ecological economics . **Ecological Economics** , n. 9, p.99-105, 1994.

HULETT DEONJL - The development of a micro-distillery for fuel alcohol in Brazil. In : THE SOUTH AFRICAN SUGAR TECHNOLOGISTS' ASSOCIATION, 1981. **Proceedings** ..p.55: 64-66. Disponível em: http://www.sasta.co.za/wp-content/uploads/Proceedings/1980s/1981_Hulett_The%20Development%20Of%20A.pd> Acesso em: 10 Jun. 2011.f

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Comentários: Brasil agrário retratado pelo Censo Agropecuário 2006. notas de esclarecimento.

INSTITUTO CULTURAL PADRE JOSIMO. **Agricultura Camponesa e as Energias Renováveis**: um guia prático .. Porto Alegre : Padre Josimo, 2008.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA DO PARANÁ. **Relatório de Ensaios Nº 12000266**, Curitiba : Centro de Energias Renováveis, 2012.

ISHIHARA. C. A. **A tributação dos Biocombustíveis no Brasil, 2006**. In: Seminário Internacional de Bcombustíveis. OLADE.

LANZOTTI, C.R.; ORTEGA, E.; GUERRA, S.M.; **Emergy Analysis and Trends for Ethanol Production in Brazil**. In: First biennial emergy analysis research conference, Gainesville, Florida. 2000.

LIMA, L.R.; MARCONDES, A.A. **Álcool Carburante**: uma estratégia brasileira – Curitiba : UFPR, 2002

MACEDO, I. C. (Org). **Energia da Cana-de-Açúcar** : doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade - São Paulo : Berlendis & Vertecchia : União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, 2005.

MACEDO, I.C.; NOGUEIRA, L.A.H. **Avaliação da Expansão da Produção de Etanol no Brasil**. Brasília : Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Ciência, Tecnologia e Inovação, 2004

MAPA, disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/>

MARZULLO, R.C.M., Análise de ecoeficiência dos óleos vegetais oriundos da soja e palma, visando a produção de biodiesel. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química. São Paulo, 2007. 302p.

MATERIA de Biocombustíveis. Disponível em:
<http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/UserFiles/File/hidrocarburos/Biocombustible/Politica.pdf>.> Acesso em : Jan. 2012

MAWHINNEY, M. **Desenvolvimento sustentável**: uma introdução ao debate ecológico. Tradução Claudio Queiroz.. São Paulo: Loyola, 2005.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Política Nacional de Biocombustibles em Colombia. In: SEMINARIO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE BIOCOMBUSTIBLES, 5., 2010. Santiago do Chile. Anais. Santiago do Chile , 2010

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. **El Sector Panelero Colombiano**, 2006.

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA, MINMINAS, 2009. **Política General en Biocombustibles**.

MORA-BEJARANO, 2009. Avaliação Exergoecológica de processos de tratamento de esgoto. Tese. Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica. Universidade de São Paulo.

NOGUEIRA, L.A.H; LORA, E.E.S. – **Dendroenergia: fundamentos e Aplicações**. 2ª ed. – Rio de Janeiro: Interciências, 2003.

ODUM, H.T., **Environmental accounting: emergy and environmental decision making**. Gainesville, University of Florida, 1996.

OLIVEIRA, M.J. - **Sistematização Articulação Nacional de Agroecologia: Produção de Alimento, Energia e Serviços Ambientais – Alimergia pela Agricultura Familiar Camponesa – Experiência do Movimento dos Pequenos Agricultores – MPA, Região Sul, RS**, 2010.

OMETTO, A. R. – **Avaliação do ciclo de vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia**. Tese (de Doutorado) - Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.

OMETTO, A.R. et al. - Mini-usinas de álcool integradas: **avaliação emergética** – Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v2/092.pdf>> Acesso em 10 jun. 2011.

OMETTO, A.R.; RAMOS, P.A.R.; LOMBARDI, G. - The benefits of a Brazilian agro-industrial symbiosis system and the strategies to make it happen. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 1253-1258, 2007.

ORTEGA, E. **Contabilidade e diagnóstico de sistemas usando os valores dos recursos expressos em emergia**. Campinas. 2002a. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/extensao/resumo.pdf>. Acesso em: 10/03/2010.

ORTEGA, E. et al. **Manual de cálculo de emergia**. 2002b. Disponível em: <http://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/manual.htm>. Acesso em: 10/03/2010.

ORTEGA, E. ; WATANABE, M. ; CAVALETT, O. A Produção de Etanol em Micro e Mini-destillarias. In: CORTEZ, L. A. B. & LORA, E. S. (Org.). (Org.). Biomassa para Energia. Biomassa para Energia. Campinas, SP: UNICAMP, 2008, v. 1, p. 475-490.

ORTEGA, E. **Tabela de transformidades**. 1998. Disponível em:
<http://www.unicamp.br/fea/ortega/curso/transformid.htm>. Acesso em 10/03/2010.

PETROBRAS - **Histórico das Ações em Biocombustíveis Desenvolvidas na Área de Gás e Energia** – Janeiro de 2003 a Julho de 2008.

PUERTO, RICO J.A. – **Programa de Biocombustíveis no Brasil e na Colômbia: Uma Análise da implantação resultados e perspectivas** - 210p. Dissertação (Mestrado) -. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2007.

RIBEIRO, P.R. et al. **Curso Sequencial de Automação para Indústrias Sucroalcooleira**. s.d. : UNAERP . Apostila de Treinamento, Módulo II,. Disponível em:
<http://pt.scribd.com/doc/55554242/18/Composicao-tecnologica-da-cana-de-acucar> >Acesso em : 20 jun. 2011

RICO, J.A.P; MERCEDES, S.S.P; SAUER, I.L., 2010. Genesis and consolidation of the Brazilian Bioethanol: A review of policies and incentive mechanisms. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 7, Sept., p.1874-1887, 2010.

SACHS, I. A Revolução Energética do Século XXI, **Estudos Avançados** v.21, n. 59, 2007.

SAUER, I. L.; AMADO, N. B.; SEGER, S. Energia, Recursos Minerais e Desenvolvimento . **Journal da Fisenge**, v.6, n.49, junho/julho, 2011.

SCHLESINGER, Sergio. **Agronegócio e biocombustíveis: uma mistura explosiva**. Impactos da expansão das monoculturas para a produção de bioenergia. Rio de Janeiro, set. 2006. Disponível em: <http://www.natbrasil.org.br/Docs/biocombustiveis/biocomb_port.pdf>. Acesso em : 12 jan. 2012.

SHAH, S. **A história do petróleo: entenda como e por que o petróleo dominou o mundo** Porto Alegre, L&PM, 2007.

SHARASHKIN, L. **The Socioeconomic and Cultural Significance of Food Gardening in the Vladmir Region of Russia** - Dissertation Presented to the Faculty of the Graduate School at the University of Missouri – Columbia, in partial fulfillment of the requirements for the Degree Doctor of Philosophy, 2008.

SILVA et.al. Energy Blance for Ethyl Alcohol Production from Crops. Science, v. 201, n.8, Sept., Volume 201, pp, 903-906, 1978.

SILVA, M. A. M. in ZAFALON, M. Cortadores de cana têm vida útil de escravo em SP. **Jornal Folha de São Paulo**. 29 abr. 2007 . Seção Dinheiro.

SILVA, O; FISCHETTI, D. Etanol: a revolução verde e amarela . São Paulo, Bizz Comunicação e Produções, 2008.

SILVA, Orlando Cristiano da Silva. [Análise do aproveitamento econômico e energético do óleo de Palma na Guiné-Bissau na perspectiva do desenvolvimento sustentável](#). São Paulo, 1997. Dissertação (Mestrado). Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

TILMAN, D. et al Beneficial Biofuels: The Food, Energy, and Environment Trilemma. *Science* , v. 15 ,June , p.316: 1567, 2007.DOI: 10.1126/science.1140365 .

TODESCO, J.C. (Org.) **Agricultura familiar**: realidade e perspectivas Rio Grande do Sul: Universidade Federal de Passo Fundo, 1998.

YIN, R.K. **Case Study Research: Design and Methods**. Beverly Hills, Calif: Sage Publications, 1984.

VERNHAGEN, F.A. – **História geral do Brazil**. Madrid : Imprensa de V. Dominguez, 1854. p. 141)

WANDERLEY, M.N.B. - **Estudos Sociedade e Agricultura** - Rio de Janeiro, 2003. p.42-61.