



cgEE



Projeto: Estudo sobre as Possibilidades e Impactos da Produção de Grandes Quantidades de Etanol visando à Substituição Parcial de Gasolina no Mundo

Fase 1

Relatório Final

Projeto: Estudo sobre as Possibilidades e Impactos da Produção de Grandes Quantidades de Etanol visando à Substituição Parcial de Gasolina no Mundo – Fase 1

Relatório Final



Brasília, DF
Dezembro, 2005

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos

Presidenta

Lucia Carvalho Pinto de Melo

Diretor Executivo

Marcio de Miranda Santos

Diretor

Paulo Afonso Bracarense Costa

Projeto: Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo – Fase 1. Relatório Final.
Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2009.
335 p : il.

Etanol – Brasil. Biocombustível – Brasil. I. Título. II. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos.

*Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE
SCN Qd 2, Bl. A, Ed. Corporate Financial Center sala 1102
70712-900, Brasília, DF
Telefone: (61) 3424.9600
<http://www.cgEE.org.br>*

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do Contrato de Gestão CGEE – 7º Termo Aditivo/Ação/Subação: Etanol /MCT/2005.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada à fonte.

Projeto: Estudo sobre as Possibilidades e Impactos da Produção de Grandes Quantidades de Etanol visando à Substituição Parcial de Gasolina no Mundo – Fase 1

Relatório Final

Supervisão

Marcio de Miranda Santos

Consultores

Rogério Cerqueira Leite (Coordenador)

Luiz Augusto Barbosa Cortez (Coordenador Adjunto)

André Tosi Furtado

Manoel Sobral Júnior

José Antônio Scaramucci

Carlos Eduardo Vaz Rossel

Manoel Regis Lima Verde Leal

Mirna Ivonne Gaya Scandiffio

Edgardo Olivares Gómez

Orlando F. J. Bordoni

Marcelo Cunha

Daniele Urioste

Juan Catañeda Ayarza

Isis Maria Ditrich Demário Fujijy

Equipe técnica do CGEE

Marcelo Khaled Poppe (Coordenador)

SUMÁRIO

1. PROJEÇÕES DE CRESCIMENTO DOS CONSUMOS DE GASOLINA E ÁLCOOL NO MUNDO.....	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 PRODUÇÃO DE ETANOL NO MUNDO E MERCADO POTENCIAL	3
1.2.1 INTRODUÇÃO	3
1.2.2 POLÍTICAS DE APOIO AO ETANOL COMO BIOCOMBUSTÍVEL.....	4
1.2.3 MERCADO POTENCIAL DE ETANOL BIOCOMBUSTÍVEL.....	7
2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO.....	26
2.1 INTRODUÇÃO.....	26
2.2 CANA-DE-AÇÚCAR.....	28
2.2.1 INTRODUÇÃO.....	28
2.2.2 PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR.....	31
2.2.3 PROCESSAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	40
2.3 PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ETANOL: TECNOLOGIAS DE PONTA.....	45
2.3.1 INTRODUÇÃO.....	45
2.3.2 RECEPÇÃO E LIMPEZA DE CANA	46
2.3.3 PREPARO DE CANA.....	46
2.3.4 EXTRAÇÃO.....	46
2.3.5 PRÉ-TRATAMENTO FÍSICO DO CALDO.....	46
2.3.6 TRATAMENTO DO CALDO E ESTERILIZAÇÃO DO MOSTO.....	47
2.3.7 CONCENTRAÇÃO DO CALDO E PREPARADO DO MOSTO.....	48
2.3.8 FERMENTAÇÃO.....	48
2.3.9 DESTILAÇÃO.....	49
2.3.10 GERAÇÃO DE VAPOR E ENERGIA ELÉTRICA.....	49

3. NOVAS TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE ETANOL	50
3.1 NOVAS TECNOLOGIAS PARA PRODUÇÃO DE CANA-DE AÇÚCAR	50
3.2 NOVAS TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE ETANOL	55
3.2.1 RECEPÇÃO, PREPARO E MOAGEM	55
3.2.2 TRATAMENTO DE CALDO	60
3.2.3 FERMENTAÇÃO	61
3.2.4 RESFRIAMENTO DE FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA, SITUAÇÃO ATUAL E ALTERNATIVAS PARA OTIMIZAÇÃO	66
3.2.5 SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO AUXILIARES	67
3.2.6 DESTILAÇÃO	67
3.2.7 PROCESSOS DE DESIDRATAÇÃO	69
3.2.8 TRATAMENTO DO VINHOTO	73
3.2.9 IMPACTO NA INTRODUÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS DE ETANOL	77
3.2.10 IMPACTO DA INTRODUÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS. ALTERNATIVAS PARA GERAÇÃO DE EXCEDENTES DE ENERGIA ELÉTRICA	78
3.3 NOVAS TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE ETANOL. HIDRÓLISE DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS	110
3.3.1 ESTADO ATUAL DAS TECNOLOGIAS DE HIDRÓLISE	110
3.3.2 HIDRÓLISE ÁCIDA PROCESSO ORGANOSOLV	110
3.3.3 HIDRÓLISE ENZIMÁTICA	113
3.3.4 IMPACTO DA INTRODUÇÃO DOS PROCESSOS HIDROLÍTICOS	117
4. EXPANSÃO DA PRODUÇÃO	120
4.1 SITUAÇÃO NO CURTO PRAZO. NOVOS PROJETOS	122
4.2 ÁREAS DISPONÍVEIS PARA A EXPANSÃO DO CANAVIAL	124
4.2.1 METODOLOGIA	124
4.2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS DO BRASIL	128
4.2.3 DEFINIÇÃO DO POTENCIAL RELATIVO AO SOLO	128
4.2.4 CARACTERIZAÇÃO DOS TIPOS CLIMÁTICOS	130

4.3	MÓDULO PADRÃO PARA EXPANSÃO	139
4.4	INVESTIMENTOS PREVISTOS	141
4.5	CUSTOS DE PRODUÇÃO	141
5.	INFRA-ESTRUTURA EXISTENTE E PROJETOS DE MELHORIAS E AMPLIAÇÃO COM FOCO NO TRANSPORTE DE ETANOL	146
5.1	TRANSPORTE FERROVIÁRIO	147
5.1.1.	CORREDOR TRANSVERSAL NORDESTE (TRANSNORDESTINA).....	149
5.1.2.	CORREDOR NORTE-SUL.....	150
5.1.3.	CORREDOR SANTOS.....	152
5.1.4	FERROANEL NORTE (CORREDOR SEPETIBA) E FERROANEL SUL.....	152
5.2	SISTEMA DE DUTOS (PETROBRÁS/TRANSPETRO)	154
5.3	TRANSPORTE AQUAVIÁRIO	159
5.3.1.	PORTOS.....	159
5.3.2.	PRINCIPAIS HIDROVIAS E RIOS	189
5.3.3.	TERMINAIS PORTUÁRIOS.....	193
5.4	CONCLUSÃO	197
6.	CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS SOBRE A PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL E DESCRIÇÃO DAS TRANSFORMAÇÕES DO SISTEMA SOCIOECONÔMICO BRASILEIRO	202
6.1	DEFINIÇÃO DE ÁREAS PARA EXPANSÃO DA OFERTA DE ÁLCOOL	202
6.2	CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS SOBRE A PRODUÇÃO DE ETANOL NO BRASIL E DESCRIÇÃO DAS TRANSFORMAÇÕES DO SISTEMA SOCIOECONÔMICO BRASILEIRO	225
6.2.1.	DETALHAMENTO DA METODOLOGIA DA CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS	225
6.2.2.	CENÁRIO DE EXPANSÃO DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR E DO ÁLCOOL NO PAÍS	227
6.3	CONCLUSÃO	234
7	AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS	235
7.1	INTRODUÇÃO	235

7.2	O MODELO BÁSICO DE INSUMO-PRODUTO	236
7.3	O MODELO ESTENDIDO DE INSUMO-PRODUTO	242
7.4	BASE DE DADOS	247
7.4.1.	ATUALIZAÇÃO DA MATRIZ DE INSUMO-PRODUTO.....	248
7.4.2.	DESAGREGAÇÃO SETORIAL.....	250
7.5	IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS	255
7.5.1.	IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DA ETAPA DE OPERAÇÃO	257
7.5.2.	IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DA ETAPA DE INVESTIMENTOS	268
7.5.3.	IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DE UM CLUSTER TÍPICO.....	277
7.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	279
8.	DISPONIBILIDADE E DEMANDA DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	282
8.1	DISPONIBILIDADE E USO DE ÁGUA NO BRASIL-SETOR SUCROALCOOLEIRO	283
8.1.1	CAPTAÇÃO E USO DE ÁGUA NO PROCESSAMENTO DA CANA-DE-AÇÚCAR .	297
8.1.2	CAPTAÇÃO DA ÁGUA PARA USO INDUSTRIAL NA AGROINDÚSTRIA DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	297
8.1.3	LEGISLAÇÃO SOBRE O USO DE RECURSOS HÍDRICOS	299
8.2	EFLUENTES PRINCIPAIS, CARGA ORGÂNICA E TRATAMENTO	304
8.3	PROTEÇÃO DE NASCENTES E CURSOS DE ÁGUA	304
8.4	CONCLUSÕES	306
9.	CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS	311
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	314

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1	01
Figura 1.2.3-1: Produção mundial de Etanol	07
Figura 1.2.3-2: Participação dos Biocombustíveis na UE em 2002	10
Figura 1.2.3-3: Principais produtores de bioetanol combustível na UE	11
Figura 1.2.3-4: Comércio do Etanol Combustível em 2010	20
Capítulo 2	26
Figura 2.1-1: Localização das usinas de açúcar e álcool no Brasil	28
Figura 2.2.1-1: Produção brasileira de cana, açúcar e álcool	30
Figura 2.2.2-1: Utilização de variedades no Brasil	36
Figura 2.2.2-2: Evolução da produtividade por regiões	36
Figura 2.2.2-3: A evolução da colheita mecânica de cana-de-açúcar	37
Figura 2.2.2-4: Variação da produtividade agrícola e teor de sacarose entre usinas	40
Figura 2.2.3-1: Processamento da cana	43
Figura 2.3.1-1: Produção de Etanol	45
Capítulo 3	50
Figura 3.2.1-1: Protótipo do sistema de extração hidrodinâmico	59
Figura 3.2.1-2: Evolução do índice de extração da planta piloto do sistema de extração hidrodinâmico	60
Figura 3.2.10-1: Estrutura para o dimensionamento energético do esquema térmico simplificado da destilaria autônoma de 500 tc/h de capacidade	80
Figura 3.2.10-2: Implantação das novas usinas e/ou destilarias	99
Figura 3.3.3-1: Processo de Sacarificação e Fermentação Simultâneas	115

Capítulo 4	120
Figura 4-1: Localização das usinas no Brasil	121
Figura 4.1-1: Localização das novas usinas previstas no plano de expansão	123
Figura 4.2-1: Esquema utilizado na elaboração do mapa de potencial de expansão de cana-de-açúcar	125
Figura 4.2-2: Principais áreas com restrição ambiental declividade	127
Figura 4.2-3: Mapa do Brasil – Diversidade de tipos de solos	129
Figura 4.2-4: Brasil. Classificação dos tipos climáticos	131
Figura 4.2-5: Mapa de solos do Brasil	133
Figura 4.2-6: Mapa climático do Brasil	134
Figura 4.2-7: Mapa do potencial de áreas para produção de cana-de-açúcar sem irrigação	135
Figura 4.2-8: Mapa do potencial de áreas de produção de cana-de-açúcar com irrigação	136
Capítulo 5	146
Figura 5.1-1: Principais ferrovias do Brasil	148
Figura 5.1-2: Ferrovias do corredor transversal Nordeste	149
Figura 5.1-3: Ferrovia Norte-Sul. Atual e Planejada	151
Figura 5.1-4: Ferroanel Norte (Corredor Sepetiba) e Ferroanel Sul	153
Figura 5.2-1: Infra-estrutura de coletores e dutos da Petrobrás	155
Figura 5.2-2: Sistemas de dutos da Petrobrás	156
Figura 5.2-3: Projeto na Hidrovia Tietê-Paraná	157
Figura 5.3.1-1: Mapa dos Principais Portos	160
Figura 5.3.1-2: Mapa das Principais Hidrovias	161
Figura 5.3-3: Porto de Paranaguá	164
Figura 5.3-4: Vista do Porto de Santos	165
Figura 5.3-5: Porto de São Sebastião	166

Figura 5.3-6: Porto de Sepetiba	167
Figura 5.3-7: Porto do Rio de Janeiro	168
Figura 5.3-8: Porto de Vitória	169
Figura 5.3-9: Barra do Riacho	170
Figura 5.3-10: Porto de Ilhéus	171
Figura 5.3-11: Porto Aratu	172
Figura 5.3-12: Porto de Salvador	173
Figura 5.3-13: Porto de Maceió	174
Figura 5.3-14: Porto de Suape	175
Figura 5.3-15: Porto Suape (PGL-L-1)	176
Figura 5.3-16: Suape – Área Portuária	177
Figura 5.3-17: Porto de Recife	178
Figura 5.3-18: Porto de Cabedelo	179
Figura 5.3-19: Porto de Natal	180
Figura 5.3-20: Porto de Areia Branca	180
Figura 5.3-21: Porto de Fortaleza	181
Figura 5.3-22: Porto de Pecém	182
Figura 5.3-23: Porto de Itaqui	183
Figura 5.3-24: Porto de Belém	185
Figura 5.3-25: Porto de Vila Conde	185
Figura 5.3-26: Porto de Macapá	186
Figura 5.3-27: Vista panorâmica dos terminais em Santos	194
Figura 5.3-28: Controlador de Terminal	194
Figura 5.3-29: Posto de pesagem de caminhão tanque	195
Figura 5.3-30: Ponto de transferência de combustível dos caminhões para os tanques	195
Figura 5.3-31: Terminal Santos (tanques para estocagem de granéis líquidos)	196

Capítulo 6	202
Figura 6.1-1: Cenário 1: áreas para expansão da oferta de etanol	205
Figura 6.1-2: Áreas para expansão na região Centro-Sul	208
Figura 6.1-3: Áreas para expansão na região N-NE	210
Figura 6.1-4: Potencial de produtividade da região Centro-Sul	212
Figura 6.1-5: Potencial de produtividade na região Norte-Nordeste	213
Figura 6.1-6: Áreas contempladas na A10	214
Figura 6.1-7: A10 Alocação de <i>Clusters</i>	216
Figura 6.1-8: Logística para escoamento de álcool – Área 10 (A10)	217
Figura 6.1-9: Traçado preliminar de dutos para escoamento de álcool Região Centro-Sul	220
Figura 6.1-10: Dimensionamento Fase 1	222
Figura 6.1-11: Dimensionamento Fase 2	223
Figura 6.1-12: Dimensionamento da Fase 3	224
Figura 6.2-1: Projeção do Valor das Exportações de Álcool a partir da Nova Capacidade Produtiva	233
Capítulo 7	235
Figura 7.2-1: O modelo de insumo-produto	237
Figura 7.5-1: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o valor da produção	259
Figura 7.5-2: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o nível de empregos	263
Figura 7.5-3: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o PIB	266
Figura 7.5-4: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o valor da produção	270
Figura 7.5-5: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o nível de empregos	272
Figura 7.5-6: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o PIB	275

Capítulo 8	282
Figura 8.1-1: Divisão Hidrográfica Nacional - Regiões hidrográficas, sub-regiões e unidades hidrográficas de referência (Resolução no 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos)	284
Figura 8.1-2: Relação entre demanda e disponibilidade hídrica nos principais cursos d'água	286
Figura 8.1-3: Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Amazônica	287
Figura 8.1-4: Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Atl. NE Ocidental	288
Figura 8.1-5: Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Tocantins/Araguaia	288
Figura 8.1-6: Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Parnaíba	289
Figura 8.1-7: Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Atl. NE Oriental	289
Figura 8.1-8: Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica São Francisco	290
Figura 8.1-9: Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Paraguai	290
Figura 8.1-10: Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Paraná	291
Figura 8.1-11: Consumo de recursos hídricos no Brasil e por região hidrográfica com referências nas vazões de retirada, consumo e retorno	293
Figura 8.1-12: Consumo de recursos hídricos por região e setor usuário com referências nas vazões de retirada para os diferentes usos nas regiões hidrográficas	294
Figura 8.1-13: Regiões hidrográficas com a localização das 12 áreas de expansão da produção de etanol combustível	295
Figura 8.1-14: Potencial hídrico do Brasil com localização das 12 áreas de expansão da produção de etanol combustível	296

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1	01
Tabela 1.2.3-1: Mercado de etanol combustível dos EUA	08
Tabela 1.2.3-2: Consumo de Gasolina Projetado	16
Tabela 1.2.3-3: Participação do Etanol Combustível segundo políticas dos países	17
Tabela 1.2.3-4: Produção projetada de Etanol	18
Tabela 1.2.3-5: Mercado potencial do etanol combustível	19
Capítulo 2	26
Tabela 2.1-1: Principais produtores de álcool da região Centro-Sul	27
Tabela 2.2.1-1: Produção mundial de cana de açúcar	28
Tabela 2.2.1-2: Áreas de culturas no mundo	29
Tabela 2.2.1-3: Área ocupada e produção de culturas no Brasil	29
Tabela 2.2.2-1: Ciclo típico de cana de açúcar na região Centro-Sul	32
Tabela 2.2.2-2: Redução da queimada dos canaviais: Lei Estadual nº11.241	33
Tabela 2.2.2-3: Redução da queimada dos canaviais: Lei Federal nº2.661	33
Tabela 2.2.2-4: Tipos de transporte de cana	34
Tabela 2.2.2-5: Taxas médias de aplicação de fertilizantes	34
Capítulo 3	50
Tabela 3.1.-1: Custo da palha posto usina (US\$/t, base seca)	53
Tabela 3.1.-2: Custo de enfardamento da palha	54
Tabela 3.1.-3: Energia da cana (1 tonelada de colmos)	55
Tabela 3.2.1-1: Evolução da capacidade das moendas brasileiras (t cana/h)	57
Tabela 3.2.1-2: Evolução da eficiência de extração das moendas (%)	58
Tabela 3.2.1-3: Economia de energia do sistema de extração hidrodinâmico em relação aos processos convencionais	60

Tabela 3.2.9-1: Impacto da introdução de novas tecnologias na produção de etanol	78
Tabela 3.2.10-1: Resumo das opções tecnológicas avaliadas	96
Tabela 3.2.10-2: Projeção da penetração dos cenários tecnológicos de geração de energia para as novas usinas e/ou destilarias	100
Tabela 3.2.10.3: Capacidade instalada, geração de excedentes de energia elétrica e bagaço de cana para na "área 10" para diferentes cenários tecnológicos de geração	107
Tabela 3.2.10.4: Valores médios agrupados da capacidade instalada, geração de excedentes de energia elétrica e de bagaço de cana correspondentes à "área 10" para os diferentes cenários tecnológicos de geração	108
Tabela 3.2.10-5: Valores médios globais de geração de excedentes de energia elétrica e capacidade instalada considerando as 12 áreas de expansão determinadas pelo projeto (615 usinas e/ou destilarias) para os diferentes cenários tecnológicos de geração	108
Tabela 3.2.10-6: Índices de aumento da geração específica de excedentes de energia elétrica em relação ao cenário médio de partida (cenário de geração 1 de 40 kWh/tc)	109
Tabela 3.3.2-1: Dados de desempenho do Processo DHR obtidos em bancada	111
Tabela 3.3.4-1: Impacto da hidrólise de bagaço na produção de etanol	118
Capítulo 4	120
Tabela 4-1: Crescimento da produção de cana-de-açúcar no Centro-Sul	120
Tabela 4.2-1: Tipos climáticos	130
Tabela 4.2-2: Potencial de Produção da Cana de Açúcar	138
Tabela 4.5-1: Comparação dos custos de produção do etanol	142
Tabela 4.5-2: Custos de etanol em vários países	142
Tabela 4.5-3: Custos médios de produção de cana	143
Tabela 4.5-4: Custos de industrialização da cana para produzir etanol	144
Tabela 4.5-5: Custos administrativos na produção de etanol	145
Tabela 4.5-6: Custo total de produção de etanol	145

Capítulo 5	146
Tabela 5.2-1: Centros coletores de álcool da Petrobrás	154
Tabela 5.2-2: Resumo de investimentos 2005-2015	158
Tabela 5.3-1: Tabela dos Principais Portos do Brasil	163
Tabela 5.3-2: Relação de importação exportação de graneis líquidos em relação ao movimento total para o ano de 2002	187
Tabela 5.3-3: Tabela comparativa das movimentações de cargas nos anos 2000 e 2002	188
Tabela 5.3-4: Rios Compreendidos na Bacia Amazônica	189
Tabela 5.3-5: Rios Compreendidos na Bacia do Tocantins e Araguaia	190
Tabela 5.3-6: Rios Compreendidos na Bacia do Rio São Francisco	190
Tabela 5.3-7: Rios Compreendidos na Bacia Tietê-Paraná	191
Tabela 5.3-8: Rios Compreendidos na Bacia do Paraguai	192
Capítulo 6	202
Tabela 6.1-1: Definição da destilaria-padrão e ajustes para o cenário 1	203
Tabela 6.1-2: Áreas ocupadas por culturas temporárias e permanentes, nos Municípios definidos para expansão	206
Tabela 6.1-3: Relação das culturas temporárias e permanentes	207
Tabela 6.1-4: Áreas Seleccionadas e Produção na região Centro-Sul	209
Tabela 6.1-5: Áreas Seleccionadas e Produção na região Norte-Nordeste	211
Tabela 6.1-6: Potencial e Adequação das 12 Áreas Seleccionadas	211
Tabela 6.1-7: Disponibilidade de áreas e produção na A10	215
Tabela 6.1-8: Potencial de Produção das 12 áreas seleccionadas	218
Tabela 6.1-9: Produção Alvo para a Região Centro-Sul	219
Tabela 6.1-10 : Estimativa de Investimento - Fase 1	222
Tabela 6.1-11: Estimativa de investimento da Fase 2	223
Tabela 6.1-12: Estimativa de investimento da Fase 3	224
Tabela 6.2-1: Produção de Cana-de-Açúcar e de Álcool em 2004	228

Tabela 6.2-2: Evolução da Produção de Cana e de Álcool	230
Tabela 6.2-3: Distribuição da produção de Álcool Hidratado e Anidro	231
Tabela 6.2-4: Balanço Energético do Cenário 1	232
Capítulo 7	235
Tabela 7.2-1: Economia agregada em três setores	239
Tabela 7.2-2: Matriz de coeficientes técnicos diretos A	239
Tabela 7.2-3: A matriz $I - A$	239
Tabela 7.2-4: A matriz inversa de Leontief	240
Tabela 7.2-5: Tabela de transações agregada para o Brasil em 2002	241
Tabela 7.2-6: Matriz inversa de Leontief para o cálculo dos multiplicadores do tipo II	241
Tabela 7.3-1: Matriz de transações para o modelo estendido de insumo-produto	244
Tabela 7.3-2: A tabela 7.3-1 para o Brasil em 2002	246
Tabela 7.3-3: A matriz \bar{A} para a colheita de 2002-2003	246
Tabela 7.3-4: A matriz \bar{A} com mecanização da colheita de 2002-2003	246
Tabela 7.3-5: Valor da produção, PIB e pessoal ocupado em 2002	247
Tabela 7.3-6: Variações absolutas do valor da produção, PIB e pessoal ocupado como resultado do choque paramétrico aplicado	247
Tabela 7.4-1: Tabelas componentes da matriz de insumo-produto	249
Tabela 7.4-2: Classificação padrão de setores do IBGE	251
Tabela 7.4-3: Classificação padrão de produtos do IBGE (tabela CNAE nível 80)	252
Tabela 7.4-4: Coeficientes técnicos diretos dos setores desagregados	254
Tabela 7.4-5: Coeficientes de importações, impostos, fatores primários e pessoal ocupado	255
Tabela 7.5-1: Índices de preços	255
Tabela 7.5-2: Correspondência setorial	256

Tabela 7.5-3: Resumo dos impactos socioeconômicos sobre o PIB [R\$ bilhões] e pessoal ocupado [mil]	256
Tabela 7.5-4: Resumo dos impactos socioeconômicos em um cluster de 15 destilarias sobre o PIB [R\$ milhões] e pessoal ocupado [mil]	257
Tabela 7.5-5: Impactos sobre o valor da produção [R\$ bilhões]	259
Tabela 7.5-6: Impactos sobre o valor da produção	260
Tabela 7.5-7: Crescimento setorial	261
Tabela 7.5-8: Impactos sobre o nível de empregos	263
Tabela 7.5-9: Impactos sobre o nível de empregos	265
Tabela 7.5-10: Impactos sobre o PIB (R\$ bilhões)	266
Tabela 7.5-11: Impactos sobre o PIB (R\$ bilhões)	267
Tabela 7.5-12: Investimentos [R\$ bilhões (setembro de 2005)]	269
Tabela 7.5-13: Investimentos [R\$ bilhões (2002)]	269
Tabela 7.5-14: Impactos sobre o valor da produção (R\$ bilhões)	270
Tabela 7.5-15: Impactos sobre o valor da produção (R\$ bilhões)	271
Tabela 7.5-16: Impactos sobre o nível de empregos	272
Tabela 7.5-17: Impactos sobre o nível de empregos	274
Tabela 7.5-18: Impactos sobre o PIB (R\$ bilhões)	275
Tabela 7.5-19: Impactos sobre o PIB (R\$ bilhões)	276
Tabela 7.5-20: Impactos sobre o valor da produção em um <i>cluster</i> típico	277
Tabela 7.5-21: Impactos sobre o nível de empregos em um <i>cluster</i> típico	278
Tabela 7.5-22: Impactos sobre o PIB em um <i>cluster</i> típico	278
Capítulo 8	282
Tabela 8.1-1: Oferta e consumo de águas de superfície, Brasil e mundo	283
Tabela 8.1-2: Potencial hídrico das regiões hidrográficas e no país	285

Tabela 8.1-3: Principais rios com trechos onde a relação entre demanda e disponibilidade é, pelo menos, preocupante (>10%)	292
Tabela 8.1-4: Vazão de retirada, consumo e retorno e percentuais	293
Tabela 8.1-5: Estimativa das quantidades de rios presente nas áreas de expansão da produção de etanol combustível	296
Tabela 8.1.2-1: Usos de água (valores médios em usinas com destilaria anexa)	298
Tabela 8.1.2-2: Captação, consumo e lançamento de água: 1990 e 1997	298
Tabela 8.1.3-1: Formulário para obtenção de informações sobre pedido, de outorgas e integração outorga-licenciamento ambiental	301
Tabela 8.4-1: Processo produtivo e usos da água	308
Tabela 8.4-2: Uso da água na Usina Padrão (12.000 t cana/dia, 2×10^6 t cana/safra)	309
Tabela 8.4-3: Impactos no uso da água nas várias áreas (<i>clusters</i>) selecionadas	309

GRUPO DE TRABALHO

PARTICIPANTES

INSTITUIÇÃO

Dr. Rogério Cezar de Cerqueira Leite, Coordenador	NIPE
Dr. Luiz Augusto Barbosa Cortez, Coordenador Adjunto	CORI
Dr. Manoel Sobral Júnior	NIPE
Dr. André Tosi Furtado	NIPE
Dr. José Antonio Scaramucci	NIPE
Dr. Carlos Eduardo Vaz Rossell	NIPE
Dr. Manoel Regis Lima Verde Leal	NIPE
Dra. Mirna Ivonne Gaya Scandiffio	NIPE
Dr. Edgardo Olivares Gómez	NIPE
Dr. Orlando F. J. Bordoni	NIPE
Ms. Marcelo P. Cunha	NIPE
Ms. Daniele Urioste	NIPE
Juan Castañeda Ayarza	NIPE

INSTITUIÇÕES CONTRATADAS

Centro de Tecnologia Canavieira – CTC
Chaves Planejamento e Consultoria Ltda.

SUPORTE

Isis Maria Ditrich Demário Fujiy

1. PROJEÇÕES DE CRESCIMENTO DOS CONSUMOS DE GASOLINA E ÁLCOOL NO MUNDO

1.1 Introdução

Há poucos exemplos na História da Humanidade, e do Brasil em particular, de uma conjuntura de tantos fatores convergentes favoráveis a um projeto nacional desenvolvimentista, como é o caso de uma eventual ampliação da produção de álcool combustível. Esses fatores favoráveis são:

1. A escalada de preços do petróleo no mercado internacional que, mesmo que tenha tido um começo circunstancial, muito em breve se tornará estrutural como consequência da aproximação do pico de produção do petróleo (reconhecidamente dentro de 5 anos nos países não-Opep e provavelmente também na área da Opep).
2. O progressivo reconhecimento em todo o mundo das consequências ambientais devidas ao aquecimento global e sua correlação com o consumo de combustíveis fósseis. Esta conscientização é reforçada por inúmeras observações atuais, tais como a retração de geleiras e neves permanentes em toda a crosta terrestre, inclusive as calotas polares sul e norte (inclusive a Groenlândia), os Alpes, o Complexo do Himalaia, etc. Além disso, especialistas já afirmam que o aumento da gravidade de catástrofes climáticas, tais como ondas de calor, furacões, ciclones, inundações, secas, etc., (intensidade por um fator de 6 de 1970 a 2005, e de frequência de 2,5 a 3 no mesmo período) é consequência do aquecimento global. Assim, cresce a convicção em toda a sociedade de que alternativas aos combustíveis fósseis devem ser buscadas a qualquer custo.
3. Os custos de produção do álcool combustível de cana de açúcar vêm caindo sistematicamente e estão hoje em torno da metade do preço médio do petróleo no mercado internacional e, portanto, muito abaixo do preço da gasolina, sua principal competidora. Portanto, mesmo que o preço do petróleo retorne a seus patamares tradicionais, o que ninguém mais espera, à faixa de US\$ 30 a 35 o barril, o álcool não perderia sua competitividade.
4. Tem-se argumentado que um aumento expressivo na produção de cana poderá interferir com as atividades agrícolas e agropecuárias de interesse econômico crescente para o Brasil, tais como as produções de carne e soja. A parcela do PIB Brasileiro (produto interno bruto nacional) devido à produção de álcool e açúcar no Estado de São Paulo, incluídos receitas indiretas, é de algo entre US\$ 10 e US\$ 11 bilhões, aproximadamente igual à soma de toda a contribuição do gado de corte e de soja. Todavia, a diferença é que a cana no estado de São Paulo ocupa uma área de 3 milhões de hectares enquanto a pecuária com 197 (Fao, 2002) e a soja com 21,5 milhões de hectares (IBGE, 2004) ocupam juntas uma área

setenta e três vezes maior. Ora, a disponibilidade de terras férteis deverá se tornar uma vantagem competitiva de valor crescente.

5. Os primeiros passos para relaxamento de barreiras protecionistas ao álcool nos E.U.A. e na Comunidade Européia foram recentemente dados e a tendência é de maior liberalização. Além disso, outros países produtores de álcool de cana, tais como Índia, China, etc., não são competitivos ou por causa do clima (regime de chuvas, temperatura, etc.) ou qualidade e disponibilidade de solo, embora estejam realizando presentemente ingentes esforços para ampliar suas produções. Essas iniciativas, aliás, são benéficas para as pretensões brasileiras de exportação de álcool, pois a diversificação de fontes tranqüiliza o comprador.
6. O álcool de cana-de-açúcar já é a opção de biomassa energética de maior produtividade por unidade de área e de melhor ciclo de vida (balanço energético). Ciclo de vida é a razão entre a energia produzida durante a vida total do sistema e a energia consumida desde a sua implantação até o seu descomissionamento. Enquanto o álcool de milho produzido nos E.U.A. apresenta um ciclo de vida entre 1,2 e 1,4, o de cana de açúcar é superior a 8. Nenhuma forma de aproveitamento de energia solar, nem mesmo o fotovoltaico, tem um ciclo de vida tão elevado. Apesar dessas já elevadas produtividade e ciclo de vida, é de se esperar ainda significativos avanços destes valores por dois motivos:

a) em primeiro lugar porque até o presente apenas uma parcela do bagaço excedente é aproveitada para fins energéticos (por exemplo: cogeração) e em segundo lugar porque a palha ainda é quase toda queimada. Além do mais as variedades atualmente em uso foram desenvolvidas para produzir açúcar e não fibra, o que permite-nos supor que uma reversão de objetivos possa aumentar a produtividade para o álcool. Tecnologias de hidrólise ácida ou enzimática poderão aumentar a eficiência de conversão energia solar-energia química do álcool, dos atuais 0,5% para talvez até 1%.

Com tantos fatores favoráveis é possível conceber uma ampliação significativa da produção de etanol como o programa fundamental de desenvolvimento econômico nacional. Uma avaliação preliminar permitiu identificar uma disponibilidade de terras férteis, desimpedidas do ponto de vista legal e ecológico, com declividade e intensidades pluviométricas adequadas para a cultura canavieira mecanizada de aproximadamente 85 milhões de hectares, o que permite um aumento de US\$ 250 a US\$ 300 bilhões no PIB brasileiro. Com "irrigação de salvação", ou seja, irrigação em períodos de seca, o que não significa perda de competitividade frente aos custos de produção em outros países, o PIB brasileiro atual poderia dobrar. Estas considerações servem apenas para aquilatar as potencialidades extremas desta opção desenvolvimentista, e mostrar que a meta deste estudo, ou seja, de substituir 10% da gasolina do mundo, não é irrealista.

Projeção de crescimento da demanda de gasolina para 2025

O consumo mundial de gasolina é de aproximadamente 1,15 trilhões de litros de gasolina, que são consumidos quase que exclusivamente como combustível de veículos leves. As tendências de mercado serão regidas por duas tensões opostas. De um lado as expectativas de escasseamento do petróleo vêm promovendo o desenvolvimento de tecnologias poupadoras de combustível. Por outro lado, a evolução econômica acelerada de países em desenvolvimento com grandes índices populacionais como a China, a Índia e, em certa medida, o Brasil, vem tentando responder a uma demanda reprimida de uma população crescentemente afluyente por veículos leves (V.L).

Previsões de crescimento se tornam mais complexas quando se levam em conta traços sócio-culturais específicos. Um caso extremo é o dos E.U.A. onde o carro, muito mais que um meio de transporte, é um símbolo de "status", um dispositivo de afirmação pessoal. Neste país, após 6 anos de disponibilidade, o híbrido gasolina-eletricidade que assegura um aumento de eficiência de 30 a 40% no dispêndio de gasolina, não alcançou o nível de 1% do mercado de compactos.

Não obstante estas dificuldades, o "National Energy Information Center" (NEIC) dos E.U.A., projeta um aumento da demanda mundial de 48% de 2005 para 2025, podendo variar cerca de 5% para mais ou para menos, dependendo da adoção de novas tecnologias. Note-se que a expectativa de aumento da demanda de combustíveis para V.Ls, de acordo com o NEIC, é muito maior do que para outros derivados de petróleo. Adotaremos, portanto, como referência para 2025 a demanda de 1,7 trilhões de litros de combustíveis para veículos leves.

Para preencher 10% dessa demanda em 2025 serão necessários 205 bilhões de litros por ano de álcool, o que ocuparia uma área de, na produtividade de hoje, 35 milhões de hectares, ou seja, menos que 40% da área disponível, sem necessidade de irrigação.

1.2 Produção de Etanol no Mundo e Mercado Potencial

1.2.1 Introdução

De acordo com estudo feito pela F.O. Licht (2003), 61% da produção mundial de etanol é originária da fermentação de açúcares e matérias primas como cana-de-açúcar, beterraba e melão; o restante vem de grãos como, por exemplo, o milho.

Esta indústria é, em muitos países, sustentada por barreiras comerciais protecionistas tais como tarifas de importação e subsídios para exportação; e, também, em condições particulares de cada país, como quotas de produção, preços fixados ao produtor e preços regulados ao consumidor.

Estas medidas de sustentação tem implicações importantes para a economia de muitas nações em desenvolvimento no Caribe, Ásia e África, já que estas nações tem acordos preferenciais de comércio internacional com os EUA e a UE.

Os altos níveis de apoio às indústrias açucareiras dos países da OECD (Organização para o Cooperação Econômica e Desenvolvimento) resultam em excessos de produção que são exportados a preços abaixo dos custos de produção, o que limita oportunidades de acesso ao mercado. Nestas condições o custo de oportunidade de produção de etanol pode ser atrativo, no entanto, em geral os retornos da produção de açúcar em mercados domésticos são maiores que os que seriam obtidos na fabricação de etanol.

As perspectivas de reformas e a desregulamentação das políticas do açúcar na UE e nos EUA, poderão criar maiores incentivos para a produção de etanol (e outras formas de bioenergia como a geração de energia elétrica), mesmo que incorra em altos custos, já que os retornos do açúcar do comércio preferencial e do mercado doméstico seriam, então, significativamente diminuídos.

1.2.2 Políticas de apoio ao etanol como biocombustível

Austrália

O apoio aos biocombustíveis consiste principalmente em três ações, a saber:

- 1 Lei permitindo o uso de etanol misturado à gasolina em até 10% (E10)
- 2 Isenção de impostos sobre bio-energéticos até 2011
- 3 Obrigação das companhias de energia de produzir 10% do valor energético dos seus produtos com recursos renováveis.

A produção anual (2004) de etanol é de 120 milhões de litros; como o consumo anual de gasolina é em torno de 20 bilhões de litros, há margem para aumentar em mais de quinze vezes a produção de etanol.

China

A China produz 3,7 bilhões de litros de etanol utilizando principalmente o milho como matéria-prima.

A produção está sendo promovida em algumas províncias, aonde, por exemplo, em Liaoning, é obrigatória a mistura de 10% de etanol à gasolina.

Colômbia

As medidas de apoio ao etanol são as seguintes:

1. Lei que permite a adição de 10% de etanol à gasolina, sendo obrigatória para cidades de mais de quinhentos mil habitantes.
2. Isenção de impostos no etanol dos combustíveis oxigenados e de imposto de importação de máquinas necessárias para a montagem de destilarias.
3. Estrutura de preços para a gasolina oxigenada que assegura estabilidade para os produtores de etanol.

Estados Unidos

Os Estados Unidos são o segundo maior produtor de etanol no mundo, tendo produzido 13 bilhões de litros em 2004.

Tanto o governo federal como os estados tem uma gama variada de incentivos ao uso de etanol, sendo os principais os seguintes:

1. Isenção de 5,1 centavos de dólar de imposto federal por galão em combustíveis que tem 10% de etanol derivado de biomassa. Para combustíveis com até 85% de etanol ou menos de 10% (7,7% e 5,7%) há um subsídio de 54 centavos de dólar por galão de etanol usado. Estes subsídios inicialmente previstos para vigorarem até 30 setembro 2007, tiveram os prazos estendidos até 2010 para o E10 e o E85.
2. Proibição do uso de MTBE na Califórnia, desde 2004, propiciando um aumento no uso do etanol no estado (consumo atual 3,5 bilhões de litros).
3. Através do "Renewable Fuels Standards" do "Energy Policy Act of 2005", condições são impostas para que o uso do etanol combustível chegue à 28,35 bilhões de litros em 2012.

Índia

Embora exista legislação à nível federal tornando obrigatória a adição de 5% de etanol em 9 estados e 3 territórios, o programa de apoio ao etanol sofre pressões das indústrias de petróleo e química, que estão em oposição aos preços perseguidos pelo governo federal.

Além desses problemas, a produção de etanol (como a de açúcar) diminuiu em 2004.

Japão

Foi permitida, a partir de 2005, a adição de 3% de etanol à gasolina.

Peru

A lei que promove o mercado de biocombustíveis, assinada em 15 Julho 2003, teve sua regulamentação aprovada em 30 Março 2005.

Ela determina uma mistura de 7,80% de etanol na gasolina, adição esta a ser iniciada em 2006 em algumas regiões, estendida em 2008 e alcançando todo o país em 2010.

Tailândia

A adição não obrigatória de 10% de etanol na gasolina, é a medida principal de apoio ao uso. Também desde 2002 o etanol puro ou misturado à gasolina para transporte é isento de impostos.

União Européia

Uma meta de que 2% do consumo de combustíveis seja representado por biocombustíveis para o final de 2005 foi estabelecida; para 2010 esta percentagem será de 5,75%.

Propõe-se também que os países membros adotem reduções de impostos para os biocombustíveis.

Estas metas foram adotadas em menor ou maior extensão pelos países membros.

1.2.3 Mercado potencial do etanol combustível

O mundo consome mais de 20 milhões de barris de gasolina por dia (1,15 trilhões de litros em 2004), utilizados principalmente como combustíveis de veículos leves. Conforme visto no item 1.1 acima, este consumo será aproximadamente 1,7 trilhões de litros em 2025.

Os principais países consumidores de gasolina (EUA, Japão e UE) e os países com rápido crescimento no consumo desse combustível fóssil (China e Índia) estão avidamente buscando alternativas para reduzir seus consumos. Fatores ambientais, econômicos, políticos e estratégicos deixam o etanol a partir da biomassa como uma das principais opções para substituir a gasolina, seja através da mistura direta ou como insumo na fabricação do ETBE (oxigenante da gasolina).

É assim que muitos países estão apoiando a produção e o consumo do etanol a partir da biomassa, para uso como combustível líquido, através de programas e políticas de biocombustíveis, incentivos na produção e ao consumo interno e acordos internacionais (Protocolo de Kyoto).

O mercado internacional do etanol combustível é incipiente, estando ainda no estágio de superar dificuldades como segurança no fornecimento, falta de infraestrutura e barreiras políticas e comerciais em algumas regiões; porém o rápido aumento na demanda de gasolina e no preço do petróleo está ajudando a incrementar o fluxo do comércio internacional deste combustível renovável.

No que se segue procura-se projetar o mercado potencial do etanol combustível até 2025, o cálculo sendo baseado no consumo da gasolina (histórico, tendências no consumo e projeções da EIA), na produção de etanol combustível (histórico e capacidade para aumento na produção) e as políticas de apoio aos biocombustíveis.

Para o presente estudo foram considerados 21 países que representam 71,5% do consumo de gasolina e 51% da produção atual de etanol. Na Figura 1.2.3-1 são mostrados os principais produtores de etanol em 2005.

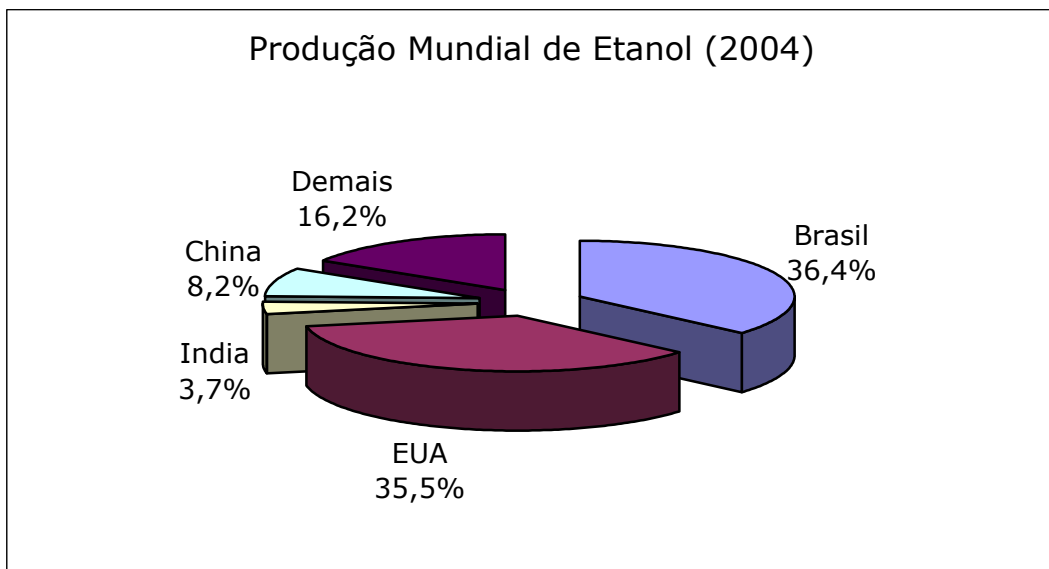


Figura 1.2.3-1 - Produção mundial de Etanol

Fonte: DATAGRO/F.O.LICHT, 2005

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA

São o maior consumidor de gasolina, tendo consumido em 2004 cerca de 530 bilhões de litros; a previsão é que em 2025 o consumo alcance 700 bilhões de litros. Também é o segundo maior produtor de etanol no mundo, e consumiu em 2004 mais de 13 bilhões de litros, derivados principalmente do milho; de acordo com os objetivos do governo federal, em 2012 devem produzir 28,35 bilhões de litros e em 2025 mais de 50 bilhões de litros de etanol.

Atualmente utilizam-se misturas de etanol e gasolina de E5, E7, E10 e E85¹, mas para efeitos de cálculo (demanda projetada segundo a política de etanol) utilizaremos a mistura de E7,2 supondo que é aplicada em todo o país como mistura padrão. Em termos energéticos, esta mistura permite rendimentos iguais aos da gasolina sem mistura com bioetanol (**EIA, 2003**).

A demanda projetada até 2025 é calculada também através do comportamento da demanda atual do etanol, em quantidades totais, já que o seu uso é dado só em alguns estados e com diferentes tipos de misturas. Esta demanda também foi calculada considerando o comportamento das atuais importações de etanol combustível através do CBI (Iniciativa da Bacia Caribenha – em português).

O CBI permite a importação de 7% da produção de etanol dos Estados Unidos; como este acordo ainda não está sendo cumprido, a quantidade de etanol combustível

importada pelos Estados Unidos é menor. Estas importações também são consideradas na seguinte tabela e são consideradas como importações reais do Brasil (através do CBI), dos países de América Central e de outros países.

Tabela 1.2.3-1 - Mercado de etanol combustível dos EUA

	2004	2012	2020	2025
	<i>Bilhões de litros por ano</i>			
Demanda segundo evolução do atual consumo	14,2	29,9	45,7	55,5
Oferta Interna (Produção)	13,4	28,4	43,3	52,7
Importações desde Brasil (CBI) tendência atual	0,5	1,2	1,8	2,2
Importações CBI - El Salvador, Jamaica, Costa Rica	0,2	0,2	0,3	0,4
Importações de outros países	0,1	0,2	0,3	0,3
Total Importado de Etanol Combustível	0,8	1,6	2,4	2,8
<i>Demanda Segundo Política - E7,2 em todo o país</i>	38,2	43,3	48,3	51,6
<i>Oferta Interna (Produção)</i>	13,4	28,4	43,3	52,7
<i>Importações (CBI - "Brasil") 7% da produção</i>	0,94	1,98	3,03	0
<i>Importações CBI - El Salvador, Jamaica, Costa Rica</i>	0,2	0,2	0,3	0
<i>Importações desde outros países</i>	0,1	0,2	0,3	0
<i>Importações para cobrir demanda (E7,2)</i>	23,6	12,5	1,4	0

Fonte: Elaboração própria, 2005*

*baseada em informações do IEA e F.O.Licht (2005)

Na Tabela 1.2.3-1, mostra-se o que é e o que seria o mercado de etanol combustível nos Estados Unidos; na primeira parte da tabela é considerada a evolução das importações segundo as tendências atuais e evolução da demanda ao ritmo de crescimento do atual consumo. Na segunda parte dessa tabela, é considerada a demanda segundo uma mistura de E7 aplicada no país todo e as importações brasileiras através do CBI considerando 7% da produção de etanol dos Estados Unidos.

No primeiro caso, a demanda no país cresce segundo a evolução atual do mercado de etanol; as importações aumentam devagar, comportando-se de acordo com o aumento da produção e as limitações de acesso ao mercado americano.

No segundo caso, nos próximos 15 anos os Estados Unidos teria necessidade de importar quantidades grandes de etanol, porém, a partir de 2025 não precisaria de mais importações, embora haja incerteza da capacidade de aumento da produção nessa época.

Para o primeiro caso, o Brasil teria a possibilidade de exportar para os Estados Unidos mais de 2 bilhões de litros de etanol em 2025, mas no segundo caso em 2020 o Brasil exportaria mais de 3 bilhões de litros de etanol, embora viesse a perder o mercado em 2025.

COLÔMBIA

A partir de 2005 a gasolina misturada com etanol (E10) passou a ser usada, seguindo o exemplo brasileiro (Proalcool).

O consumo de gasolina em 2004 foi de 4,35 bilhões de litros (**EIA, 2005**) e espera-se em 2025 um consumo maior que 22 bilhões de litros². Graças à política de biocombustíveis adotada este ano, em 2025 a Colômbia poderia reduzir para 20 bilhões de litros o consumo de gasolina.

Com os atuais níveis de produção e os projetos de expansão na produção de etanol, a Colômbia não precisaria importar etanol até 2010, depois disso a produção de etanol é considerada constante no tempo, já que não se conhece o potencial de crescimento da produção depois desse ano, necessitando, então, importar etanol em quantidades que vão de 100 milhões até 1,6 bilhões de litros entre 2010 e 2025.

PERU

O Peru, dos 25 países pesquisados, é o que tem o menor consumo de gasolina e o ritmo mais lento de crescimento deste combustível (**EIA, 2005**). Mas possui excelente condição para o cultivo da cana e a produção de etanol para exportação.

O governo peruano planeja produzir 100 milhões de litros em fins de 2005 e em 2010 1,2 bilhões de litros de etanol (**F.O. LICHT, 2005**), tanto para uso interno como principalmente para exportação.

¹ E85 = 85% etanol e 15% gasolina.

² Valor calculado, baseado no consumo de gasolina até 2004 segundo EIA.

Foi aprovada no Congresso da República, a Lei de Promoção aos Biocombustíveis, que preconiza a mistura de etanol à gasolina em 7,2% (E7,2) atingindo em 2006 parte do país e em 2010 todo o país.

O etanol combustível misturado com a gasolina em 2025 será de 140 milhões de litros, e o etanol para exportação será aproximadamente 1,5 bilhões de litros, embora a produção de etanol calculada para esse ano não considere a possibilidade de aumentar a produção além de 1,64 bilhões de litros em 2012, já que não se conhece a capacidade de aumento dessa produção.

UNIÃO EUROPÉIA

Na Figura 1.2.3-2 é apresentada a participação dos biocombustíveis para transporte na União Européia que é menos de 1% de toda energia para transporte utilizada em 2002.

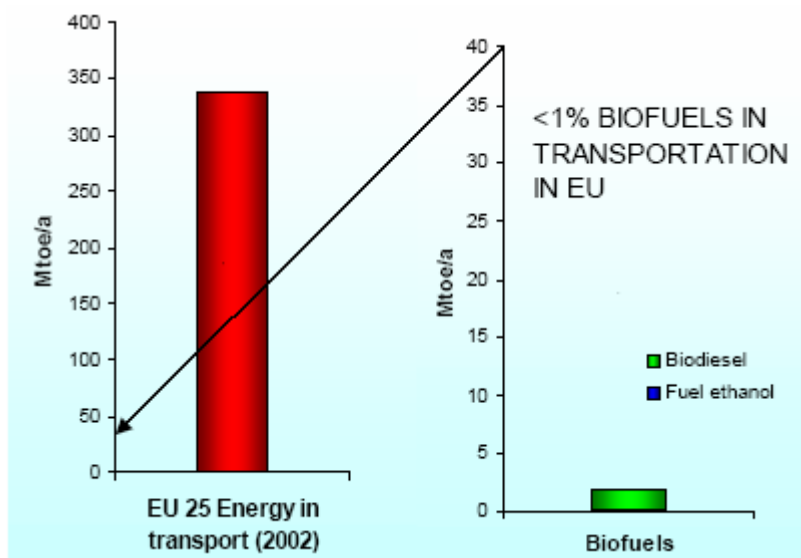


Figura 1.2.3-2 - Participação dos Biocombustíveis na UE em 2002

Fonte: IEA, 2005

- **ÁUSTRIA**

O governo da Áustria planeja produzir 200 milhões de litros de etanol para a fabricação de ETBE, que é misturado com a gasolina, até 2008. Para calcular a participação do etanol na mistura com a gasolina em 2025 considera-se a produção que em 2008 será atingida, já que não se conhece o potencial de expansão na produção desse biocombustível.

Se a atual política de biocombustíveis continuasse no futuro, o uso do etanol combustível seria exclusivo para a fabricação do ETBE e a importação estaria descartada, já que eles pretendem utilizar seu próprio bioetanol.

- **DINAMARCA**

A produção atual de etanol combustível é de 60 milhões de litros e são exportados principalmente para Alemanha.

- **FINLÂNDIA**

Os incentivos aos biocombustíveis acabaram este ano (2005), tendo governo declarado que as metas traçadas no protocolo de Kyoto podem ser alcançadas por outros caminhos.

- **FRANÇA**

Há 10 anos que a França está incentivando os biocombustíveis. O etanol é principalmente usado na mistura E5 com a gasolina e na produção de ETBE; no gráfico 2 é mostrado o crescimento da produção da França, Espanha e Suécia que são os principais produtores de etanol combustível na Europa.

A produção de etanol combustível na França em 2004 foi de 830 milhões de litros (**F.O. LICHT, 2005**) e espera-se que em 2025 chegue perto de 1 bilhão de litros; se isto acontecer, a participação do etanol (E5) nesse ano seria praticamente sustentada pela produção interna e por etanol importado que atingiria 90 milhões de litros. Na Figura 1.2.3-3 são apresentados os principais produtores de etanol combustível na UE até 2003.

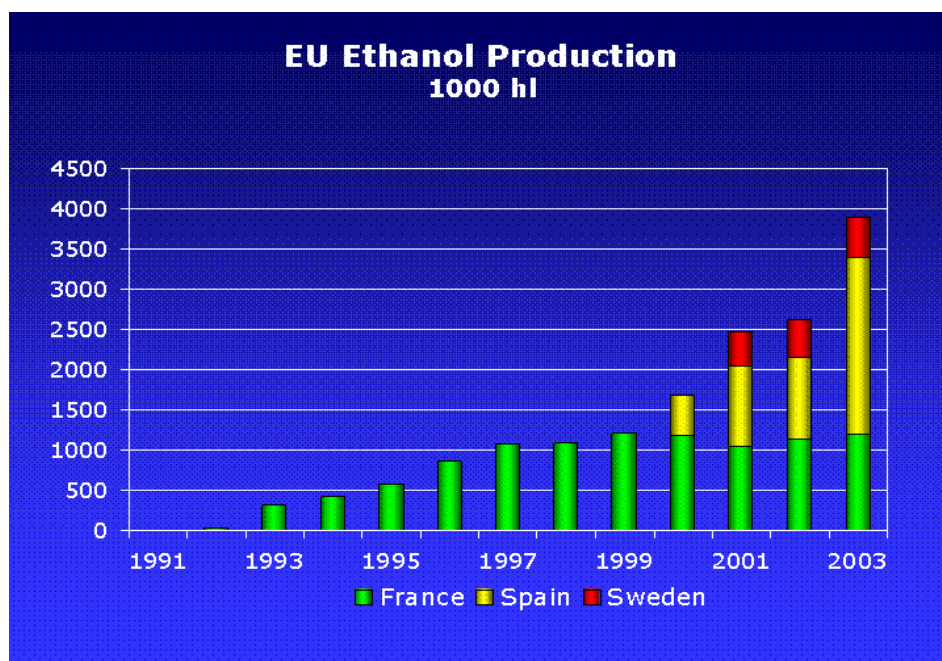


Figura 1.2.3-3 - Principais produtores de bioetanol combustível na EU

Fonte: F. O. LICHT, 2004

- **ALEMANHA**

A produção de etanol combustível em 2004 foi de 270 milhões de litros (**F.O. LICHT, 2005**) e foi principalmente utilizada para produzir ETBE; atualmente esta produção é insuficiente para atender a demanda, necessitando a importação de poucas quantidades de etanol principalmente da Dinamarca.

Espera-se que a produção interna de etanol combustível atinja 1,4 bilhões de litros em 2025, que seria utilizada integralmente na produção do ETBE para uso com a gasolina. Como esta produção parece insuficiente para ser misturada com 41 bilhões de litros de gasolina, abre-se a possibilidade da Alemanha se tornar um dos principais importadores de etanol combustível.

- **GRÉCIA**

O objetivo do governo é produzir seu próprio bioetanol para a fabricação do ETBE, em 2006 espera-se produzir 150 milhões de litros e em 2025 chegar até 1,4 bilhões de litros de etanol, já que a biomassa representa a principal fonte energética renovável do país.

- **ITÁLIA**

O governo italiano não informou sobre seu programa de biocombustíveis, embora a produção de etanol em 2004 tenha sido de 150 milhões de litros não é possível calcular a participação deste biocombustível em 2025.

- **HOLANDA**

Em junho de 2004, o governo decidiu promover o uso dos biocombustíveis a partir de 2006; atualmente não produz etanol combustível e o principal apoio será na produção de biodiesel.

- **ESPANHA**

A Espanha é um dos principais produtores de etanol combustível, tendo em 2004 a produção atingido 300 milhões de litros e espera-se que em 2025 seja 2,3 bilhões de litros.

O governo espanhol não informa sobre sua política de biocombustíveis, por isso não é conhecido o tipo de uso do etanol combustível (ETBE ou mistura direta) na gasolina. Também não é possível calcular a quantidade de etanol que precisa hoje e que precisará em 2025.

- **SUÉCIA**

O biocombustível mais usado é o etanol, principalmente para mistura E5.

A participação do etanol na demanda dos combustíveis líquidos está aumentando em 0,6% cada ano. O etanol usado na Suécia é principalmente importado, sendo sua produção 100 milhões de litros; como a capacidade de aumentar a produção no longo prazo é problemática, espera-se que as importações em 2005 cheguem perto de 1 bilhão de litros.

- **REINO UNIDO**

É o segundo maior consumidor de gasolina na Europa, tendo em 2004 consumido 28 bilhões de litros (**EIA, 2005**) e espera-se que em 2025 o consumo chegue à 38 bilhões de litros.

O governo não tem política de biocombustíveis definida, mas já descartou a possibilidade de importar etanol brasileiro por considerar que a produção brasileira de etanol está contribuindo com o desmatamento. Atualmente a produção de etanol é de 420 milhões de litros, quase toda de origem fóssil.

- **REPÚBLICA CHECA**

Em 2004 consumiu 2,8 bilhões de litros de gasolina (**EIA, 2005**) e espera-se que a demanda atinja 4 bilhões de litros em 2025.

O governo não tem política de biocombustíveis definida, apoiando atualmente a produção de biodiesel, mas espera-se que em 2006 o país produza 2 bilhões de litros de etanol e depois aumente esta produção até 2,8 bilhões de litros em 2010.

A possibilidade de incrementar a produção planejada pelo governo após 2010 não é conhecida, por isso esta produção é mantida até 2025 nos cálculos. O governo tem planos de consumir principalmente o etanol produzido no próprio país.

- **HUNGRIA**

Em 2004 consumiu 2,3 bilhões de litros de gasolina (**EIA, 2005**) e espera-se que a demanda atinja 6 bilhões de litros em 2025.

O governo optou pelo uso do etanol na fabricação do ETBE e tem como objetivo produzir 130 milhões de litros em 2006, não se sabendo a capacidade para aumentar esse nível de produção no futuro, por isso nos cálculos considera-se a produção de 2006 constante até 2025.

AUSTRÁLIA

Em 2004 consumiu 19,4 bilhões de litros de gasolina (**EIA, 2005**) e espera-se que a demanda atinja 31 bilhões de litros em 2025.

A política de biocombustíveis permite o uso do E10, embora o país tenha muitos problemas para que o uso do etanol combustível seja estendido à todo país; nos cálculos de projeção utiliza-se a mistura de E10 em todo o país desde 2005.

A produção do etanol combustível em 2004 foi 120 milhões de litros (F.O.Licht 2005) e espera-se que aumente para quase 1 bilhão de litros em 2025. Nessas condições pode ser que a Austrália precise importar 2,2 bilhões de litros de etanol em 2025.

CHINA

Em 2004 consumiu 56 bilhões de litros de gasolina (**EIA, 2005**) e espera-se um importante crescimento na demanda em 2025 chegando a 92 bilhões de litros.

O governo está promovendo a produção e uso do etanol combustível; atualmente é usado em 5 cidades importantes, mas para os cálculos será considerado o consumo total de gasolina no país.

A mistura usada na China é E10, e a produção local do etanol combustível em 2004 foi 1,9 bilhão de litros (**F.O. LICHT, 2005**), mas a China é o terceiro produtor de etanol do mundo (3,65 bilhões de litros em 2004) incluindo o etanol industrial e de uso para bebida. A produção de etanol combustível foi estimada para 2025 em 3,85 bilhões de litros.

Se fosse aplicada a política de mistura E10 em todo o país, em 2025 seria necessária a importação de 5,37 bilhões de litros de etanol e o principal fornecedor, segundo o governo chinês, seria o Brasil.

ÍNDIA

Em 2004 o consumo foi 11 bilhões de litros de gasolina (**EIA, 2005**) e espera-se que a demanda aumente para 23 bilhões de litros em 2025, sendo um dos países que apresenta o maior aumento de consumo de gasolina.

Na Índia é obrigatório o uso do etanol E5 desde 2002, embora atualmente seja usado só em 9 estados e 3 territórios da União; nos cálculos de projeção considera-se o uso do E5 em todo o país.

A produção de etanol combustível em 2004 foi 1,8 bilhões de litros (**F.O. LICHT, 2005**) e espera-se que em 2025 atinja 2,34 bilhões de litros.

Nessas condições a Índia poderia ser um importante fornecedor de etanol combustível para outros países, já que produziria 1,2 bilhões de litros de etanol para exportação.

JAPÃO

O Japão é o segundo maior consumidor de gasolina, a demanda em 2004 sendo 64,6 bilhões de litros (**EIA, 2005**) e espera-se que o consumo atinja a 100 bilhões de litros em 2025.

A política japonesa de biocombustíveis permite a mistura E3 e em 2010 se permitirá misturas E10 em todo o país.

A produção interna de etanol é limitada sendo usada principalmente na indústria. Em 2004 a produção de etanol foi 120 milhões de litros. O governo japonês disse que em 2010 o Brasil pode ser o principal fornecedor de etanol combustível, com 80% das importações deste biocombustível; em 2025 as importações de etanol seriam de 10 bilhões de litros e o Brasil exportaria para este mercado 8 bilhões de litros.

TAILÂNDIA

Em 2004 consumiu 7,7 bilhões de litros de gasolina (**EIA, 2005**) e espera-se que o consumo aumente para 10,8 bilhões de litros em 2025.

O governo da Tailândia aprovou a mistura E10 no país. Em 2004 a produção de etanol combustível foi 280 milhões de litros (**F.O. LICHT, 2005**) e o país tem o objetivo de produzir 1 bilhão de litros em 2010.

Para os cálculos de projeção mantém-se 1 bilhão de litros de etanol até 2025 como produção, já que não se conhece capacidade de expansão da produção do país além dos objetivos que planejou o governo.

A seguir são mostrados nas Tabelas 1.2.3-2, 1.2.3-3, 1.2.3-4 e 1.2.3-5 o consumo atual e projetado de gasolina, a participação do etanol no mercado dos 21 países pesquisados segundo as políticas de cada país, a produção atual e projetada de etanol combustível e finalmente as quantidades de etanol combustível que serão importadas por esses países até 2025.

Tabela 1.2.3-2 - Consumo de Gasolina Projetado

Consumo de Gasolina Projetado				
Bilhões de litros por ano				
País	2004	2012	2020	2025
Estados Unidos	530	601	671	716
Colômbia	4,4	11,4	15,7	22,4
Peru	1,3	1,0	1,5	1,8
Áustria	3,4	6,0	11,6	16,4
Dinamarca	2,7	2,8	2,9	2,9
Finlândia	2,6	2,7	2,9	3,1
França	17,8	20,2	20,4	21,0
Alemanha	36,4	38,2	40,1	41,3
Grécia	5,0	6,2	7,3	8,0
Itália	22,3	23,4	24,4	25,1
Holanda	5,6	5,8	6,0	6,1
Espanha	11,2	10,7	10,3	10,0
Suécia	5,5	6,2	6,0	6,2
Reino Unido	28,1	29,3	33,6	37,9
República Checa	2,8	3,3	3,8	4,1
Hungria	2,3	5,0	5,5	6,3
Austrália	19,4	23,7	28,1	30,9
China	55,9	69,7	83,5	92,2
Índia	11,2	15,8	20,4	23,3
Japão	64,6	78,3	92,0	100,0
Tailândia	7,7	8,9	10,1	10,8
Total	840	969	1097	1186
Mundo	1175	1356	1534	1658

Tabela 1.2.3-3 - Participação do Etanol Combustível segundo políticas dos países

Tabela 1.2.3-3 Participação do Etanol Combustível segundo Políticas dos Países									
Bilhões de litros por ano									
País	Mistura	2004		2012		2020		2025	
		Gasolina	Etanol	Gasolina	Etanol	Gasolina	Etanol	Gasolina	Etanol
Estados Unidos	E7,2	491,8	38,2	557,7	43,3	622,7	48,3	664,4	51,6
Colômbia	E10	4,4	0,0	10,2	1,1	14,2	1,6	20,2	2,2
Peru	E7,8	1,3	0,0	0,9	0,1	1,4	0,1	1,7	0,1
Áustria	ETBE	3,4	0,0	5,8	0,2	11,4	0,2	16,2	0,2
Dinamarca	não consome	2,7	0,0	2,8	0,0	2,9	0,0	2,9	0,0
Finlândia	não consome	2,6	0,0	2,7	0,0	2,9	0,0	3,1	0,0
França	E5 a partir 2004	16,9	0,9	19,2	1,0	19,4	1,0	19,9	1,0
Alemanha	ETBE	36,1	0,3	37,8	0,4	39,2	0,9	39,9	1,4
Grécia	ETBE	5,0	0,0	5,6	0,6	6,2	1,1	6,5	1,4
Itália	não informou	22,1	0,2	23,4	0,0	24,4	0,0	25,1	0,0
Holanda	não consome	5,6	0,0	5,8	0,0	6,0	0,0	6,1	0,0
Espanha	não informou	10,9	0,3	9,9	0,8	8,7	1,6	7,8	2,3
Suécia	incrementa 0,6%/ano	5,3	0,1	5,7	0,4	5,3	0,8	5,2	0,9
Reino Unido	sem política definida	28,1	0,0	29,3	0,0	33,6	0,0	37,9	0,0
República Checa	sem política definida	2,8	0,0	0,5	2,8	1,0	2,8	1,3	2,8
Hungria	ETBE	2,3	0,0	4,9	0,1	5,4	0,1	6,2	0,1
Austrália	E10	19,3	0,1	21,3	2,4	25,3	2,8	27,8	3,1
China	E10	50,3	5,6	62,8	7,0	75,2	8,4	82,9	9,2
Índia	E5	10,6	0,6	15,0	0,8	19,4	1,0	22,1	1,2
Japão	E3 - E10 em 2012	62,6	1,9	70,5	7,8	82,8	9,2	90,0	10,0
Tailândia	E10	6,9	0,8	8,0	0,9	9,1	1,0	9,7	1,1
Total		791,1	48,8	899,8	69,7	1016,1	80,9	1097,0	88,6

Fonte: Elaboração própria, 2005*

*Cálculos próprios baseados nas informações e projeções do EIA e F.O.Licht (2005)

Tabela 1.2.3-4 - Produção projetada de Etanol

Tabela 1.2.3-4 Produção Projetada de Etanol				
Bilhões de litros por ano				
País	2004	2012	2020	2025
Estados Unidos	13,4	28,4	43,3	52,7
Colômbia	0,4	0,6	0,6	0,6
Peru	0	1,6	1,6	1,6
Áustria	0	0,2	0,2	0,2
Dinamarca	0,1	0,1	0,1	0,1
Finlândia	0	0	0	0
França	0,8	0,9	0,9	1,0
Alemanha	0,3	0,4	0,9	1,4
Grécia	0	0,6	1,1	1,4
Itália	0,2	0,2	0,2	0,2
Holanda	0	0	0	0
Espanha	0,3	0,8	1,6	2,3
Suécia	0,1	0,1	0,1	0,1
Reino Unido	0,4	0,4	0,4	0,4
República				
Checa	0,0	2,8	2,8	2,8
Hungria	0,1	0,1	0,1	0,1
Austrália	0,1	0,4	0,7	0,9
China	1,9	4,3	4,0	3,9
Índia	1,8	2,0	2,2	2,3
Japão	0,1	0,1	0,1	0,2
Tailândia	0,3	1,0	1,0	1,0
Total	20,0	45,1	62,2	73,1

Fonte: Elaboração própria, 2005*

*Projeção realizada com base nos dados da F.O.Licht (2005)

Tabela 1.2.3-5 – Mercado potencial do etanol combustível

Tabela1.2.3- 5. Mercado Potencial do Etanol Combustível						
País	2012			2025		
	Consumo Provável	Produção Provável	Necessidade de Importação	Consumo Provável	Produção Provável	Necessidade de Importação
Estados Unidos*	29,9	28,4	1,6	55,5	52,7	2,8
Colômbia	1,1	0,6	0,5	2,2	0,6	1,6
Peru	0,1	1,6	-1,6	0,1	1,6	-1,5
Áustria	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	0,0
Dinamarca	0,0	0,1	-0,1	0,0	0,1	-0,1
Finlândia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
França	1,0	0,9	0,1	1,0	1,0	0,1
Alemanha	0,4	0,4	0,0	1,4	1,4	0,0
Grécia	0,6	0,6	0,0	1,4	1,4	0,0
Itália	0,0	0,2	-0,2	0,0	0,2	-0,2
Holanda	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Espanha	0,8	0,8	0,0	2,3	2,3	0,0
Suécia	0,4	0,1	0,3	0,9	0,1	0,8
Reino Unido	0,0	0,4	-0,4	0,0	0,4	-0,4
República Checa	2,8	2,8	0,0	2,8	2,8	0,0
Hungria	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0
Austrália	2,4	0,2	2,2	3,1	0,9	2,2
China	7,0	4,3	2,7	9,2	3,9	5,4
Índia	0,8	2,0	-1,2	1,2	2,3	-1,2
Japão	7,8	0,0	7,8	10,0	0,0	10,0
Tailândia	0,9	1,0	-0,1	1,1	1,0	0,1
Total	56,4	44,8	11,6	92,6	73,0	19,6

Fonte: Elaboração própria, 2005

*O consumo provável utilizado é a demanda calculada de acordo com o comportamento histórico e atual do consumo nos EUA (calculado a partir da Tabela 1.2.3-1 - Mercado de Etanol Combustível nos EUA).

A necessidade de importação do etanol combustível nesses 21 países se apresenta como uma interessante oportunidade para o Brasil se tornar o principal fornecedor em 2012 e 2025, com um mercado potencial de quase 20 bilhões de litros de etanol em 2025. Os principais mercados seriam Japão, China e Estados Unidos.

Na Figura 1.2.3-4 é mostrado o fluxo de comércio do etanol combustível no mundo em 2010, o Brasil, Índia, América Central, Peru, África são os principais atores no fornecimento de etanol combustível no mundo, a China, Japão, Estados Unidos, Austrália e Europa são os principais importadores neste mercado de biocombustíveis.

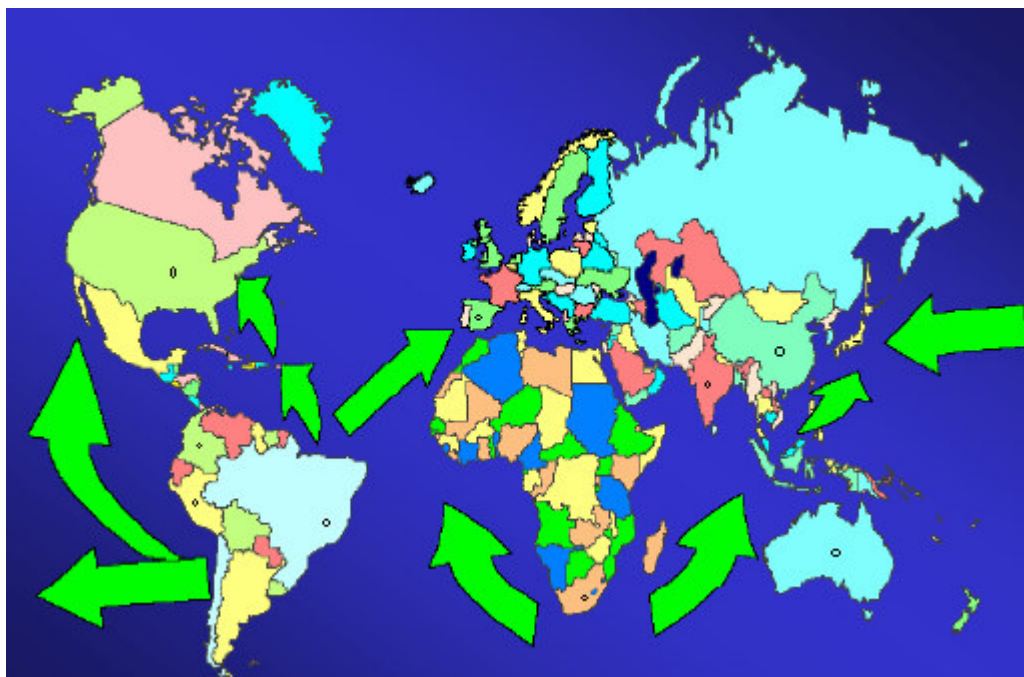


Figura 1.2.3-4 - Comércio do Etanol Combustível em 2010

Fonte: IEA, 2005

Embora este grupo de países represente os maiores consumidores e produtores de etanol, não se descarta a possibilidade de maiores participações de outros países com grandes potenciais para produzir etanol da cana-de-açúcar e também o surgimento de novos mercados (novos consumidores) para o etanol combustível, já que o etanol é considerado um "commodity" político e muitos países estão mostrando grandes interesses de importar e principalmente produzir seu próprio combustível de veículos leves. Não seria surpresa se vários países, como é o caso da Venezuela, mostrassem repentino interesse para comprar etanol combustível.

É importante notar que a Tabela 1.2.3-5 reflete uma visão muito conservadora da demanda mundial de etanol em 2025, pois é baseada nas atuais políticas protecionistas dos países analisados e nos planos de curto e médio prazo destes países, onde fica clara a intenção de cada um de só consumir o que eles poderiam produzir.

Para haver um impacto positivo razoável nas emissões globais de gases de efeito estufa, na nossa opinião, seria necessário que os biocombustíveis substituíssem, pelo menos, de 10 a 20% dos combustíveis fósseis no setor de transporte. Isso

elevaria a, no mínimo, 110 bilhões de bilhões de litros de etanol a necessidade de importação dos países mostrados na Tabela 1.2.3-5 somados aos outros países que não produzirão etanol.

O Brasil apresenta-se com importantes vantagens num futuro mercado internacional de etanol combustível, por ter experiência de mais de 30 anos com um programa de biocombustível, que é modelo para muitos países, ser o maior produtor e consumidor de etanol combustível no mundo e por apresentar a maior capacidade de expansão da produção deste combustível renovável, já que possui grandes quantidades de terra, os custos mais baixos e o domínio da tecnologia na parte agrícola e industrial.

Para esse futuro mercado liberalizado de biocombustíveis é necessária a eliminação de barreiras aos bens e serviços ambientais, requer-se a participação ativa dos principais atores no mercado (produtores e consumidores) para abastecer sustentavelmente o mercado interno e externo, para isso é necessário maiores investimentos e transferência de tecnologia.

Finalmente, os biocombustíveis não substituirão completamente os combustíveis fósseis no longo prazo, mas podem ter uma participação importante na transição para um futuro sustentável de combustíveis para transporte.

Referências Bibliográficas

- CARENSEA Newsletter No.6, November 2004. **Sugar Policy Reform: Boosting Incentives for Diversification into Bioenergy?** – Lindsay Jolly, International Sugar Organisation (ISO), U.K.
- Oxfam Briefing Note, 28 April 2005. **An End to EU Sugar Dumping?**-Implications of the WTO panel ruling in the dispute against EU sugar policies brought by Brazil, Thailand, and Australia.
- Australian Government – Department of Industry, Tourism and Resources, **Government Biofuels Initiatives**. Last updated 12/07/2005, www.industry.gov.au.
- Australian Government – Department of Industry, Tourism and Resources, **Ethanol Production Grant**. Last updated 13/04/2005, www.industry.gov.au.
- 2005 International Ethanol Conference – Renewable Fuels Australia (RFA), **Ethanol – An Industry Policy Perspective**. Brisbane Queensland, 9-10 May 2005.
- World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 8 February 2005, **Economics Of Bioethanol Production in the Asia-Pacific: Australia – Thailand – China**, by Oliver Henniges and Jürgen Zeddies.
- World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 11 January 2005, **World of Biofuels 2004**.
- World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 8 February 2005, **Economics Of Bioethanol Production in the Asia-Pacific: Australia – Thailand – China**, by Oliver Henniges and Jürgen Zeddies.
- World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 11 January 2005, **World of Biofuels 2004**.
- World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 3 December 2004, **2004 World Ethanol Production Set To Create New Record**.
- Federación Nacional de Biocombustibles, **ABC de los Alcoholes Carburantes**. Ministerio de Minas de Colombia, www.minminas.gov.co.
- ECOPETROL, **Millonarias Inversiones y Múltiples Beneficios Sociales**, artigo publicado por Diego Hernán Cárdenas S., www.ecopetrol.com.co.
- Diario Oficial No. 44.564, 27 de setembro de 2001. **Decreto del Congreso de Colombia – LEY 693 de 2001**, www.secretariasenado.gov.co.
- Institute for Agriculture and Trade Policy, **CAFTA's Impact on U.S. Ethanol Market**. Ben Lilliston, June 2005.
- U.S. Department of Energy, **The Alternative Fuel Price Report**, Alternative Fuel Prices Across the Nation – March 28, 2005.

Renewable Fuels Association (RFA), **U.S. Fuel Ethanol Production Capacity**, July 2005. www.ethanolrfa.org.

U.S. Department of Energy – Energy Efficiency and Renewable Energy – Alternative Fuels Data Center, **State and Federal Incentives and Laws**, July 2005. www.eere.energy.gov.

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 3 December 2004, **2004 World Ethanol Production Set To Create New Record.**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 11 January 2005, **World of Biofuels 2004.**

Bioenergy Review 2003 – F.O. Lichts, **World Fuel Ethanol 2003 – Analysis & Outlook.** Dr. Christoph Berg – 2003.

Bioenergy Review 2004 – F.O. Lichts, **World Fuel Ethanol 2004 – Analysis & Outlook.** Dr. Christoph Berg – April 2004.

CRS Report for Congress, **Fuel Ethanol: Background and Public Policy Issues.** June 6, 2003 – Congressional Research Service, The Library of Congress.

CRS Issue Brief for Congress, **Clean Air Act Issues in the 109th Congress.** June 28, 2005 – by James E. McCarthy, Resources, Science, and Industry Division - Congressional Research Service, The Library of Congress.

Clean Fuels Development Coalition (CFDC), **A Guide to the New Tax Law: Changes in Tax Incentives for Ethanol and Biodiesel**, 2005

Renewable Fuels Association (RFA) - United States International Trade Commission. **An Examination of U.S. and Foreign Markets.** April 19, 2005

Mississippi Renewable Energy Conference, **Mississippi Ethanol Feasibility Study.** By Mississippi State University and Sparks Companies – March 25, 2003.

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 11 January 2005, **World of Biofuels 2004.**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 3 December 2004, **2004 World Ethanol Production Set To Create New Record.**

ETHANOLINDIA Green Fuel – Ethanol Information India. **Govt. of India Policy – Ethanol as a Project.** 2005 www.ethanolindia.net.

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 3 December 2004, **2004 World Ethanol Production Set To Create New Record.**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 3 December 2004, **2004 World Ethanol Production Set To Create New Record.**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 16 December 2004, **EU – 25 Ethanol Deficit Rising.**

Bioenergy Review 2003 – F.O. Lichts, **World Fuel Ethanol 2003 – Analysis & Outlook**. Dr. Christoph Berg – 2003.

Bioenergy Review 2004 – F.O. Lichts, **World Fuel Ethanol 2004 – Analysis & Outlook**. Dr. Christoph Berg – April 2004.

Comisión Permanente del Congreso de la República, **Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles**, 15 de Julio 2003.

Presidencia de la República, **Aprobación del Reglamento de la Promoción del Mercado de Biocombustibles – Decreto Supremo N° 013-2005-EM**. 30 de marzo de 2005.

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 8 February 2005, **Economics Of Bioethanol Production in the Asia-Pacific: Australia – Thailand – China**, by Oliver Henniges and Jürgen Zeddies.

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 3 December 2004, **2004 World Ethanol Production Set To Create New Record**.

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 11 January 2005, **World of Biofuels 2004**.

Bioenergy Review 2003 – F.O. Lichts, **World Fuel Ethanol 2003 – Analysis & Outlook**. Dr. Christoph Berg – 2003.

Bioenergy Review 2004 – F.O. Lichts, **World Fuel Ethanol 2004 – Analysis & Outlook**. Dr. Christoph Berg – April 2004.

CSTRU, **Outlook of Raw Materials for Ethanol Industry in Thailand** – 2005.

National Identity Office by Energy Policy and Planning Office, **THAILAND Energy and Natural Resources** - 2005.

Bioenergy Review 2003 – F.O. Lichts, **World Fuel Ethanol 2003 – Analysis & Outlook**. Dr. Christoph Berg – 2003.

Bioenergy Review 2004 – F.O. Lichts, **World Fuel Ethanol 2004 – Analysis & Outlook**. Dr. Christoph Berg – April 2004.

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 3 December 2004, **2004 World Ethanol Production Set To Create New Record**.

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 11 January 2005, **World of Biofuels 2004**.

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 16 December 2004, **EU – 25 Ethanol Deficit Rising**.

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 26 October 2004, **European Member States Still Far From Achieving Biofuels Target**.

Kiel Institute for World Economics – Germany, **Tax Exemption For Biofuels in Germany: Is Bio-Ethanol Really an Option for Climate Policy?**. Settembre de 2003

2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

2.1 Introdução

Na safra 2003/2004, o Brasil tinha 320 unidades processadoras de cana de açúcar, sendo 226 instaladas na região Centro-Sul e as outras 94 na região Norte-Nordeste. Quanto ao tipo de produção as unidades são divididas em usinas, usinas com destilarias anexas e destilarias autônomas; as primeiras produzem somente açúcar, as segundas fabricam tanto açúcar como álcool e as destilarias autônomas apenas álcool. As unidades que produzem álcool somam 284 usinas.

Essas unidades processadoras de cana moem em média 1,5 milhões de toneladas de cana por safra na região Centro-Sul e pouco mais de 1 milhão como média nacional. As destilarias, autônomas ou anexas, produzem em média cerca de 400 mil litros de etanol por dia; no início do Proálcool as unidades produziam entre 120.000 e 180.000 litros/dia, tendo havido, portanto, um significativo ganho de escala.

Devido a sua extensão territorial o Brasil possui dois períodos distintos de safra. No Norte-Nordeste a safra vai de setembro a março e o no Centro-Sul a cana é colhida de maio a novembro. Assim, o país produz álcool durante o ano todo, apesar da safra Norte-Nordeste produzir apenas cerca de 15% de etanol do país. As melhores destilarias produzem aproximadamente 85 litros de etanol anidro por tonelada de cana e as usinas anexas tem produção em torno de 71kg açúcar e 42 litros de etanol para cada tonelada de cana processada.

Merece destaque o estado de São Paulo que produz próximo de 60% de toda a cana, açúcar e álcool do país. O segundo maior produtor é o estado do Paraná com 8% da cana moída no Brasil.

Distribuição Geográfica das Usinas

Norte-Nordeste

A região Nordeste é a mais tradicional produtora de açúcar, desde que a indústria açucareira se consolidou em Pernambuco no início do Século 18. Com o advento do Proálcool o setor aderiu à produção de álcool e, na safra 2001/2002, existiam 70 unidades produzindo este combustível. No Norte existem apenas duas usinas pequenas, moendo ambas um total em torno de 600.000 toneladas de cana por safra.

A região Norte-Nordeste chegou a produzir 2,27 bilhões de litros de etanol na safra 1996/1997, decaindo para 1,36 bilhões de litros em 2001/2002. Apesar de ter recuperado um pouco da produção de álcool, a região tem priorizado a produção de açúcar, pela existência das cotas preferenciais para o mercado americano e pela maior proximidade dos mercados importadores. Todavia, a antiga capacidade de produzir etanol ainda deve existir.

O estado de Alagoas é o maior produtor de álcool da região, e o terceiro do Brasil, contando com 23 usinas que se localizam, principalmente, numa faixa de 50km de largura paralela ao litoral.

Pernambuco é o segundo maior produtor do Nordeste, com 25 usinas produzindo álcool. Álcool é ainda produzido em 9 usinas na Paraíba, 5 na Bahia, 3 em Sergipe e Maranhão, e uma cada no Ceará, Pará, Piauí e Amazonas.

Centro-Sul

É nesta região que se concentram as maiores unidades produtoras do país. Na safra 2002/2003 212 usinas produziram etanol, sendo que em 172 foram produzidos tanto anidro como hidratado. O Centro-Sul chegou e produzir 13,255 bilhões de litros na safra 1997/98, caiu para 10,593 bilhões de litros em 2000/2001 e recuperou-se para 13,069 bilhões em 2003/2004. Na safra 2004/2005, 20 usinas moeram individualmente acima de 3 milhões de toneladas de cana, perfazendo um total de cerca de 85 milhões de toneladas; destas usinas, 17 estão localizadas no estado de São Paulo.

São Paulo, o maior produtor da região, conta com 128 usinas; o Paraná, o segundo maior produtor, tem 26 usinas produzindo álcool; Minas Gerais 16 usinas; Goiás 11 usinas; Mato Grosso 10 usinas; Mato Grosso do Sul 9 usinas; Rio de Janeiro 6 usinas, Espírito Santo 5 e Rio Grande do Sul 1.

O quadro abaixo mostra os dez maiores produtores de álcool do Centro-Sul e suas respectivas moagens totais na safra 2004/2005.

Tabela 2.1-1 Principais produtores de álcool da região Centro-Sul

Unidade	Álcool (m³)	Moagem Total (t de cana)
Itamarati	322.351	6.574.350
São Martinho	285.580	6.779.276
Da Barra	252.022	6.898.571
Santa Elisa	226.888	4.687.741
Barra Grande	190.503	3.901.453
Da Pedra	188.224	3.792.727
Vale do Verdão	187.201	3.704.025
Vale do Rosário	185.862	5.100.393
São José – Macatuba	184.388	3.853.613
Catanduva	178.988	3.584.729

A figura a seguir mostra a localização das usinas atuais.



Figura 2.1-1: Localização das usinas de açúcar e álcool no Brasil

2.2. Cana-de-açúcar

2.2.1 Introdução

A cana de açúcar é uma das principais culturas do mundo, sendo cultivada em mais de 100 países, principalmente em desenvolvimento, representando neste caso uma importante fonte de mão de obra no meio rural. Apesar desta difusão mundial, cerca de $\frac{3}{4}$ da produção mundial está concentrada em oito países, como mostra a tabela abaixo.

Tabela 2.2.1-1: Produção mundial de cana de açúcar

País	Área cultivada (1000 ha)	Produção de cana (10⁶ ton)
Brasil	5.455	411,0
Índia	4.100	244,8
China	1.316	93,2
Tailândia	1.050	63,7
Paquistão	1.049	52,0
Cuba	700	24,0
México	639	45,1
Austrália	415	36,9
Outros	5.377	347,1
Total	20.100	1.317,9

Fonte: FAO, 2004

Nesta tabela é possível também se observar que o Brasil e a Índia respondem em conjunto pela metade da cana produzida na planeta. Este fato é muito relevante quando se está considerando possíveis expansões de produção de cana, principalmente pela grande diferença de modelos de produção agrícola adotados pelo Brasil (concentrado em grandes produtores) e pela Índia (baseado em pequenos produtores).

Apesar da importância econômica da cana de açúcar, sua cultura representa muito pouco em termos de ocupação de área quando comparada àquelas dedicadas à produção de grãos, conforme indicado na Tabela 2.2.1-2.

Tabela 2.2.1-2: Áreas de culturas no mundo

Cultura	Área cultivada (10⁶ ha)
Cana de açúcar	20,1
Trigo	207,5
Arroz	153,0
Milho	144,8
Soja	91,6
Notas: Arroz: 42,5 Mha na Índia e 29,4 Mha na China Trigo: 27,3 Mha na Índia e 21,7 Mha na China Milho: 29,7 Mha nos EE.UU. e 25,6 Mha na China	

Fonte: FAO, 2004

Em termos de Brasil, a cana de açúcar é a terceira cultura temporária em termos de ocupação de área, bem atrás da soja e milho, como pode ser visto na tabela abaixo.

Tabela 2.2.1-3: Área ocupada e produção de culturas no Brasil

Cultura	Área cultivada (10⁶ ha)	Produção (10⁶ ton)
Soja	21,5	49,5
Milho	12,3	41,8
Cana de açúcar	5,6	416,3
Feijão	4,0	3,0
Arroz	3,7	13,3
Trigo	2,8	5,7
Café	2,4	2,5
Outros	5,7	-
Total	58,0	-

Fonte: IBGE, 2004

A produção de cana no Brasil passou a crescer de forma acelerada após o estabelecimento do PROÁLCOOL em novembro de 1975, passando de um patamar de pouco menos de 100 milhões de toneladas por ano para um novo patamar em torno de 220 milhões de toneladas por ano em 1986/87. O cultivo da cana só voltou a crescer novamente na safra 93/94, desta vez puxado pelo aumento das exportações de açúcar. A partir daí, o crescimento da produção tem ocorrido de forma contínua, a menos do período 98/99 a 2000/01 onde houve uma queda motivada pela crise no setor. Figura 2.2.1-1.

A Figura 2.2.1-1 mostra a evolução da produção de cana, açúcar e álcool.

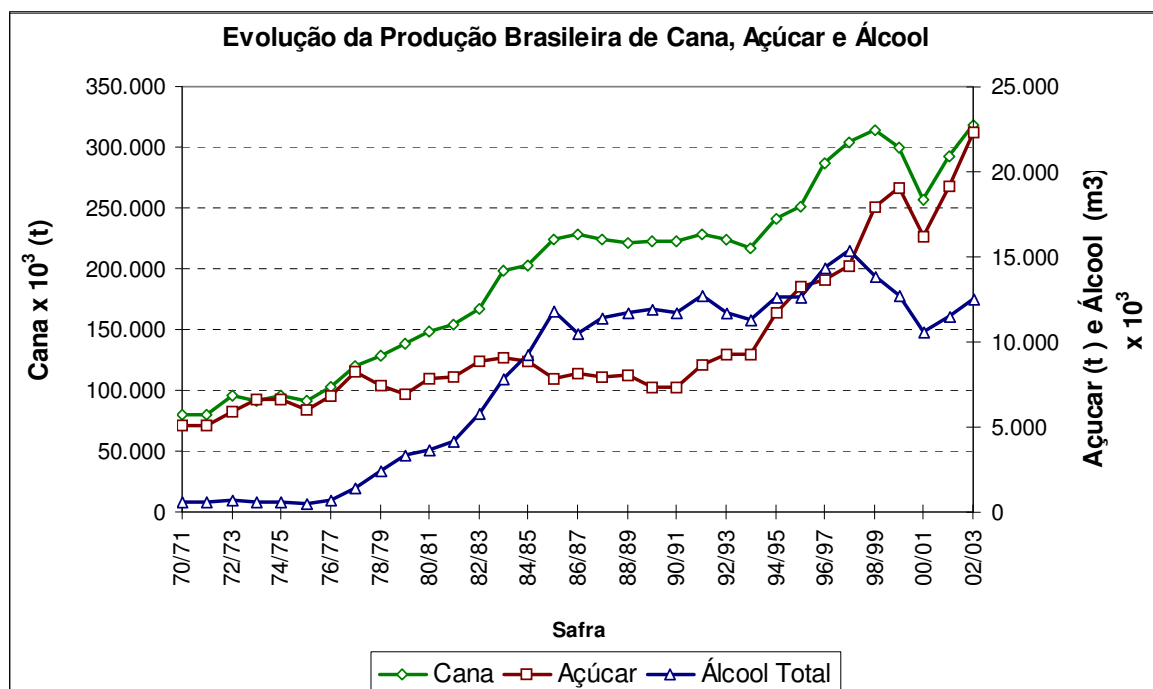


Figura 2.2.1-1: Produção brasileira de cana, açúcar e álcool

Modelo de produção

Antes do PROÁLCOOL, a produção de álcool no Brasil era essencialmente do chamada álcool residual, que tinha como matéria-prima o melaço, ou mel final, subproduto da fábrica de açúcar. A partir de 1976, começaram a surgir as chamadas destilarias autônomas, que produziam somente álcool a partir do caldo de cana. Em paralelo, foram sendo instaladas destilarias anexas às fábricas de açúcar existentes. Com o crescimento das exportações de açúcar, as destilarias autônomas foram, na sua maioria, convertidas em usinas de açúcar e álcool.

Produção conjunta de açúcar e álcool

	1990	2002
• Usinas de açúcar	27	15
• Destilarias autônomas	180	104
• Usinas com destilarias anexas	168	199
• Total	375	318

Posse da terra

- Usinas: 65%
- Produtores independentes (70.000) 35%

Período de safra

- Centro-sul: Abril a Novembro (85% da cana)
- Norte-Nordeste: Setembro a Março (15% da cana)

Capacidade das usinas:

< 500.000 a 7.000.000 t cana/safra

2.2.2 Produção de Cana de Açúcar

A cana de açúcar é uma cultura semi-perene no sentido em que após o plantio ela é cortada várias vezes antes de ser replantada; ciclo produtivo da cana é, em média, de cinco anos, mas existe variação dependendo de vários fatores.

Existem duas alternativas que são utilizadas para a época de plantio da cana:

- Cana de 12 meses: a cana é plantada pouco tempo após a última colheita e será colhida no ano seguinte; nesta opção a terra estará sempre cultivada com cana mas a produtividade é mais baixa, e por isso ela só é utilizada em cerca de 20% dos casos.
- Cana de 18 meses: após a última colheita do canavial, a terra fica vários meses descansando ou recebe uma cultura de rotação de amendoim, soja, girassol ou algum vegetal que ajude a nitrogenar o solo; com esta alternativa a produtividade do primeiro corte é muito mais alta mas haverá um espaço de cerca de dois anos entre o último corte do ciclo anterior e o primeiro corte do novo ciclo.

Após o primeiro corte, que corresponde a chamada cana-planta, o canavial é colhido em média mais quatro vezes (cana soca), a partir da rebrota da cana cortada (soqueira).

Na tabela abaixo é apresentado um ciclo típico, representado por valores médios de cerca de 100 usinas da região Centro-Sul, nas safras de 1998/99 a 2002/03.

Tabela 2.2.2-1: Ciclo típico de cana de açúcar na região Centro-Sul

Corte	Produtividade (t/ha)
1º Cana planta (18 meses)	113 (80%)
Cana planta (12 meses)	Média 106 77 (20%)
2º (1a. soca)	90
3º (2a. soca)	78
4º (3a. soca)	71
5º (3a. soca)	67
Média de cinco corte	82,4 t/ha (68,7t/ha.ano)

Fonte: I.C. Macedo et alli

Assim, a produtividade média em área colhida é de 82,4 t/ha e em área plantada (5 cortes, 6 anos) 68,7 t/ha.ano.

As atividades agrícolas abrangendo desde o preparo do solo até a colheita da cana serão descritas sucintamente a seguir:

- **Plantio da cana de açúcar**

Esta fase é constituída das seguintes operações: eliminação da soqueira (ou limpeza do terreno se for o caso de uma área nova), sub-solagem, calagem, gradagem ou aração, terraceamento, sulcação, distribuição de torta de filtro e adubo, distribuição de mudas, cobertura de mudas, pulverização de herbicida e quebra de sulco.

As operações acima são realizadas com o auxílio de equipamentos e implementos específicos. A operação de distribuição de mudas é feita ainda manualmente na maioria dos casos mas a mecanização tem avançado nos últimos anos.

- **Colheita e transporte**

A colheita da cana de açúcar no Brasil está em franca evolução do sistema tradicional de colheita manual de cana inteira com queima prévia do canavial para o sistema de colheita mecanizada de cana picada sem queima do canavial. A principal razão para esta transição está nas leis Federal e Estadual (para São Paulo) que estabelece cronogramas (Federal e Estadual) para a redução e fim das queimadas nos canaviais.

As tabelas 2.2.2-2 e 2.2.2-3 mostram os cronogramas para a Lei Estadual de São Paulo no. 11.241 de 19/09/2002 e para a Lei Federal no. 2.661, respectivamente.

Tabela 2.2.2-2: Redução da queimada dos canaviais: Lei Estadual nº. 11.241

Ano	Áreas Mecanizáveis(*) (%)	Áreas não Mecanizáveis(**) (%)
2002	20	-
2006	30	-
2011	50	10
2016	80	20
2021	100	30
2026	-	50
2031	-	100

(*) Áreas mecanizáveis: declividade < 12% e área > 150 ha

(**) Áreas não mecanizáveis: o cronograma poderá ser reajustado no futuro dependendo do avanço tecnológico dos sistema de colheita mecanizada.

Tabela 2.2.2-3: Redução da queimada dos canaviais: Lei Federal nº 2.661

Ano	Áreas Mecanizáveis (*) (%)	Áreas Não Mecanizáveis(**) (%)
2003 (5º ano)	25	-
2008 (10º ano)	50	-
2013 (15º ano)	75	-
2018 (20º ano)	100	-

(*) Áreas mecanizáveis: declividade < 12% e área > 150 ha

(**) Áreas não mecanizáveis: cronograma a definir

O transporte da cana também tem evoluído muito nos últimos anos, principalmente com a atuação do Centro de Tecnologia Copersucar-CTC (hoje Centro de Tecnologia Canavieira) em parcerias com fabricantes de carrocerias. O objetivo principal tem sido sempre reduzir os custos de transporte e se adaptar às mudanças no sistema de colheita. A distância média de transporte no Centro-Sul é em torno de 20 km e tem aumentado no passado recente acompanhando o contínuo aumento de escala das usinas.

Os principais tipos de transporte de cana utilizados e os respectivos desempenho são mostrados na tabela 2.2.2-4.

Tabela 2.2.2-4: Tipos de transporte de cana

Tipo	Carga (t)	Consumo (ml/t.km)
Caminhão simples	15	30
Romeu e Julieta	28	22
Treminhão	45	19
Rodotrem	58	16

Fonte: CTC

- **Trato cultural da soqueira**

As operações de trato da soqueira dependem do tipo de colheita e situações específicas do canavial. As principais são: enleiramento da palha (no caso de corte de cana sem queimar), cultivo e adubação de soqueiras e aplicação de herbicidas. A aplicação de adubos depende das condições do solo, produtividade do canavial e outros fatores; o uso da vinhaça (soqueira) e da torta de filtro (plantio) reduz a necessidade de adubos químicos e melhora o teor de matéria orgânica dos solos. A tabela 2.2.2-5 indica valores médios do uso de fertilizantes.

Tabela 2.2.2-5: Taxas médias de aplicação de fertilizantes

Macronutriente	Taxa de Aplicação (kg/ha)			
	Cana planta		Cana soca	
	Cenário 1(*)	Cenário 2 (**)	Cenário 1(*)	Cenário 2(**)
Nitrogênio-N	30	-	80	90
Fósforo-P ₂ O ₅	120	50	25	-
Potássio-K ₂ O	120	80	120	-

* Cenário 1: sem aplicação de vinhaça ou torta de filtro
 ** Cenário 2: com aplicação de vinhaça (soca) e torta de filtro (planta)

Fonte: CTC

Evolução tecnológica na produção de cana de açúcar

Na produção de cana de açúcar a evolução tecnológica, desde o início do Proalcool até os dias de hoje, foi marcante e os principais itens que merecem destaque são: melhoramento genético, mecanização agrícola, gerenciamento agrícola, controle biológico de pragas, reciclagem de efluentes e práticas agrícolas.

- **Melhoramento genético da cana de açúcar**

Existem quatro programas de melhoramento genético da cana: Centro de Tecnologia Canavieira – CTC (antigo Centro de Tecnologia Copercucar- variedades SP), Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucro- alcooleiro – RIDESA (parte do antigo Planalsucar – variedades RB), Instituto Agrônômico de Campinas (IAC) e Canavialis (fundada em 2004 e trabalha em conjunto com a Allelyx, empresa dedicada ao desenvolvimento de variedade transgênicas); cumpre salientar que tanto o CTC como a Canavialis (e Allelyx) são empresas privadas operando totalmente com os recursos supridos por seus mantenedores (cerca de 100 usinas a associações de plantadores de cana no caso do CTC e Votorantim no caso de Canavialis). Existem no Brasil mais de 500 variedades comerciais, produzidas principalmente pelo CTC e RIDESA, porém as vinte principais ocupam 80% da área plantada com cana. As variedades atualmente mais utilizadas são a RB 72454 (13% de área) e SP 81-3250 (10%).

A Figura 2.2.2-1 mostra a dinâmica do uso de variedades; pode-se notar que em 1984 42% da área do canavial brasileiro era ocupado pela variedade NA56-79, de origem Argentina, enquanto que em 2003 a variedade mais plantada, a RB72454, ocupava apenas 13% do canavial. Esta estratégia de limitar o uso de cada variedade a apenas uma fração do canavial é fundamental para diminuir o impacto de eventuais doenças que venham a atacar variedades susceptíveis.

Os ganhos de produtividade da cultura da cana está mostrada na Figura 2.2.2-2. Nesta figura pode-se notar que a produtividade do Centro-Sul, e principalmente de São Paulo, é amplamente superior à do Nordeste; uma grande parte dessa diferença é explicada por diferenças de solo e clima, mas também há um forte componente tecnológico uma vez que as variedades de cana que existem foram desenvolvidas, prioritariamente, para a região Centro-Sul.

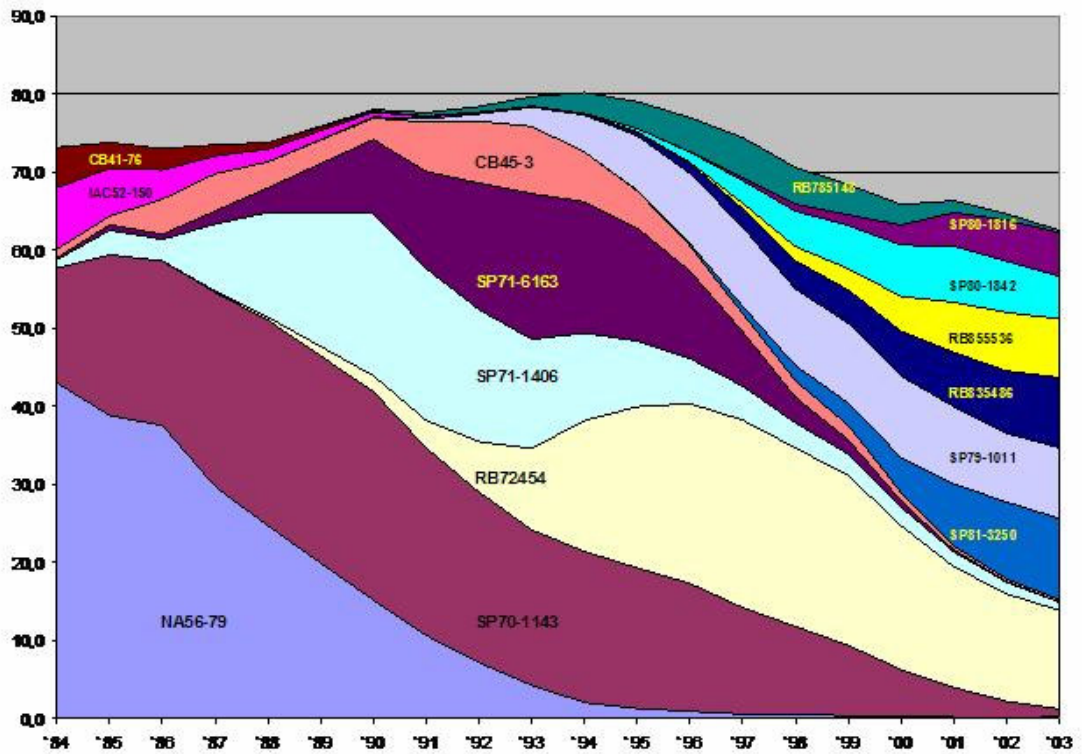
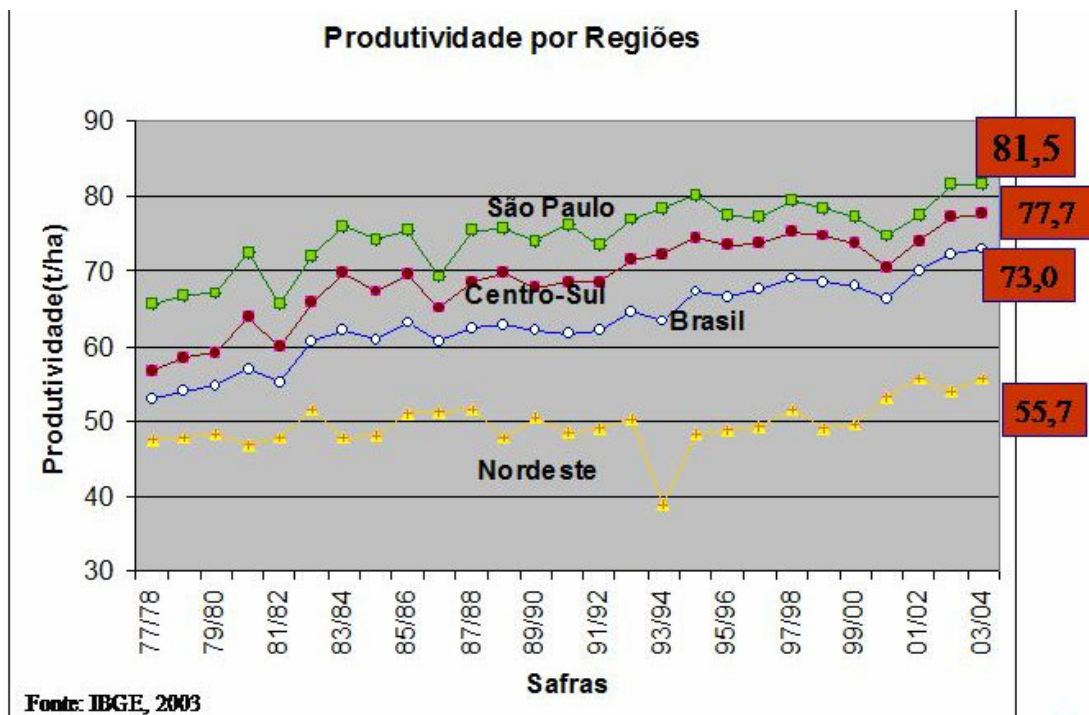


Figura 2.2.2-1: Utilização de variedades no Brasil
 Fonte: CTC



Fonte: IBGE, 2003

Figura 2.2.2-2: Evolução da produtividade por regiões

- **Mecanização agrícola**

A fase de cultivo da cana mais fortemente afetada pelo aumento da mecanização agrícola é a da colheita. A Figura 2.2.2-3 mostra o avanço da colheita mecanizada em São Paulo e na região Centro-Sul. O principal motivador para este crescimento da colheita mecanizada são as leis ambientais que estabelecem um cronograma para o fim das queimadas nos canaviais, conforme discutido anteriormente neste relatório (ver item 2.2.2 acima).

O plantio mecanizado tem avançado mais lentamente e pode ser considerado ainda incipiente.

De um modo geral, a mecanização agrícola tem evoluído continuamente na região Centro-Sul mas continua inexpressiva na região Norte-Nordeste. É interessante notar que o número de empregados na área agrícola no Norte-Nordeste é 3,5 vezes maior que na região Centro-Sul, por tonelada de cana cultivada (UNICA, 2005). Existem razões socioeconômicas para isto, mas não serão discutidas neste relatório.

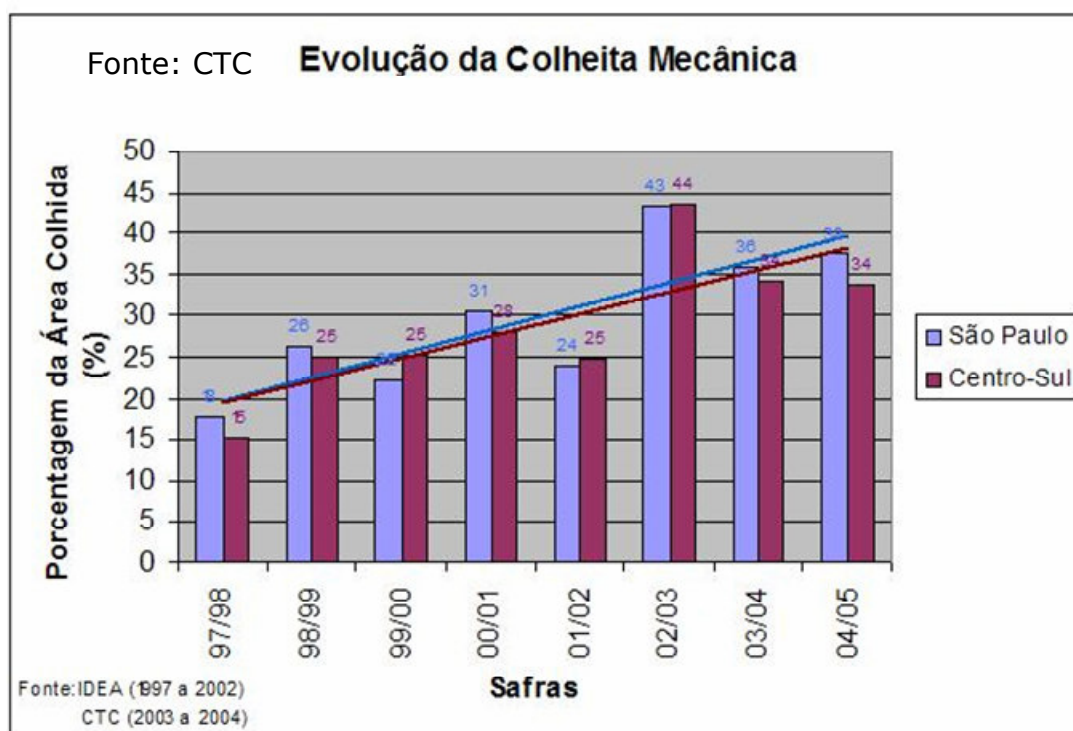


Figura 2.2.2-3: A evolução da colheita mecânica de cana-de-açúcar

- **Gerenciamento agrícola (GA)**

A introdução da informática para o gerenciamento e simulação das operações agrícolas foi um dos fatos mais impactantes na redução dos custos de produção da cana de açúcar no Brasil. Os programas e sistemas desenvolvidos para este fim permitem a redução da frota de caminhões, tratores, colhedoras e implementos, maximização da quantidade de açúcar por hectare, otimização da operação das frentes de corte, avaliação do desempenho on-line, controle de todas operações agrícolas, etc.

- **Controle biológico de pragas**

As principais pragas da cana de açúcar no Brasil são a broca da cana de açúcar (*Diatraea saccharalis*), o besouro migdolos (*Migdolus fryanus*), a cigarrinha (*Mahanarva fimbriolata*) e os nematóides. As lagartas desfolhadoras, formigas cortadeiras e os cupins também atacam a cana de açúcar mas seus controles já são bem dominados e os prejuízos são mantidos em níveis baixos.

A broca da cana de açúcar, nos primeiros anos do Proálcool, causava enormes prejuízos nos canaviais onde níveis de infestação acima de 10% eram comuns. Na primeira metade da década de 80 foi intensificado o controle biológico através da liberação nos canaviais de parasitóides que são predadores da broca. O principal parasitóide utilizado é a vespa *Cotesia flavipes* e este tipo de controle reduziu os níveis de infestação para abaixo de 3%, que vem sendo mantido desde o início da década de 90.

A ocorrência de cigarrinha nos canaviais tem aumentado com o crescimento da colheita de cana sem queima. Os estragos causados por esta praga pode atingir a média de 15 t/ha.ano, além da redução de 1,5 pontos percentuais no teor de açúcar (UNICA, 2005). O controle biológico mais eficiente é através do fungo *Metarhizium anisopliae* e seu uso tem se expandido rapidamente.

As demais pragas são controladas pelo uso de inseticidas, iscas tóxicas e nematicidas.

- **Reciclagem de efluentes**

Os principais efluentes das usinas, a vinhaça e a torta de filtro, são reciclados para os canaviais, em sua totalidade, na maioria das usinas brasileiras.

A vinhaça, produzida em torno de 13 litros/L de etanol é utilizada na fertirrigação e seu uso está descrito em outra parte deste relatório.

A torta de filtro, que é produzida na quantidade média de 30-40 kg/t cana, é utilizada principalmente na adubação no plantio da cana, satisfazendo praticamente toda necessidade de nitrogênio e a maior parte da de fósforo.

Esta prática tem reduzido a necessidade do uso de fertilizantes químicos (ver tabela 2.2.2-5) com impactos positivos nos custos de produção e meio ambiente.

- **Práticas agrícolas**

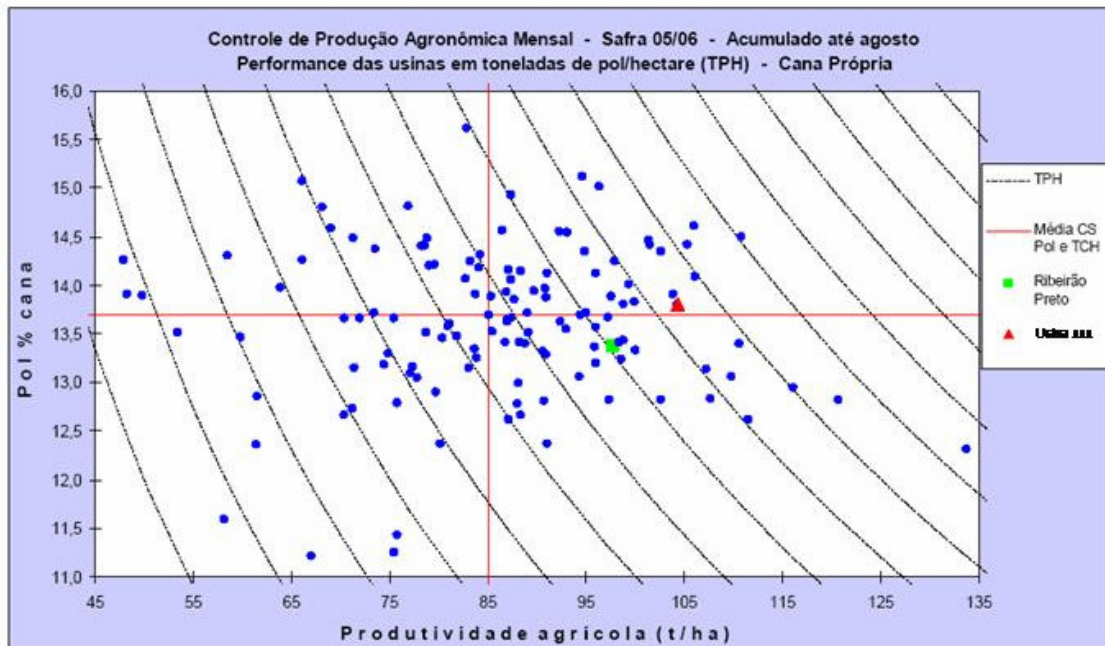
Práticas agrícolas corretas são imprescindíveis para a sustentabilidade da cultura da cana de açúcar. Esta área tem evoluído de forma contínua com efeitos significativos nos custos de produção, produtividade e longevidade dos canaviais.

O desenvolvimento de equipamentos e implementos para reduzir a compactação dos solos, a aplicação correta de fertilizantes de acordo com a necessidade de cada talhão, sistemas mais racionais e econômicos de transporte da cana, adaptações das atividades agrícolas (plantio, adubação e aplicação de herbicidas) para os novos sistemas de colheita (mecanizada de cana sem queima), e uso de maturadores químicos no início da safra são os principais pontos de evolução.

O conceito de ambiente de produção, que seleciona as variedades a serem plantadas baseado nos mapas de solos e condições climáticas, e aplicação dos adubos nas quantidades otimizadas, está mudando radicalmente o dia a dia dos canaviais e contribuindo significativamente para a redução dos custos de produção da cana.

Apesar do vasto conhecimento e benefícios comprovados das tecnologias mais modernas para a produção de cana de açúcar, a difusão destas práticas tem ocorrido de forma lenta em algumas usinas. É provável que os ganhos de produtividade e reduções de custos de produção sejam mais significativas com o nivelamento por cima do uso destas tecnologias existentes, a nível nacional, que pelo uso das tecnologias inovadoras que continuam entrando. Em suma, é preciso encontrar meios de diminuir a inércia no uso de melhores práticas já comprovadas.

A figura 2.2.2-4, abaixo, mostra a variabilidade entre as usinas de dois indicadores econômicos importantes que são a produtividade agrícola e o teor de sacarose da cana.



Fonte CTC

Figura 2.2.2-4: Variação da produtividade agrícola e teor de sacarose entre usinas

2.2.3. Processamento da Cana de Açúcar

A tecnologia de produção de álcool e açúcar é muito semelhante, do ponto de vista de processos, em todas as usinas brasileiras; há variações nos tipos e qualidades dos equipamentos, controles operacionais e, principalmente, nos níveis gerenciais. Existe hoje uma boa integração entre as áreas agrícola e industrial das usinas, o que permite otimizar toda a cadeia produtiva nas unidades mais bem gerenciadas. O sistema de pagamento de cana em uso estimula o produtor independente de cana a entregar a matéria prima em boas condições, pois há penalidades ou prêmios dependendo da qualidade da cana entregue na usina.

A unidade industrial pode ser dividida nas seguintes seções: recepção/preparo/moagem, tratamento do caldo, fábrica de açúcar, destilaria de álcool, utilidades, disposição de efluentes e estocagem dos produtos.

- Recepção, preparo e moagem:

Esta seção tem a finalidade de condicionar a cana (limpeza e abertura das células) e extrair o caldo, com um mínimo de perda de açúcares da cana, bem como reduzir a umidade final do bagaço.

A cana recebida é amostrada aleatoriamente para se aferir sua qualidade (teor de sacarose, fibra, pureza do caldo, etc.).

A cana colhida inteira (corte manual) é normalmente lavada para diminuir as impurezas, que afetam negativamente o processamento da cana, na própria mesa de recepção da cana; no caso de cana picada (corte mecanizado) a cana

não pode ser lavada, pois as perdas de sacarose seriam muito elevadas, porém algumas usinas estão começando a utilizar o sistema de limpeza a seco, baseado em jatos de ar sobre a cana.

Da mesa de alimentação a cana é transportada por esteiras até os equipamentos de preparo; normalmente existem um ou dois conjuntos de facas rotativas que tem a finalidade de picar a cana (quando inteira) e/ou nivelar a camada de cana na esteira facilitando o trabalho do desfibrador. Este equipamento, composto de um rotor com martelos oscilantes e uma placa desfibradora, pulveriza a cana e abre as células que contém os açúcares, facilitando o processo de extração desses açúcares pela moenda (pelo menos 82% das células devem estar abertas para se conseguir uma boa eficiência de extração nas moendas).

Na saída do desfibrador a altura do colchão de cana é uniformizado por equipamento denominado espalhador, localizado na descarga da esteira metálica para uma esteira de borracha de alta velocidade que alimenta a calha de alimentação forçada da moenda (chute Donnely); dentro desta calha a cana desfibrada forma uma coluna com maior densidade, aumentando a alimentação e capacidade da moenda. O nível da cana dentro da calha é utilizado para controlar o fluxo de cana para a moenda.

A extração dos açúcares contidos na cana pode ser feita por dois processos, moagem e difusão; o processo de difusão é pouco utilizado no Brasil e, portanto, não será descrito neste relatório.

A moagem é um processo de extração do caldo fazendo a cana passar entre dois rolos, com uma pressão pré-estabelecida aplicada a eles. A moenda deve não só extrair o caldo mas também produzir um bagaço, no final do processo, com um grau de umidade que permita sua utilização como combustível nas caldeiras. A moenda é normalmente formada por 4 a 7 ternos em série. Após a passagem pelo primeiro destes ternos a proporção de caldo em relação à fibra cai de aproximadamente sete para entre 2 a 2,5, ficando difícil extrair este caldo residual; o artifício usado é o que se chama de embebição. A embebição pode ser simples, composta e com recirculação, sendo o tipo composta a mais utilizada. Neste caso, água é injetada na camada de cana entre os dois últimos ternos e o caldo de cada terno é injetado antes do terno anterior, até o segundo terno. Normalmente, o caldo extraído no primeiro terno é enviado para a fábrica de açúcar (por ser de melhor qualidade) e o restante do caldo vai para a destilaria. A eficiência de extração de açúcares varia de 94 a 97,5% e a umidade final do bagaço é em torno de 50%.

- Utilidades

Após a extração do caldo o bagaço, constituído de fibra (46%), água (50%) e sólidos dissolvidos (4%), é transportado por esteiras rolantes para as caldeiras, sendo o excedente enviado ao pátio de estocagem. O bagaço é produzido numa quantidade que varia de 240 a 280kg por tonelada de cana moída; ele se constitui o único combustível utilizado nas caldeiras a vapor, gerando toda energia necessária ao processamento de cana e, ainda, produzindo uma sobra que varia, na maioria dos casos, entre zero e 10% . Na maioria das usinas, o vapor sai das caldeiras na pressão de 22bar e temperatura de 300°C; nessas condições, ele é expandido em turbinas de contrapressão até 2,5bar, turbinas

estas que acionam os principais equipamentos mecânicos da usina (picadores, desfibradores, moendas, exaustores e bombas de água de alimentação das caldeiras) bem como os geradores de energia elétrica, que é fornecida para os vários setores da indústria. O vapor a 2,5bar, denominado de vapor de escape, é ajustado para a condição de saturação e enviado para o processo, fornecendo toda a energia térmica necessária na produção de açúcar e álcool.

- Tratamento do caldo

O caldo de cana, quando sai do processo de extração, contém uma quantidade de impurezas que têm que ser reduzida para deixar o caldo numa qualidade adequada para seu processamento na fábrica de açúcar e na destilaria. A primeira fase do tratamento é destinada à remoção, por meio de peneiras, dos sólidos insolúveis (areia, argila, bagacilho, etc.) cujos teores variam entre 0,1 e 1%. A segunda fase é o tratamento químico que visa a remover as impurezas insolúveis, que não foram eliminadas na fase anterior, e as impurezas coloidais e solúveis; este processo visa a coagulação, floculação e precipitação destas impurezas, que são eliminadas por sedimentação.

É necessário, ainda, fazer a correção do pH para evitar inversão e decomposição da sacarose.

O caldo tratado pode ser enviado à fabricação de açúcar ou de álcool. Na fabricação do açúcar é obrigatória a etapa de sulfitação.

A sulfitação tem como objetivos principais inibir reações que causam formação de cor; a coagulação de colóides solúveis; a formação do precipitado CaSO_3 (sulfito de cálcio); e diminuir a viscosidade do caldo e, conseqüentemente, do xarope, massas cozidas e méis, facilitando as operações de evaporação e cozimento.

Após passar pelo tratamento inicial, o caldo deverá passar pela pasteurização com aquecimento e resfriamento imediato. Um tratamento mais completo do caldo implica adição de cal, aquecimento e posterior decantação, tratamento semelhante ao utilizado na fabricação de açúcar.

Em geral, o resfriamento do caldo é realizado em duas etapas:

- a) Fazendo-se passar o caldo quente por um trocador de calor regenerativo em contracorrente com o caldo misto frio, onde o caldo misto é aquecido e o caldo para destilaria é resfriado (60°C).
- b) Resfriamento final até aproximadamente 30°C, normalmente realizado em trocadores de placas utilizando água em contracorrente como fluido de resfriamento.

O processo de fabricação de açúcar, por não interessar diretamente ao objetivo do projeto, não será descrito neste relatório. O processo de fabricação de álcool será descrito no item a seguir.

A Figura 2.2.3-1 mostra um diagrama de blocos do processamento da cana.

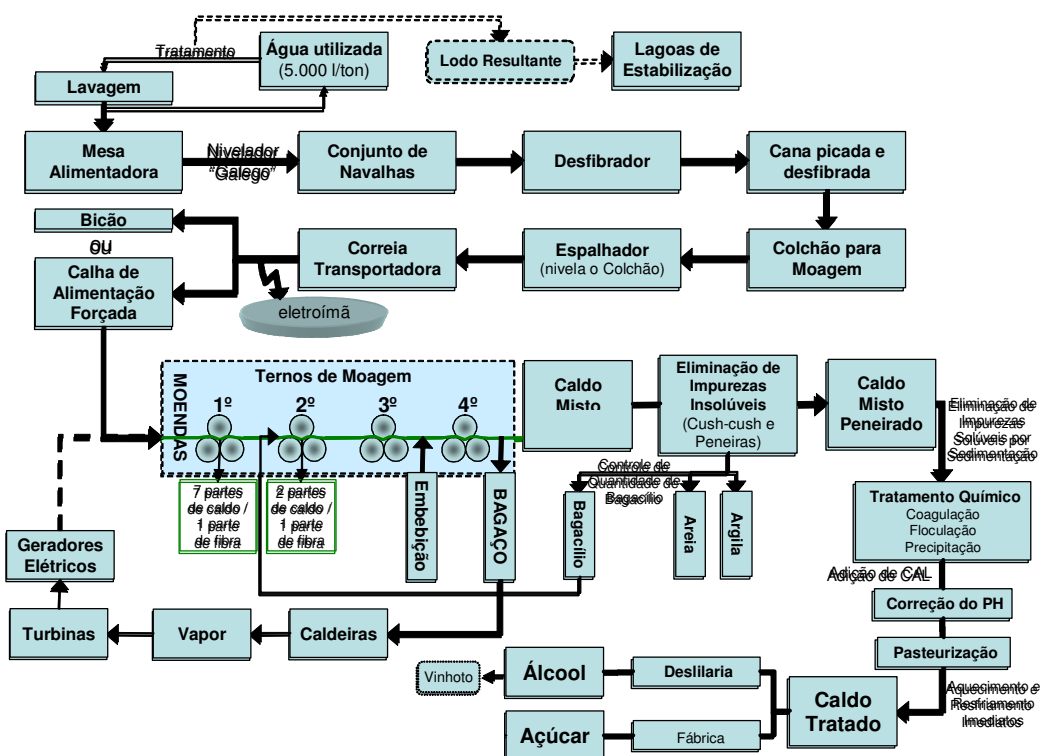


Figura 2.2.3-1: Processamento da cana

Tecnologia praticada na atualidade

Atualmente a matéria prima para a fermentação tem uma proporção considerável de mel, comparada com os mostos fermentados na década dos anos 80, já que atualmente predominam as destilarias anexas.

A maior parte do álcool produzido é realizado por um processo de fermentação em batelada alimentada com reciclo de fermento (~80% do total). O restante do etanol é produzido por fermentação contínua multiestágio com reciclo de fermento; o processo é baseado na fermentação contínua proposta por Guillaume.

Com o aumento da moagem para fabricação de açúcar e a conseqüente geração de maior proporção de méis, o processo contínuo vem perdendo participação, pela dificuldade de operar estavelmente com percentagens elevadas de mel final.

Parâmetros característicos da fermentação são:

- Rendimento de conversão de açúcar acima de 90% atingindo 91% em algumas usinas;
- Os títulos de etanol no vinho atingem 8,0-9,0 °GL;
- Tempos de fermentação de 6 a 11 horas;
- Concentração de fermento no vinho final típica de 13% V/V;
- Volume final de vinhoto após destilação 12-15 litros/litro de etanol.

Na recuperação de etanol do vinho final e obtenção de AEHC (álcool etílico hidratado carburante), praticamente todas as destilarias obedecem ao mesmo padrão empregando conjunto de coluna destiladora com esgotadora, epuradora e concentradora de cabeças sendo a retificação da flegma realizada em conjunto esgotador, retificador ou com esgotamento final da flegmaça na destiladora (Flegstil).

Estes conjuntos são operados a pressão ambiente empregando o vapor de escape das turbinas.

Até o momento não existe em operação nenhum arranjo para aumentar a eficiência energética da produção de AEHC acima dos valores correntes de 3-3,5 kg vapor por litro de etanol.

A produção de AEAC (álcool etílico anidro carburante) é feita em sua maior parte empregando a destilação azeotrópica usando ciclohexano como ternário de desidratação e sem maiores recursos de otimização energética para redução dos atuais 1,5-2,0 kg de vapor por litro de etanol.

Mais recentemente foram introduzidas a destilação extrativa com mono etileno glicol como agente extractante e o processo de absorção com peneiras moleculares, ambos com consumos energéticos significativamente menores.

2.3 Processo de Produção de Etanol: Tecnologias de ponta

2.3.1 Introdução

As unidades que irão produzir etanol segundo o novo modelo previsto neste estudo de expansão da produção serão destilarias autônomas com uma capacidade de moagem de 12 000 toneladas de cana dia, operando em 167 dias efetivos de moagem por ano safra. Assumindo um coeficiente de conversão de 85 litros de etanol por tonelada de cana, a capacidade de produção de etanol será de 1 020 000 de litros de etanol por dia, equivalentes a 996 608 litros por dia de AEHC ou 1 019 020 litros por dia de AEAC.

O diagrama de blocos figura 2.3.1-1 representa esquematicamente o processo de produção que entendemos que melhor atenderia uma unidade na escala aqui prevista.

O processo que consideramos como mais apropriado para a nova geração de destilarias autônomas é baseado na tecnologia praticada hoje, redirecionada agora para produção única de etanol, com alta eficiência de conversão de açúcares, baixo consumo energético, estabilidade de processo e compatibilidade com o meio ambiente.

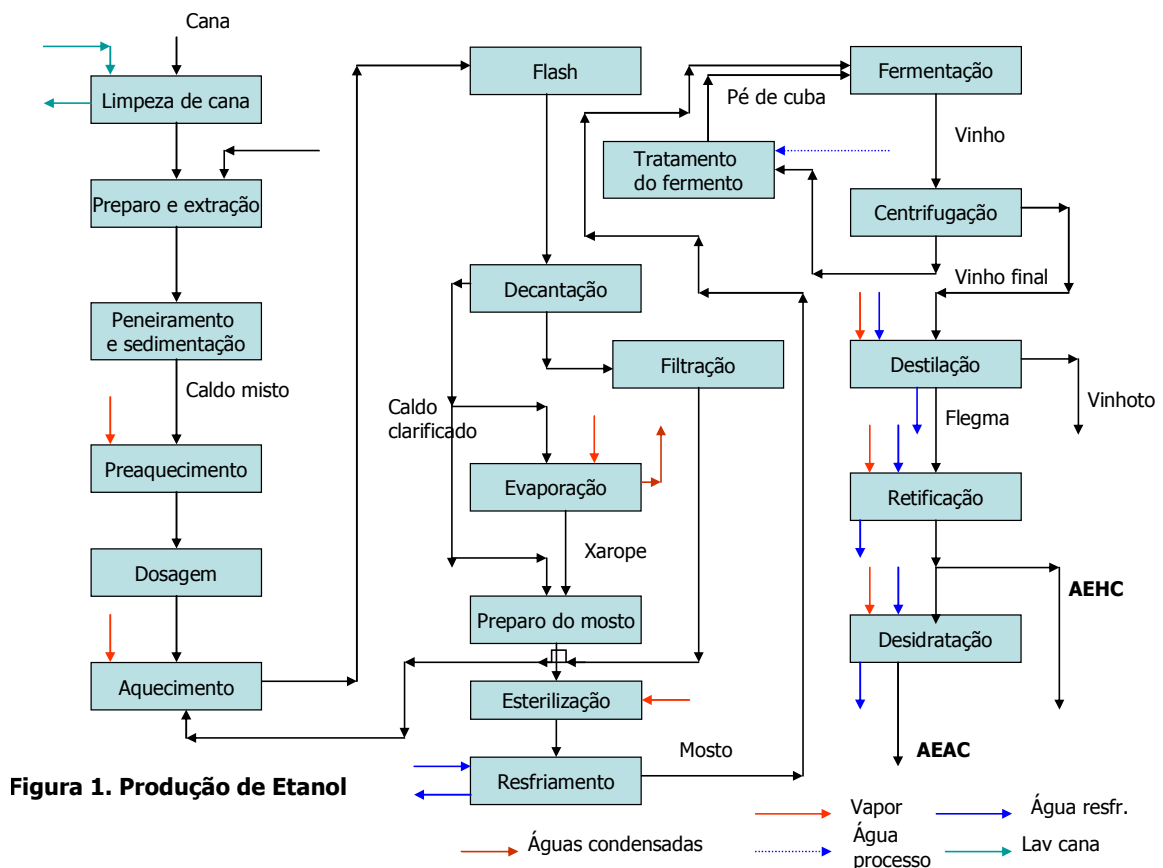


Figura 1. Produção de Etanol

Figura 2.3.1-1 Produção de Etanol

2.3.2 Recepção e limpeza de cana

A cana será submetida preferencialmente a um processo de *limpeza a seco* e descarregada nas mesas alimentadoras. Excepcionalmente em algumas regiões poderá ser feita a limpeza com água em mesas de 45° de inclinação, utilizando no máximo 2,5 m³ de água por tonelada de cana. Neste caso específico o circuito será fechado, recirculando a água, que irá receber tratamento. Somente haverá um consumo equivalente a 10% do total empregado. O despejo de água e matéria em suspensão (terra e biomassa vegetal) será feito na lavoura.

A cana picada resultante do corte e limpeza mecanizada será descarregada diretamente nas esteiras de transporte que conduzem ao preparo da cana. O processo de limpeza em mesas de 45 ° a seco ou com recirculação de água de arrasto assim como o de recepção de cana picada podem ser consideradas como procedimentos padrão, na condição atual.

A limpeza pneumática (*a seco*) estando em vias de implantação aparece como uma alternativa que irá a reduzir o consumo de água.

2.3.3 Preparo de cana

A cana será submetida ao procedimento convencional de nivelamento em picadores e desfibramento e abertura de células em desfibradores de martelos oscilantes. Estes processos se encontram suficientemente otimizados tendo atingido alto grau de eficiência, podendo ser considerados padrão para o modelo de produção de etanol aqui proposto.

2.3.4 Extração

A tecnologia a ser considerada como padrão é a extração via moendas, com rolos de pressão e de alimentação, conforme instalado nas usinas da Região Centro-Sul, tecnologia esta otimizada e próxima do limite de eficiência máxima atingível (97-97,5%). Este sistema está amplamente difundido, existindo fabricação nacional dos equipamentos necessários para atender a capacidade de moagem prevista neste projeto.

Menos difundida no Brasil, está a opção de emprego de difusores. Trata-se esta de uma segunda opção a considerar, levando em conta a experiência limitada em operação de difusores e o fato da moagem deste projeto estar acima das capacidades dos difusores disponíveis no mercado.

Uma terceira opção ainda não disponível, porém em vias de consolidação poderá ser o sistema de extração hidrodinâmica.

2.3.5 Pré-tratamento físico do caldo

O processo deverá levar em conta a necessidade de remoção de particulados ao extremo, através de pré-tratamentos físicos seguidos de um tratamento de caldo que atenda os requerimentos de uma fermentação com alta eficiência de conversão de açúcares e estabilidade operacional.

O caldo misto extraído arrasta uma quantidade de fibras, terra e areia que deverão ser removidos para que não interfiram posteriormente na fermentação.

Para um processo previsto numa escala de 12 000 TCD se torna possível a separação das operações de tratamento em estágios sucessivos, com ganho em eficiência.

O caldo extraído é submetido a um peneiramento inicial em peneiras rotativas integradas com o conjunto de extração.

Um segundo peneiramento é feito em peneiras hidrodinâmicas para remoção de material fibroso de menor tamanho, assim como parte dos inertes. Finalmente o caldo é submetido a uma sedimentação em hidrociclones para remoção de areia e terra e para ficar pronto para o tratamento físico e químico a seguir.

2.3.6 Tratamento do caldo e esterilização do mosto

As destilarias atualmente em operação são em geral unidades anexas, sendo que os procedimentos de tratamento de caldo para fermentação praticados são uma adaptação do tratamento para fabricação de açúcar.

O modelo proposto considera a realização de um tratamento de caldo específico para produção de etanol. Para isto o caldo deve ficar livre de partículas discretas ou coloidais, ceras, graxas e proteínas deverão ser removidas. A floculação e decantação devem ocluir nos flocos o maior número de microrganismos originalmente presentes no caldo. O processamento deve ser realizado a temperaturas que controlem a propagação dos microrganismos.

O caldo tratado deve passar por um aquecimento final que garanta uma esterilização de grau técnico. O processo que mais se adequar a este propósito envolve um pré-aquecimento de caldo, dosagem de cal, um aquecimento posterior acima do ponto de ebulição, uma desaeração por expansão instantânea, adição de polímero floculante e decantação. O caldo clarificado irá ser submetido a um novo aquecimento num processo *HTST* (alta temperatura e breve tempo de exposição) para morte térmica de microrganismos e imediatamente pré-resfriamento regenerativo, seguido de resfriamento final até a temperatura de 32°C.

Os aquecimentos serão feitos por contato direto empregando os vapores gerados nas etapas de pré-resfriamento flash, vapor de escape e, no estágio final, vapor vivo. Os pré-resfriamentos serão por evaporação instantânea em câmaras de expansão. Para a decantação serão empregados decantadores rápidos tipo SRI (Sugar Research Institute, Austrália) por se tratarem de equipamentos de melhor custo benefício comparados aos multibandejas e que se provaram eficientes para o tratamento de caldo para destilaria.

O projeto do sistema deve introduzir conceitos sanitários, evitando regiões estagnantes, formação de filmes de microrganismos e curtos circuitos que promovam a recontaminação. As seções a jusante, posteriores ao tratamento térmico final até a seção de fermentação, devem ser sanitárias.

O lodo resultante da decantação deve ser separado em filtros rotatórios, desadoçado por lavagem e os caldos filtrados reciclados ao tratamento de caldo. A prática de enviar os lodos de liquidação de decantadores diretamente à fermentação, comum nas unidades que tem como meta a produção de açúcar de qualidade em detrimento da fabricação de etanol, deveram ser abolidas.

2.3.7 Concentração do caldo e preparo do mosto

Para atingir uma fermentação com alto grau alcoólico do vinho final a destilar (maior de 8,5°GL e preferencialmente 10-11°GL) se faz necessário concentrar uma parte do caldo em evaporadores em múltiplo efeito. Este xarope será misturado com o restante do caldo, para obter assim o mosto com o teor de açúcares requerido.

Evaporadores do tipo de filme descendente atendem esta etapa. Outros evaporadores como os de placas ou de névoa turbulenta poderão ser considerados.

2.3.8 Fermentação

O processo recomendado será uma fermentação com vinho final de graduação elevada (10 °GL). Isto requer uma fermentação estável com fermento ativo, livre de inibição, infecção e floculação. Para atingir estas condições e alta eficiência de conversão de açúcares em etanol e produtividade de etanol deverá ser instalado um sistema de resfriamento eficiente. Os sistemas de fermentação serão fechados e com lavagem do gás de exaustão para recuperação de etanol arrastado.

A recuperação de fermento será com centrífugas de alta eficiência capazes de concentrar o leite até 65% em volume, estando prevista a centrifugação seqüencial em duas etapas com diluição intermediária do fermento com água.

Dois processos estão disponíveis, provados e amplamente difundidos na região Centro Sul, a fermentação em batelada alimentada com reciclo e reativação de fermento, derivada do processo Melle-Boinot e a fermentação contínua múltiplo estágio com reciclo e reativação de fermento.

A fermentação contínua parece a tecnologia mais adequada para destilarias do porte aqui considerado, trazendo vantagens em custo instalado, custos referentes à mão de obra e energia envolvidas no processo e vantagens relacionadas a controle operacional, instrumentação e automação.

Operando com mostos de caldo se provou com a mesma eficiência do processo em batelada alimentada e com produtividade maior.

O processo em 3 dornas seqüenciais, correspondendo a primeira a 50% do volume total, com separação centrífuga do fermento em dois estágios e tratamento de reativação do fermento contínuo e em cascata seria a opção preferencial. Esta configuração deverá ser acrescentada de homogeneização mecânica do vinho em fermentação e resfriamento por trocadores a placas para atingir a melhor condição operacional.

A fermentação em batelada alimentada com reciclo e reativação de fermento seria uma segunda opção considerando sua flexibilidade operacional e os recursos para lidar com condições desfavoráveis de temperatura de fermentação e deficiência na qualidade do mosto.

Outros processos alternativos de fermentação não são considerados, pois o grau de conhecimento deles é limitado ou os resultados obtidos em instalações em operação não atingiram as expectativas no que diz a rendimento, produtividade e estabilidade operacional.

2.3.9 Destilação

A destilação do vinho e a retificação do etanol serão conduzidas através do sistema de destilação e retificação atualmente em operação.

A desidratação final a AEAC será feita preferencialmente com peneiras moleculares, procedimento que melhor se adequar nesta escala de produção e que conta com a vantagem adicional do baixo consumo de vapor por litro de etanol.

O processo de absorção com monoetilenoglicol (MEG) como agente seqüestrador da água seria a segunda opção. Este processo também está amplamente difundido e provado.

O processo de destilação azeotrópica com ciclohexano desde que reformulado para otimização do consumo de vapor de aquecimento poderá ser uma alternativa de desidratação. Já existem antecedentes do uso na França de unidades otimizadas do ponto de vista energético para produção de AEAC, com consumos de valor da mesma ordem dos previstos pelas técnicas do MEG e das peneiras moleculares.

2.3.10 Geração de Vapor e Energia Elétrica

Os sistemas de produção de energia elétrica atualmente utilizados na indústria sucroalcooleira são sistemas com ciclos a vapor de água, com queima direta do bagaço de cana, e operando em regime de cogeração. No setor existe hoje uma transição, evoluindo-se desde sistemas a vapor de média pressão (até 22 bar) para sistemas de alta pressão de vapor (até 65 e 82 bar). Isto tem permitido às indústrias do setor, além da auto-suficiência em energia elétrica, a geração de excedentes para a venda.

As tecnologias de ciclos a vapor atualmente em uso no Brasil são amplamente dominadas, e apresentam custos de investimentos dos equipamentos altamente competitivos. Estas tecnologias consideram: Caldeiras com capacidade variando entre 60 e 200 tvapor/h, com pressões do vapor vivo variando entre 22 e 65bar (abs.) e temperaturas entre 300°C e 480°C, com possibilidade de usar também outros combustíveis como o óleo combustível e o gás natural. Na combustão de combustíveis sólidos (bagaço de cana por exemplo) usa-se grelha fixa ou móvel principalmente (grelha inclinada e "pin hole"). Sistemas de leito em suspensão e de leito fluidizado, embora poucos utilizados ainda, são muito promissores. Há, entretanto, uma tendência ao seu uso nas novas unidades de geração de vapor sendo construídas. Busca-se, atualmente, o aumento da eficiência das Caldeiras basicamente pelo lado da melhora da eficiência nos processos de combustão, principalmente quando se trata de combustíveis sólidos como o bagaço de cana. As turbinas a vapor podem ser de simples ou múltiplos estágios, de contrapressão ou de condensação com extração controlada, e pressões nos sistemas de condensação da ordem de 0,11 a 0,12 bar absoluto. Geralmente são turbinas de ação e de baixo grau de reação.

Os investimentos estimados no setor da ordem de R\$700-1100/kWe para sistemas de baixa e alta pressão (desde 22 até 80bar) são competitivos em relação aos atuais custos da energia elétrica comercial. Investimentos de até R\$1350/kWe podem ser viáveis no caso das usinas de açúcar (**MACEDO, I., 2003**).

3 NOVAS TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO DE ETANOL

3.1 Novas tecnologias para produção de cana de açúcar

Existem tecnologias em desenvolvimento, ainda não utilizadas comercialmente nos dias de hoje, que prometem impactos positivos significativos na cultura da cana. Entre estas tecnologias merecem destaques: biologia molecular para melhoramento genético da cana e colheita da cana sem queima com recolhimento total ou parcial, da palha da cana (ponteiros, folhas verdes e folhas secas). Os impactos do uso em larga escala destas tecnologias no médio e longo prazo não foram considerados nos cenários de expansão desta Fase 1 do projeto (apenas algumas simulações na área de geração de energia e produção de etanol via hidrólise foram consideradas), mas seria importante tecer algumas considerações quanto a esses impactos.

- **Biologia molecular no melhoramento genético da cana de açúcar**

Conforme descrito anteriormente, existem quatro programas de melhorias genéticas da cana de açúcar que já produziram mais de 500 variedades comerciais utilizando técnicas convencionais; eles são perfeitamente capazes de continuar suprindo os produtores de cana com novas variedades, mais produtivas, mais resistentes às doenças e mais adaptadas aos novos ambientes de produção, inclusive para novas fronteiras de cana de açúcar.

Todavia, a metodologia convencional é cara e demorada; cerca de 1,4 milhões de "seedlings" são produzidos anualmente para se iniciar o ciclo de desenvolvimento de novas variedades e o ciclo de produção de uma nova variedade dura em torno de 12 anos) (entre o plantio dos "seedlings" e a seleção final da variedade comercial).

O desenvolvimento da biologia molecular em outras áreas despertaram o interesse do setor de cana açúcar pela tecnologia. Em 1990 o CTC iniciou pesquisas neste campo e em 1991 foi formado o Consórcio Internacional de Biotecnologia de Cana de Açúcar (ICSB), constituído por 17 instituições de 12 países. O membro brasileiro é o CTC. As despesas e os resultados são compartilhados entre os participantes e o ICSB continua até hoje como um dos mais bem sucedidos programas de pesquisa cooperativa a nível internacional, tendo o Brasil, a Austrália e a África do Sul como os países mais atuantes.

Os trabalhos em biologia molecular em cana de açúcar foram consolidados e avançados com o projeto Genoma, financiado pela FAPESP e COPERSUCAR, que mobilizou cerca de 200 pesquisadores de 27 instituições (CTC, 2000) no período de 1999 a 2002. Foram descritas quase 300 mil seqüências genéticas expressas em cana que foram agrupadas em cerca de 40 mil genes. Com isso, foram identificadas os genes relacionados a resistência a doenças, metabolismo de carboidratos, resposta a estresse, metabolismo de nutrientes, fatores de transcrição, processo de florescimento, etc.; é interessante notar que foram identificados genes responsáveis pela formação de açúcares raros e outros produtos de interesse, o que pode vir a se tornar uma nova linha comercial envolvendo a cana de açúcar.

Os resultados dos trabalhos do ICSD e do Projeto Genoma já estão sendo utilizados por vários grupos de pesquisas nesta área e algumas variedades

transgênicas já foram produzidas. O CTC criou a primeira variedade geneticamente modificada em 1994 e iniciou seus testes de campo em 1997, com a aprovação do CTNBio.

Pode-se dizer que o Brasil está na vanguarda tecnológica nesta área porém as leis e regulamentos travam e dificultam a utilização comercial dos resultados. Todos concordam que o uso de variedades transgênicas deve ser precedido de estudos e avaliações de impactos ambientais, mas os mecanismos e as leis que regem estas avaliações devem ser, ao mesmo tempo, ágeis e responsáveis para permitir o aproveitamento seguro dos avanços tecnológicos.

Já existem várias variedades transgênicas que estão disponíveis nos centros de pesquisas (resistentes a vários tipos de herbicidas, resistentes à broca da cana, alterações no metabolismo da sacarose, resistentes ao "amarelinho", resistente ao mosaico, alteração do padrão de florescimento, outras)(Burnquist, 2004). Espera-se que nos próximos cinco anos seja iniciado o uso comercial de variedades transgênicas. O conhecimento já adquirido vai auxiliar também na redução de custos e no encurtamento do ciclo dos programas convencionais de melhoramento genético da cana. As características desejáveis dos progenitores poderão ser identificadas, com segurança, reduzindo assim o número de "seedlings" necessários nos programas e aumentará a confiança nas boas características das novas variedades obtidas, reduzindo o número de experimentos de campo necessários para a comprovação destas características.

É difícil, no momento, se quantificar os ganhos esperados com o uso da biologia molecular na cana de açúcar, mas podemos adiantar que eles serão substanciais e impactantes.

- **Colheita de cana sem queima com recolhimento de palha**

A cana de açúcar é uma cultura desenvolvida em mais de 100 países porém representa muito pouco em área ocupada, cerca de 20 milhões de hectares, quando comparada às culturas de cereais como o trigo (207 milhões de hectares), o arroz (153 milhões de ha), o milho (145 milhões de ha) e a soja (92 milhões de ha) (FAO, 2004). Como consequência desta situação, o desenvolvimento da colheita mecanizada tem sido muito lento quando comparado ao das culturas de grãos mencionadas a cima; as colheitadeiras de cana ofertadas hoje no mercado não se aproximam nem de longe da sofisticação e avanço tecnológico das colheitadeiras de trigo, arroz, milho e soja (Braumbeck, 2005).

As colheitadeiras de cana de açúcar utilizadas no Brasil, e em outros países produtores de cana, são fabricadas por um número reduzido de empresas. Elas apresentam ainda muitas deficiências e problemas tais como elevadas perdas no corte e limpeza da cana, alto nível de impurezas na cana colhida (minerais e vegetais), baixa produtividade, altos custos de investimento inicial e de manutenção, e não conseguem operar em terrenos com declividade acima de 12%.

Para se viabilizar os avanços tecnológicos na direção de aumentar a geração de excedentes de energia elétrica e se produzir mais álcool, por tonelada de cana processada, via hidrólise (ou processo termoquímico), é necessário se disponibilizar, na usina, a maior quantidade de fibra possível.

Existem dois caminhos óbvios para este fim:

- Aumentar a sobra de bagaço através da economia de energia nos processos de fabricação de álcool e açúcar;
- Colher a cana sem queimar e se recuperar uma fração significativa da palha disponível nos canaviais.

O primeiro caminho pode ser explorado imediatamente enquanto o segundo está atrelado ao cronograma de eliminação das queimadas na pré-colheita da cana. Esses dois caminhos combinados serão considerados nos cenários de crescimento da produção de álcool, dentro da fase 2 deste estudo.

A tecnologia para reduzir o consumo energético no processamento da cana já é bem conhecida, e é baseada na engenharia utilizada nas usinas de açúcar de beterraba e nas destilarias de álcool de milho. Como estes dois tipos de instalações industriais utilizam combustíveis fósseis na geração das energias demandadas pelos processos, elas evoluíram para concepções com um consumo energético específico (Joule/litro de álcool ou kg de açúcar) muito menor que as usinas de açúcar e álcool a partir da cana.

As tecnologias para recolhimento da palha da cana ainda estão em desenvolvimento, e seu uso comercial ainda é incipiente. Por isso, elas serão discutidas a seguir.

Existem vários estudos sobre a colheita de cana sem queimar com recolhimento de palha, tanto no mundo como no Brasil. No nosso país, merecem destaque os trabalhos da ESALQ (Piracicaba), FEAGRI/UNICAMP e, principalmente, do CTC-Centro de Tecnologia Copersucar, atualmente Centro de Tecnologia Canavieira. Este último trabalho foi realizado com recursos do Global Environment Facility (GEF), Copersucar, European Commission (EC) e Agência Nacional de Energia da Suécia (STEM) e cobriu todos os aspectos relacionados com o recolhimento da palha, após ou durante a colheita, como os impactos econômicos, devido a variação dos custos das operações agrícolas com e sem palha no chão (preparo do solo, plantio, adubação, herbicidas, etc), efeitos da compactação do solo e perda de produtividade, variação nas perdas agrícolas e finalmente os efeitos na indústria devido a variação das impurezas vegetais da cana conforme a rota de recolhimento de palha utilizada.

Cinco rotas de corte de cana sem queimar com recolhimento de palha foram avaliadas pelo CTC, sendo que duas foram abandonadas no início dos testes de campo devido a dificuldades com a colhedora de cana inteira.

As três rotas que foram avaliadas extensivamente, todas com colhedora de cana picada, são as seguintes:

1. Colheita de cana picada sem queimar, com o sistema de limpeza da colhedora funcionando normalmente; enfardamento da palha que fica no chão, e transporte dos fardos para a usina.
2. Colheita de cana picada sem queimar, com os ventiladores do sistema de limpeza desligados; transporte da palha junto com a cana para a usina; separação da palha na estação de limpeza de cana a seco na usina.

3. Colheita de cana picada sem queimar, com o ventilador principal da colhedora operando em rotação reduzida e o ventilador secundário desligado; parte da palha é transportada com a cana para a usina; separação da palha na estação de limpeza de cana a seco na usina.

Os custos de recolhimento e transporte da palha para a usina, acrescidos dos impactos econômicos de cada rota estão mostrados na tabela 3.1-1; a porcentagem de palha que se espera recolher em cada alternativa está também indicada.

Tabela 3.1-1: Custo da palha posto usina (US\$/t, base seca)

	Alt.1 Enfardamento	Alt.2 Sem limpeza	Alt.3 Limpeza parcial
Transporte (inclui enfardamento)	9,61	23,23	2,74
Perda de produtividade	2,41	-	-
Custo de oportunidade da palha no campo	5,59	5,37	6,50
Separação na estação de limpeza	-	2,79	3,69
Processamento	0,89	0,85	1,14
Impactos na indústria	-	-1,13	0,37
CUSTO TOTAL (US\$/t, base seca)	18,49	31,12	13,70
CUSTO TOTAL (US4/GJ)*	1,06	1,79	0,79
Quantidade de palha posto usina(kg/t)	**90	95	70

(*) PCS, base seca

(**) kg palha seca/t cana

Fonte: CTC

O custo das operações de recolhimento da palha por enfardamento (US\$ 9,61/t, base seca) está detalhado na tabela 3.1-2, e representam apenas 52% do custo total da palha posto usina mais o de processamento, quando se considera todos os impactos econômicos, como por exemplo os US\$ 2,41/t palha (base seca) debitados à perda de produtividade do canavial pela compactação do solo provocado pela operação de enfardamento e equipamentos de transporte dos fardos.

Tabela 3.1-2: Custo de enfardamento da palha

Operação	US\$/t, (base seca)
Enleiramento	0,60
Enfardamento	3,94
Carregamento dos fardos	1,43
Reboque do trailer	1,18
Transporte para Usina	1,95
Descarregamento dos fardos	0,51
TOTAL	9,61

Fonte: CTC

A rota de enfardamento é considerada como referência, por ser a mais explorada em estudos de recolhimento de palha; todavia, espera-se que rotas baseadas nas alternativas 2 e 3 acima (sem limpeza ou limpeza parcial da cana na colhedora) sejam mais promissoras uma vez que a palha é recolhida sem entrar em contato com o solo, o que reduz o teor de cinzas e simplifica as operações de recolhimento e transporte da palha e não compacta o solo do canavial.

É importante salientar que o custo estimado para a palha, na faixa de US\$ 1,00/GJ, é muito atrativo quando comparado com outras alternativas de combustíveis fósseis (US\$ 2/GJ para carvão e mais de US\$ 3/GJ para o gás natural e óleo combustível).

Os aspectos referentes ao recolhimento da palha da cana e da colheita de cana sem queima, incluindo outras alternativas em estudo, serão mais detalhadas na fase 2 do Projeto. Este tema é de suma importância na avaliação dos impactos do uso de tecnologia emergentes para aumentar a produção de álcool (litro álcool/t cana), como a hidrólise e a geração de excedentes de energia elétrica. Estudos precisam ser realizados fora do escopo deste projeto, para avaliar a conveniência de se buscar, através de mudanças de paradigma nos programas de melhoramento genético da cana, variedades de cana de açúcar com teores mais elevados de fibra no colmo e/ou nas folhas.

Espera-se que, com o crescimento da área plantada de cana como previsto neste relatório e com a difusão da colheita mecanizada, as colheitadeiras de cana passem a representar uma parte importante do mercado mundial destas máquinas e, a partir daí, venham receber mais atenção no desenvolvimento tecnológico.

Assim, a melhoria dessas máquinas vai resultar na redução das perdas e dos custos de colheita da cana. Considerando a importância da palha da cana como fonte de energia primária (Tabela 3.1-3) para geração de energia, seria de todo conveniente que o desenvolvimento da colheita de cana sem queima fosse feito incluindo a recuperação da palha como uma atividade associada.

Tabela 3.1-3: Energia da cana (1 tonelada de colmos)

Biomassa	Energia (MJ)
140 kg de açúcares	2 300
280 kg de bagaço (50% umidade)	2 600
280 kg de palha (50% umidade)	2 600
Total	7 500 (0.165 TEP)
400 milhões tc	66 M TEP

3.2 Novas tecnologias de Produção de Etanol

3.2.1 Recepção, preparo e moagem

- **Recepção**

A cana quando é recebida nas usinas, para processamento, traz consigo uma quantidade de impurezas, minerais e vegetais, que, se não são removidas, causam sérios problemas no processo produtivo, na qualidade dos produtos finais e nos custos de manutenção.

Os teores de impurezas minerais variam muito com as condições de colheita (corte manual ou mecânico, cana queimada ou sem queima, umidade e tipo de solo, etc) e os valores médios ficam na faixa de 0,1 a 1,0 na região Centro-Sul; é importante salientar que ocorre uma grande variação destes valores ao longo da safra, numa mesma usina. Este tipo de impurezas causam sérios problemas na manutenção e vida útil dos equipamentos.

As impurezas vegetais causam problemas no desenvolvimento da extração do caldo pelo aumento do teor de fibra da cana, que resulta na redução da capacidade da moenda e no aumento das perdas de açúcares arrastados pelo bagaço. Os valores ficam entre 3 e 8%, base úmida.

A mudança gradativa do corte manual da cana para a colheita mecanizada tem contruído para o aumento destas impurezas. Este fato causa um impacto maior ainda porque a cana mecanicamente, não pode ser lavada por causa das grandes perdas de açúcares que ocorreriam porque a cana vem em pedaços de 20 a 30 cm de comprimento.

Existem tecnologias, já comprovadas comercialmente que podem reduzir os teores de impurezas a níveis aceitáveis, mas que ainda não são utilizadas como seria lógico esperar.

Para as impurezas minerais existem as mesas de alimentação de 45 – 50° com o fundo de chapas perfuradas ou barras trapezoidais, com o rendimento da camada de cana, e os separadores de impurezas com discos rotativos.

Para as impurezas vegetais, a solução recomendada para o caso de cana picada (colheita mecânica) é o uso do sistema de limpeza à seco. O primeiro protótipo, de 300 t cana/ha, foi instalado em 1999 em usina de São Paulo. O sistema foi testado exaustivamente e aprimorado ao longo desses anos estando hoje em operação normal na usina. Todavia, poucas usinas adotaram esta prática e, muitas vezes, sem o devido cuidado no projeto e operação do sistema.

Na usina padrão idealizada para este estudo, considera-se que estes sistemas serão implantados.

- **Preparo**

Este processo consiste em abrir as células da cana, onde os açúcares estão contidos, para facilitar a extração do caldo. É importante se assegurar que o nível mínimo de preparo (% de células abertas) seja de 84% no caso de moagem e 92% no caso de difusão.

A tecnologia de preparo da cana está suficientemente desenvolvida e, assim, espera-se pouca evolução adicional nesta área.

- **Extração do caldo**

Existem no mundo dois processos comerciais de extração do caldo da cana: difusão e moagem.

O processo de difusão ganhou grande popularidade apenas na África do Sul, sendo seu uso nos demais países, de certa forma, marginal. Todavia, ele apresenta características muito interessantes como caldo mais limpo e menor consumo de vapor de alta pressão. Pela pouca representatividade desta tecnologia no cenário brasileiro, esta tecnologia não será discutida neste relatório.

A moagem da cana de açúcar é o processo mais utilizado no mundo todo e no Brasil ele é usado em cerca de 98% dos casos.

A evolução da moagem de cana no Brasil ocorreu de forma diferente do resto do mundo. A tecnologia no início do Proálcool era baseada, principalmente, nas moendas sulafricanas. A evolução na fase inicial foi direcionada para o aumento da capacidade de moagem onde se destacam as seguintes etapas (Delfini, 2004).

- I - Melhoria no preparo da cana com desfibradores e conjunto de facas com projeto melhorado (série COP do CTC); adição do rolo de pressão (4º rolo) para empurrar a cana para os rolos de moagem.
- II - Projeto de mesa a 45° , espalhador e correias transportadoras de alta velocidade para melhorar a uniformidade do colchão de cana; introdução da calha Donnelly para criar uma coluna de cana desfibrada na entrada da mpenda.

- III- Reprojeto dos castelos de moenda convencionais para suportar os maiores esforços mecânicos resultantes do aumento de capacidade.
- IV - Projeto de castelos especiais (principalmente para os 1º e 2º termos de moagem) e aumento do diâmetro dos rolos.

A tabela 3.2.1-1 indica os ganhos de capacidade para moendas de duas bitolas (comprimento dos rolos) diferentes: 54" e 78".

Tabela 3.2.1-1: Evolução da capacidade das moendas brasileiras (t cana/h)

Moenda	Etapa de evolução				
	Original	I	II	III	IV
54"	130	180	190	210	280
78"	270	375	400	440	580

Como pode ser visto, as moendas brasileiras têm uma capacidade mais que o dobro da capacidade dos projetos originais, do início do Proálcool. Isto tem um impacto significativo no investimento de capital nas usinas uma vez que o conjunto de preparo e moagem são um dos sistemas mais caros da usina.

Uma evolução na eficiência de extração das moendas ocorreu em paralelo com o aumento da capacidade de moagem. Os desenvolvimentos tecnológicos que proporcionam os ganhos de eficiência estão listados abaixo, para as quatro etapas de evolução.

- I - Melhor preparo da cana, com índices superiores a 82% , adição do rolo de pressão que melhorou a entrada da cana nos rolos de moagem; embebição composta que através de processos de encharcamentos sucessivos da cana entre um terno e outro permitiu um melhor arraste do açúcar no caldo.
- II - Uso da calha Donnelly no primeiro terno para melhorar o desempenho do rolo de pressão, uniformizando a alimentação de cana na moenda; este equipamento tornou-se um item fundamental no processo de automação das moendas, permitindo ajustar a rotação dos rolos do terno à quantidade de cana alimentada; uso de soldas de eletrodos duros nos frisos das moendas para facilitar a passagem da cana entre os rolos sob pressão.
- III - Uso da calha Donnelly em todos os ternos da moenda e automação de todos os ternos.
- IV - Melhoria dos critérios de ajuste das moendas e controle operacional otimizado.

Os efeitos destes avanços tecnológicos na eficiência de extração das moendas brasileiras estão mostrados na tabela 3.2.1-2

Tabela 3.2.1-2: Evolução da eficiência de extração das moendas (%)

Etapas de evolução				
Original	I	II	III	IV
91,0 – 93,0	93,5 – 95,0	94,5 – 96,0	96,0 – 97,0	97,0 – 97,5

Uma terceira tecnologia de extração do caldo de cana está em fase de desenvolvimento no CTC; trata-se, do que convencionou-se chamar, do sistema de extração hidrodinâmico. O desenvolvimento desta tecnologia está baseado na patente de Maxime Riviere, da Ilha de Reunion, cujos direitos no Brasil foram adquiridos pela Copersucar.

O sistema baseia-se no processo de difusão porém, ao contrário do que acontece no difusor convencional, o caldo atravessa o colção de cana desfibrada de baixo para cima, facilitando a saída do ar aprisionado no colchão e, com isso, permitindo maiores velocidades de percolação. O processo foi inicialmente testado de forma estática e os resultados destes testes foram utilizados para dimensionar uma planta piloto de 20 t cana/h que foi instalada e testada na Usina São Luiz, em Pirassununga-SP, e está mostrada na Figura 3.2.1-1



Figura 3.2.1-1: Protótipo do sistema de extração hidrodinâmico

Esta planta piloto sofreu várias modificações para melhorar o desempenho; a evolução do índice de extração está mostrado na figura 3.2.1-2 e mostra que apesar da evolução positiva há ainda trabalho de desenvolvimento a ser feito porém a capacidade de evolução da planta piloto foi esgotada e a mesma desativada. O desenvolvimento deveria prosseguir em uma nova unidade de maior porte que permitisse a implantação das novas melhorias e a execução de testes já numa escala pré-comercial; os altos investimentos e os riscos inerentes de implantação de uma nova tecnologia tem inibido o prosseguimento dos trabalhos.

Os pré-requisitos para este tratamento já foram estabelecidos em diversos estudos, porém o tratamento envolvendo todos os estágios físicos e químicos ainda não foi levado à prática.

O processo proposto se baseia num tratamento físico químico exaustivo do caldo e, uma vez formulado o mosto, uma esterilização térmica do mesmo.

O estudo em questão determinou as constantes de inativação térmica dos microorganismos mais termoresistentes e a resistência à decomposição térmica dos açúcares do mosto.

Para completar o estudo e avaliar este método falta ainda a implantação de uma unidade pelo menos em escala semindustrial para validar este estudo.

A destruição térmica dos microorganismos presentes no mosto somente se torna efetiva se medidas forem tomadas para evitar a reinfecção do mosto depois do resfriamento.

Também será necessário desenvolver um projeto eficiente do circuito de pós-tratamento (tubulações, válvulas e acessórios) desde a esterilização até as dornas de fermentação.

3.2.3 Fermentação

Processos convencionais de fermentação alcoólica com reciclo de fermento, continua em múltiplos estágios ou em batelada alimentada (Melle Boinot).

Estes processos embora consolidados e considerados neste projeto como tecnologias padrão selecionadas para atingir as metas de aumento da produção de etano tem potencial para um aprimoramento que virá a melhorar a performance dos mesmos.

A meta é a de obter ganhos em rendimento, produtividade, estabilidade operacional e consumos energéticos.

Pontos críticos a abordar são:

- Aumentar o grau alcoólico do vinho final;
- Controlar a floculação do fermento;
- Estabelecer as bases de um tratamento de reativação de fermento efetivo;
- Estabelecer um processo de tratamento de caldo e inativação térmica do mosto;
- Melhorar o projeto das instalações de fermentação introduzindo conceitos sanitários;
- Desenvolvimento de linhagens de levedura de melhor performance;
- Redução do consumo de ácido sulfúrico e desenvolvimento de alternativas para eliminação da dosagem de ácido sulfúrico;
- Eliminação do emprego de antibióticos ou biocidas;
- Introdução da separação centrífuga do fermento em dois estágios, com lavagem intermediária com água;
- Operação da fermentação a temperaturas de 32°C (28-32°C);
- Desenvolvimento de sensores em tempo real para melhorar o controle operacional da fermentação;

Biostil

A tecnologia Biostil foi uma proposta de fermentação com reduzidos volumes finais de vinhoto. Esta tecnologia foi lançada no Brasil na década de 80 e se baseia na operação da fermentação através de uma levedura tolerante a altas concentrações de sais. Trata-se de uma fermentação contínua em dorna única, seguida de centrifugação do vinho e retorno do leite à dorna (diretamente ou após um rápido tratamento nas cubas). O vinho delevedurado e com uma graduação alcoólica próxima de 7 °GL era enviado à destilação e posterior retificação.

O grande impacto desta tecnologia é a recirculação da vinhaça na formulação do mosto com a redução da vinhaça gerada para 1 a 4 litros de vinhaça por litro de etanol, dependendo das condições de operação. O processo exige formular o mosto a partir de melão como matéria prima ou evaporar o caldo até um xarope.

A tecnologia reivindicou, maior rendimento e produtividade, estabilidade, baixa incidência de infecção, menor consumo energético e principalmente redução do volume de vinhoto e aumento da concentração de sólidos neste. O processo foi testado em unidade industrial em larga escala e não atendeu a estas expectativas, sendo desativado. Na França também foram instaladas unidades industriais operando com melão e os resultados não foram satisfatórios.

O Biostil não se mostrou estável, não apresentou rendimentos ou produtividades maiores que os processos convencionais, apresentou dificuldades na centrifugação do vinho, requereu tratamento do fermento nas cubas e não atingiu as reduções do volume de vinhaça inicialmente previstas.

A realização da fermentação numa única dorna com a levedura exposta durante um longo tempo a uma forte inibição (alta pressão osmótica, grau alcoólico elevado e baixos teores de açúcar) não se mostrou exequível.

Mais recentemente a tecnologia foi reformulada introduzindo pré-fermentadores e realizando renovação programada do fermento. Não se dispõe de informação que permita avaliar se esta variante resolveu os problemas apresentados na sua primeira versão.

Entendemos que esta tecnologia no seu estágio atual não tem confiabilidade para ser considerada neste projeto até que possamos avaliar o desempenho das unidades comerciais atualmente em operação (Austrália, Colômbia, Índia).

O ponto mais crítico do mesmo está relacionado com a fermentação numa única dorna em condições de fim de fermentação.

Pelo fato de oferecer uma resposta à redução do volume de vinhoto se justifica estudar alternativas de reformulação desta tecnologia.

Processos empregando leveduras floculantes

Estes processos foram introduzidos na década de 80, no auge da primeira fase do Proálcool.

Os processos Alcon e o Uhde são os mais representativos desta tecnologia. Ambos os processos se baseiam no emprego de linhagens de leveduras floculantes, sendo operada uma fermentação contínua numa única dorna. Os processos previam a injeção de ar na dorna, para manter a atividade fermentativa da levedura, eliminando cubas de tratamento. O vinho retirado do fermentador era submetido a uma decantação, sendo que o fermento floculante era separado por sedimentação e reciclado à dorna. O vinho delevedurado era destilado no sistema convencional.

Os processos Alcon e Uhde diferem nas linhagens de fermento floculante utilizadas e na configuração de dornas, pré-decantadores e decantador final.

Os processos não atenderam as expectativas, não se apresentaram estáveis, os rendimentos e produtividades estavam aquém dos apresentados pelos processos convencionais e foram abandonados.

Os motivos pelos quais não se viabilizaram foram fundamentalmente:

- Inibição do fermento decorrente da realização da fermentação numa única dorna em condições de fim de fermentação;
- Os processos não levaram em conta o acúmulo de matéria em suspensão não levedura que se acumulava no processo e interferia na fermentação;
- Infecção microbiana na fermentação;
- Tratamento de reativação do fermento incompleto.

Estes processos com leveduras floculantes não podem ser considerados entre as tecnologias aproveitáveis no projeto objeto deste estudo, a menos que a tecnologia seja revista com o propósito de corrigir as falhas aqui apontadas.

Uma variante dos processos floculantes, na qual se emprega uma levedura modificada geneticamente para controlar o mecanismo de floculação foi desenvolvida no Instituto de Biologia da Unicamp. É reversível e controlável em função do nível de substrato disponível. A inovação deste processo é a de tornar a floculação reversível, atrelando a mesma ao esgotamento dos açúcares. Deste modo no fim da fermentação o fermento floculado se dispersa no começo de uma nova batelada, respondendo à presença de açúcares. A tecnologia elimina as centrífugas. Este processo cuja patente foi outorgada à Unicamp precisa passar por estágios piloto e de demonstração. Uma variante dos processos floculantes, na qual se emprega uma levedura modificada geneticamente para controlar o mecanismo de floculação foi desenvolvida no Instituto de Biologia da Unicamp. É reversível e controlável em função do nível de substrato disponível. A inovação deste processo é a de tornar a floculação reversível, atrelando a mesma ao esgotamento dos açúcares. Deste modo no fim da fermentação o fermento floculado se dispersa no começo de uma nova batelada, respondendo à presença de açúcares. A tecnologia elimina as centrífugas. Este processo cuja patente foi outorgada à Unicamp precisa passar por estágios piloto e de demonstração.

Outras propostas de processos de fermentação alcoólica

Fermentação alcoólica por batelada alimentada ou contínua com reciclo de fermento, com a variante da renovação sistemática do fermento.

Este processo proposto pelo Centro de Tecnologia Canavieira se baseia na retirada programada de uma percentagem de fermento. As vantagens desta tecnologia seriam: uma fermentação mais estável, controle da inibição alcoólica do fermento, alta atividade fermentativa, controle da floculação e da contaminação.

Fermentação alcoólica por batelada alimentada ou contínua com reciclo de fermento incorporando simultaneamente remoção parcial do etanol produzido por evaporação a vácuo.

As vantagens da retirada do etanol durante a fermentação estão associadas à operação com baixo teor de etanol que, reduz a inibição do fermento, aumenta a produtividade, reduz o volume final de vinhoto, a capacidade das centrífugas e da primeira coluna de destilação e o resfriamento evaporativo do vinho em fermentação. Esta tecnologia está sendo patenteada pela Unicamp.

Fermentação alcoólica extrativa empregando solvente biocompatível, adaptado para fermentação contínua ou batelada com reciclo de fermento.

Neste processo a maior parte do etanol gerado é extraída com o solvente. Dentre as vantagens desta técnica assinalamos: aumento da produtividade, redução da inibição alcoólica, resfriamento por contato direto da fermentação, aumento do rendimento fermentativo, redução do volume de vinhoto, assim como da capacidade das centrífugas e da coluna destiladora. Também esta tecnologia vai ser patenteada pela Unicamp.

Fermentação alcoólica empregando leveduras imobilizadas

Esta tecnologia foi desenvolvida na CPQBA-Unicamp (Centro Pluridisciplinar de Pesquisas Químicas, Biológicas e Agrícolas), estando em fase de ser transferida ao estágio piloto. A principal vantagem reivindicada pelos autores é a eliminação das centrífugas

Processo Biostil de fermentação alcoólica contínua num só estágio e com reciclo de fermento.

A proposta do processo Biostil é a de fermentar mostos com alta concentração de açúcares com o propósito de reduzir ao máximo o volume final de vinhoto. O processo foi testado no Brasil e na França, em escala industrial, tendo tido pouco sucesso. Mais recentemente este processo passou por uma reformulação sendo introduzida a renovação de fermento. Esta nova configuração deve ser reavaliada, considerando o impacto favorável que teria a redução do volume de vinhoto.

Emprego de leveduras geneticamente modificadas

As leveduras de uso industrial na fermentação alcoólica são resultado de um longo processo de seleção natural. O resultado deste processo tem levado a que para as características das instalações e processo praticado em nossas destilarias, se tenham umas poucas variedades estáveis.

Nos últimos anos foram realizados diversos estudos na procura de linhagens por seleção natural ou por modificação genética através de ferramentas clássicas ou de biologia molecular, com propriedades melhoradas.

Através destes estudos foram procuradas linhagens com propriedades de interesse para melhorar o desempenho da fermentação, tais como: tolerância ao etanol, as temperaturas elevadas (36-42 °C), à pressão osmótica, com resistência à floculação e com a estequiometria de fermentação alterada para redução de subprodutos.

O esforço realizado não se tem traduzido até agora em ganhos efetivos, se estando por enquanto longe de poder operar um processo industrial com leveduras modificadas geneticamente. Embora os resultados estejam aquém das expectativas, de forma alguma esta linha de pesquisa deve ser relegada, considerando o impacto que teria no processo de produção de etanol.

Fermentação alcoólica empregando bactérias como agentes de transformação em substituição das leveduras

Com este propósito foi estudada a fermentação empregando bactérias termófilas, porém os resultados não foram favoráveis. Há formação simultânea de quantidades significativas de acetato que reduzem o rendimento. Ademais, estas bactérias são exigentes em fatores de crescimento complexos, apresentam baixa tolerância ao etanol e são susceptíveis a infecções por outras bactérias.

O emprego de bactérias do gênero *Zsimomonas* também foi objeto de intensos estudos. Esta tecnologia foi levada à escala industrial, porém o desempenho não foi favorável, sendo posteriormente desativada.

Para fermentar eficientemente, as *Zsimomonas* precisam de um pH próximo à neutralidade, um baixo teor alcoólico e um meio de cultura mais complexo. Nesta condição se tornam muito vulneráveis à infecção por outros microorganismos. Não parece possível que as leveduras cheguem a ser substituídas pelas bactérias, nos procedimentos clássicos de fermentação de mostos a partir de cana de açúcar.

3.2.4 Resfriamento de fermentação alcoólica, situação atual e alternativas para otimização.

A fermentação alcoólica é exotérmica sendo liberada entalpia na transformação dos açúcares em etanol que precisa ser retirada para evitar o aumento da temperatura de fermentação.

Exigências ambientais não permitem o emprego de circuitos de resfriamento abertos, com captação de água de fontes (cursos de águas, lagoas, águas subterrâneas) e despejo da mesma em cursos de água após utilização. O resultado disto se traduz num complicador a mais na operação da fermentação alcoólica tornando o resfriamento da fermentação crítico. Na situação atual as destilarias bem implementadas da região Centro-Sul, operam com um circuito fechado de resfriamento de fermentação, no qual a água que absorve a entalpia liberada na fermentação é resfriada por resfriamento evaporativo.

O resfriamento do vinho é feito em trocadores de calor a placas. Predominando a prática de instalar um trocador, para uso alternado deste entre duas dornas. Mais recentemente algumas usinas estão passando a instalar uma unidade de resfriador por dorna. O meio refrigerante é água de processo, que circula entre os trocadores de calor e as torres de resfriamento.

O emprego de serpentinas nas dornas, assim como outros tipos de trocadores de calor (Transon, casco e tubos e outros) estão sendo desativados, pois trocadores a placas se mostraram mais eficientes, oferecendo melhor aproximação térmica, capacidade de resfriamento, mais facilidade de limpeza e, pela sua construção sanitária, menor incidência de infecção.

Da mesma forma os sistemas de resfriamento por aspersão de eficiência menor que as torres estão sendo gradativamente eliminados.

Mesmo assim há dificuldades para a realização de um resfriamento eficiente da fermentação. A fermentação alcoólica requer temperaturas de fermentação que não ultrapassem os 34°C (preferencialmente 28-32), estando a inibição pelo etanol fortemente atrelada a temperatura de operação. Fermentações com altos teores de etanol no vinho final somente são possíveis com temperaturas abaixo de 32°C. Temperaturas de fermentação elevadas (imediatamente acima de 34°C) favorecem o desenvolvimento de infecções bacterianas.

A operação das torres de resfriamento e a produção de água resfriada estão fortemente atreladas à temperatura e umidade ambiente, variando estas ciclicamente através do dia, durante a safra e de região a região.

Uma melhoria no resfriamento da fermentação será obtida com uma otimização das torres em função das condições acima expostas.

Uma das alternativas para melhoramento dos sistemas de resfriamento é o acumulador de água resfriada.

Consiste em um acoplamento de um reservatório de acumulação de água resfriada acoplado às torres de resfriamento. Operando com este sistema é possível aproveitar os períodos do dia de maior diferença entre temperaturas de bulbo

úmido e bulbo seco, assim como as menores temperaturas de bulbo seco para cobrir as deficiências de resfriamento durante o período em que o resfriamento evaporativo é menos eficiente.

Os perfis de temperatura e umidade relativa do ar durante o dia, a safra e para diversas regiões seriam modelados para determinar a estratégia de operação da torre e o reservatório de água fria.

3.2.5 Sistemas de refrigeração auxiliares

Outra alternativa de nova tecnologia é a de implantar sistemas de resfriamento auxiliar. Um estudo preliminar para uma unidade de 1500 m³ por dia de etanol analisou três possíveis alternativas:

- Ciclo de refrigeração mecânica com compressor centrífugo operado por turbina de vapor de alta pressão.
- Refrigeração por absorção com brometo de lítio, operando com vapor de escape.
- Refrigeração por ejeção empregando vapor de escape e de alta pressão.

Na oportunidade em que o estudo foi realizado (Lorentzen, 1984) a opção com melhor relação custo benefício era a refrigeração por ejetores, considerando que a operação por 180 dias desaconselha investimentos tais como os envolvidos em refrigeração mecânica ou por absorção. O estudo estabeleceu os parâmetros básicos de operação dos sistemas, concluindo que os mesmos seriam tecnicamente viáveis.

Considerando as dificuldades de resfriamento que irão se apresentar nas diversas regiões em que as destilarias serão implantadas, se justifica retomar o estudo das alternativas de resfriamento da fermentação com unidades de refrigeração.

3.2.6 Destilação

O processo de destilação atualmente em operação no Brasil tem suas origens na tecnologia empregada nas Usinas de Melle, tendo sido originalmente projetado para produzir etanol de grau industrial, empregando vapor de escape como meio de aquecimento.

O processo foi projetado para atender flexibilidade no grau dos vinhos (6-10°GL), na natureza da matéria prima empregada na fermentação e flutuações no fornecimento de vapor, assim como na alimentação de vinho. Inicialmente os internos dos aparelhos eram de calotas, sendo realizada a destilação num conjunto de três colunas: de esgotamento, epuração e concentração de cabeças. A retificação é realizada num conjunto retificador com uma seção retificadora propriamente dita e uma seção de esgotamento da flegma.

Nos anos 80 foi introduzida uma inovação, sendo eliminada a seção de esgotamento de flegma, sendo enviada a flegma parcialmente esgotada à esgotadora de vinhos do conjunto de destilação. Junto com esta inovação foram introduzidos os pratos perfurados na retificação, substituindo as calotas. Estas modificações trouxeram consigo uma redução de consumo de vapor na produção de AEHC.

Os conjuntos de destilação originais eram despojados de automação. Mais recentemente algumas unidades começaram a implantar o controle digital.

Esta concepção de destilação leva a um consumo específico de 2,5 a 4 kg de vapor de escape por litro de AEHC. Este consumo irá ser menor no caso de vinhos mais ricos. Dependendo da configuração utilizada convencional ou *Flegstil* o consumo será maior ou menor respectivamente.

As destilarias (por causa da ampliação gradativa da produção de etanol desde o início do Proálcool) operam vários conjuntos em paralelo para atender a produção.

Um dos problemas mais críticos relacionados à eficiência na destilação está associado à ausência de um controle de perdas de etanol no fundo da seção de esgotamento do vinho, havendo uma carência de sensores para detecção desta perda em tempo real. Considerando a relação volume de vinhoto gerado por volume de etanol produzido, conclui-se que concentrações comparativamente pequenas de etanol arrastado na vinhaça poderão levar a perdas significativas de etanol.

Para atender o novo modelo de produção de etanol estabelecido neste projeto será necessária uma reformulação da tecnologia existente, considerando que tem havido mudanças significativas na produção de etanol, tais como:

- A economia de escala levou a que atualmente as capacidades das destilarias estão bem acima dos conjuntos de destilação disponíveis no mercado;
- Dispõe-se de vapor de escape estável no que diz respeito à pressão e vazão mássica;
- A instrumentação, automação e os sistemas de controle digital estão disponíveis e seu custo é comparativamente menor;
- A destilaria como um todo opera mais uniforme e sem flutuações, assegurando uma alimentação de vinho uniforme e ininterrupta.

Neste novo cenário existem condições para uma reformulação envolvendo os seguintes:

- Projeto de um conjunto único totalmente instrumentado e automatizado e capaz de atender a produção de etanol prevista neste modelo;
- Introdução de internos das colunas de maior eficiência e menor perda de pressão (bandejas perfuradas ou valvuladas), considerando a uniformidade no grau e vazão de vinho e na pressão e vazão de vapor. Está mudança de internos de menor perda de pressão vai permitir aumentar o número de estágios, diminuindo a taxa de retrogradação e em consequência o consumo de vapor.
- Introdução de arranjos de destilação em múltiplos efeitos operando em diferentes níveis de pressão (vácuo, pressão de vapor de escape e pressão acima da do vapor de escape) onde os vapores destilados de uma coluna são condensados no refeedor de outra coluna, reduzindo o consumo de vapor a valores entre 1,4 -3 kg por litro de AEHC, dependendo do arranjo escolhido.

3.2.7 Processos de desidratação

Destilação azeotrópica com ciclohexano

O processo de desidratação mais empregado no Brasil é o de destilação azeotrópica com ciclohexano. Este processo foi consolidado nos anos 80 através de reformulação dos conjuntos de destilação existentes que operavam a desidratação por destilação azeotrópica com benzeno. O uso de benzeno foi abolido pela toxicidade deste solvente.

Este processo se baseia na incorporação de ciclohexano ao etanol retificado para formar uma mistura azeotrópica ternária. Numa coluna de destilação o ternário é destilado, condensado, resfriado e separado por decantação em duas fases, uma pobre em água que é re-introduzida na coluna, enquanto a que carrega a maior parte da água originária do etanol retificado é conduzida à coluna recuperadora que destila o ciclohexano no topo, sendo removida do fundo uma flegma hidroalcoólica para re-processo junto à retificação de etanol.

Do fundo da coluna de destilação do ternário se recupera o AEAC.

Não existem dificuldades operacionais com este processo, a tecnologia está dominada, as perdas de ciclohexano são facilmente controláveis a valores mínimos. O solvente é de baixa toxicidade, sendo seu custo também comparativamente baixo.

O custo de investimento das instalações de processo é comparativamente baixo.

O único fator que pesa negativamente deste processo é o elevado consumo de vapor de escape quando comparado com as peneiras moleculares e o processo com monoetilenoglicol.

A tecnologia de desidratação por ciclohexano poderá ser reformulada tendo como foco a redução do consumo energético para tornar a mesma competitiva com as outras opções abaixo citadas.

Processo de desidratação por absorção com monoetilenoglicol (MEG).

O processo emprega monoetilenoglicol como agente absorvedor de água. O processo é um aprimoramento do antigo processo Marillier para desidratação de etanol, que foi praticado em algumas destilarias até o início dos anos 80. Na versão adotada nas destilarias do Centro-Sul o etanol hidratado é vaporizado num refeedor com vapor de escape. Estes vapores são conduzidos ao pé de uma coluna de absorção, onde são postos em contato com o MEG líquido, introduzido no topo. Nas bandejas da coluna de absorção é feita a remoção da água do etanol para o MEG. Vapores de AEAC são removidos do topo do absorvedor, condensados e resfriados. O MEG esgotado é conduzido a um refeedor operado com vapor de 10 Bar como meio de aquecimento sendo o sistema operado sob um vácuo de 450-500 mm de Hg. Neste refeedor são removidos por evaporação a água e o etanol contidos no MEG, a seguir estes são condensados e enviados à retificadora enquanto o MEG retorna à coluna de absorção.

O processo está operando com sucesso e o número de unidades instaladas vem crescendo. O consumo energético é de aproximadamente 0,25-0,27 kg de vapor de escape e 0,5 kg de vapor de 10 Bar por litro de AEAC produzido. Embora este processo esteja consolidado, entendemos que devam ser estudadas alternativas para integração com a retificação e para a redução do consumo energético.

Alternativas para estudo seriam:

- Introdução direta de vapores alcoólicos da retificadora;
- Estudar a realização da recuperação do MEG sob condições de vácuo mais elevado (5-50 mm de Hg), com o propósito de diminuir a temperatura de operação e substituir o vapor primário por vapor de escape. Operando a temperaturas menores as possibilidades de decomposição do MEG a compostos indesejáveis fica reduzida.
- A formação de compostos químicos tóxicos a partir do MEG nas condições de operação deve ser investigada;
- As perdas de MEG não tem sido quantificadas, sendo necessário um estudo complementar.

Processo de desidratação com peneiras moleculares

A desidratação empregando peneiras moleculares foi introduzida no Brasil na década de 90. O processo se baseia no emprego de um leito de zeólitos que adsorvem a água associada ao etanol hidratado. Os zeólitos especificamente preparados para esta operação atuam em forma reversível sendo possível remover a água do leito por evaporação.

O processo parte de etanol hidratado que é vaporizado num evaporador empregando vapor de escape para aquecimento. Os vapores são conduzidos aos leitos de zeólitos onde a água é seqüestrada. Os leitos operam num ciclo descontínuo com um estágio de adsorção até 70% da capacidade de saturação seguida de um estágio de remoção da água ocluída, por evaporação a vácuo. Os vapores de AEAC obtidos são condensados e resfriados até a temperatura ambiente. Assim que o leito atinge sua capacidade limite de absorção de água é posto em operação o segundo leito, enquanto o esgotado é recuperado, removendo a água ocluída e o etanol retido na instalação por evaporação a vácuo. Os vapores (65°GL) são condensados e enviados à retificadora.

O processo está completamente estabelecido nas destilarias de grande porte do Centro Sul. Dúvidas referentes à operação e a vida útil do zeólito estão completamente dirimidas.

O processo é energeticamente eficiente, sendo que na variante instalada nas destilarias do centro sul o consumo de vapor (secundário e primário) é de 0,50-0,55 kg por litro de AEAC.

Um aprimoramento que deverá ser introduzido é a retirada direta de vapores de etanol da retificadora para desidratação. Esta variante permite uma diminuição do consumo de vapor de aquecimento.

Pervaporação e permeação de vapores

As possibilidades de aplicação de membranas para recuperação de etanol dos vinhos data dos anos 80, época em que foram feitas as primeiras aplicações. As

mesmas coincidiram com a disponibilidade comercial de membranas de cerâmica, antes reservadas apenas para aplicações em energia nuclear. As tentativas iniciais de realização da desidratação do etanol retificado através de membranas não se mostraram viáveis quando comparadas com os processos convencionais de desidratação.

Os processos de pervaporação ou permeação de vapores apresentam muito interesse considerando que são tecnologias limpas e de baixo consumo energético. Na pervaporação uma mistura de líquidos é evaporada através de uma membrana. As membranas apresentam a propriedade de serem seletivas mudando as volatilidades relativas dos componentes da mistura. Isto faz que membranas específicas permitam a evaporação e transporte seletivo da água enriquecendo o líquido em etanol. Comparando com a destilação, a inexistência de refluxo já mostra um ganho energético significativo.

Na permeação de vapores a mistura de líquidos é previamente evaporada sendo que o vapor resultante é posto em contato com a membrana, onde os vapores apresentam taxas de transporte diferentes. Em membranas específicas a taxa de transporte para os vapores de etanol é muito menor que a correspondente ao vapor de água. O resultado disto é que o vapor de água é transportado através da membrana e a fração retida pela membrana fica enriquecida em etanol.

Mais recentemente o avanço em tecnologia de fabricação de membranas tem colocado no mercado membranas de zeólitos tipo A, que apresentam orifícios de passagem de 0,4 nm. Estas membranas são altamente seletivas, permitindo uma elevada taxa de transporte para vapor de água e uma alta resistência à passagem de vapores de etanol. Exemplo destas membranas são as desenvolvidas no Bio Nanotec Research Institute Inc, Tóquio, Japão. O grupo Mitsui operou uma unidade em escala piloto no Brasil, com o propósito de obtenção de etanol anidro diretamente do vinho final. O estudo está sendo continuado no Japão, onde está em vias de implantação uma unidade industrial para recuperação direta do etanol do vinho final. Avaliações da unidade de piloto da Mitsui assinalaram o potencial dos processos de pervaporação e permeação de vapores quando integrados à destilação. NaACHEMA 2004 foi apresentado o potencial da tecnologia de membranas de zeólitos integrada aos processos de destilação, destacando a economia de energia como vantagem comparativa.

O anterior nos leva a indicar como tecnologia de ponta a ser estudada a pervaporação e a permeação de vapores.

Possibilidades de emprego da pervaporação e permeação de vapores através de membranas nas destilarias de etanol.

As membranas seriam integradas aos sistemas de destilação existentes sendo acopladas entre a retificação e a desidratação.

Desta forma empregando uma das duas alternativas: pervaporação ou permeação de vapores seriam possíveis os seguintes:

- Combinação da pervaporação para quebra do azeótropo e desidratação parcial do etanol até um grau intermediário seqüenciado por algum dos três processos

de desidratção convencional: azeotrópica com ciclohexano, extrativa com MEG ou absorção através de peneiras moleculares.

- Combinação com a retificação que seria realizada a um grau menor (entre 89 e 91 °GL, aproximadamente) seguida de um enriquecimento de vapores até obtenção de AEHC ou mais elevado no caso de AEAC. O resultado será uma redução da taxa de retrogradação e em consequência do consumo energético.

Desidratação com carbonato de potássio

Diversos autores propuseram empregar de sais higroscópicos para seqüestrar a água contida no etanol retificado e obter etanol anidro. Dentre as diversas propostas o emprego de carbonato de potássio foi considerado como uma alternativa com grande potencial. Mais recentemente este processo foi estudado por Ligerio e Ravagnani e consiste no tratamento do etanol retificado com carbonato de potássio. O sal de potássio pode ser adicionado ao etanol extraído da retificadora, absorvendo a água e assim desidratando o etanol. Através de uma decantação a lixívia de carbonato é separada concentrada em evaporadores de múltiplos efeitos e seca em secador spray para reutilização no processo.

Estudos experimentais preliminares mostraram que a técnica é efetiva para desidratção, embora não foi possível conseguir um AEAC suficientemente desidratado para atingir a especificação da ANP. As vantagens desta técnica estão associadas à economia decorrente da retirada da água do sistema através de múltiplos efeitos e ao fato de se tratar de uma tecnologia limpa. As sangrias de carbonato de potássio para manter uma pureza mínima no sistema, seriam utilizadas na adubação da cultura de cana. A eficiência energética durante a secagem do sal também deve ser reavaliada. Justifica-se um estudo mais aprofundado deste processo para avaliar o potencial do mesmo.

Processo Legrand

Este processo proposto na Florida emprega a evaporação múltiplo efeito, para deflegmar o vinho, e vapor de escape como meio de aquecimento dos evaporadores. Os condensados do segundo e terceiro efeito são recuperados para diluição do mosto. No corpo final se remove a vinhaça. Uma flegma de baixo grau (35-40 °GL) é retirada do segundo corpo e enriquecida até 91 -93 °GL por evaporação num só estágio. Esta flegma em fase vapor é submetida a uma operação de contato com uma lixívia de potassa cáustica 50%. A lixívia absorve em forma água os vapores hidroalcoólicos saindo da torre de absorção com 47% de potassa, enquanto que os vapores de etanol atingem uma desidratção até um título de 99% em etanol.

Está tecnologia não foi até agora levada à prática, porém tem com pontos positivos os de ser energeticamente eficiente e apresentar uma alternativa de desidratção total ou parcial do etanol. O ponto negativo está associado à ausência de retificação da flegma de etanol. Isto poderia ser resolvido realizando a segunda evaporação até obtenção de uma flegma de alto grau e introduzindo um estágio de retificação para obtenção de um álcool que atenda a especificação do carburante. A tecnologia pressupõe partir de xarope ou méis na formulação do mosto empregando os condensados com água de diluição. Para o caso de uma destilaria autônoma, outros destinos teriam de ser procurados para estes condensados. O processo não leva em

conta a contaminação da potassa castiça com os ácidos orgânicos voláteis contidos na flegma.

Uma análise deste processo deveria ser conduzida para avaliar o potencial de aplicar o mesmo total ou parcialmente

3.2.8 Tratamento do vinhoto

Os volumes de vinhoto que serão gerados neste projeto representam uma carga poluidora elevadíssima. Isto significa que um esforço grande deverá ser realizado para ter procedimentos confiáveis de manejo do vinhoto e afastar qualquer risco de dano ambiental. Será necessário reavaliar todos os procedimentos atuais de manejo de vinhoto. Pela importância que o vinhoto representa deve se investir no desenvolvimento de tecnologias de tratamento e manejo do mesmo.

Um estudo de tecnologia para tratamento do vinhoto se inicia com um exame do impacto dos constituintes do mesmo na fertirrigação, pois com as tecnologias disponíveis atualmente o destino final para o volume a ser gerado continuará sendo a irrigação e fertilização da lavoura de cana.

Uma nova tecnologia visando realizar uma aplicação mais racional na lavoura envolveria reduzir o volume e ou fracionar ele em componentes com funções específicas.

Um exame preliminar da composição do vinhoto permite distinguir frações com maior ou menor impacto positivo na fertirrigação:

- A água tem impacto favorável sobre o balanço hídrico do solo
- A matéria orgânica associada ao vinhoto não tem uma contribuição positiva apreciável, pois:
- Não apresenta ganhos na fertilização;
- Poderá provocar (ou provoca) alterações na biosfera, alterando a flora microbiana, resultante de fermentações que provocam mal cheiro;
- Havendo aplicação inadequada do vinhoto a matéria orgânica poderá atingir o lençol freático e poluir águas subterrâneas;
- A acidez sulfúrica é indesejável, pois diminui o pH do solo;
- A incorporação do sulfato é indesejável;
- Os sais de potássio (também os fosfatos) têm efeitos benéficos, pois vem a corrigir deficiências deste nutriente;
- Sais de outros alcalinos ou alcalinos terrosos, ou metais como ferro não tem efeito benéfico algum;
- Uma aplicação indevida do vinhoto pode levar a contaminação do lençol freático pelos sais nele contidos.

Alternativas para tratamento de vinhoto

Otimização e ou reformulação da fermentação e destilação para redução do volume de vinhoto.

A otimização da fermentação para redução do volume de vinhoto é uma das primeiras medidas a ser implementadas antes de abordar processos mais complexos. Isto se consegue operando com o máximo teor alcoólico no vinho final (9,5-11,5°GL).

As instalações e o processo de fermentação deverão ser adaptados para atingir uma fermentação estável, sendo necessário operar a temperaturas na faixa de 28-32°C, com mostos com um tratamento físico-químico e térmico eficiente.

Na destilação devem ser substituídos os aquecimentos por contato direto com vapor, instalando refulvedores nas colunas de destilação e retificação.

Recirculação na fermentação, combinada com pré-concentração do caldo.

A técnica de recirculação na fermentação associada à concentração térmica do mosto tem sido apontada como uma possível solução para reduzir o volume de vinhoto gerado.

Uma alternativa é a realização da recirculação associada aos processos de fermentação mais comumente praticados no Brasil; batelada alimentada e contínua em múltiplos estágios, ambos os dois com reciclo de fermento.

Os resultados não se mostraram favoráveis e os sistemas instalados foram desativados.

As dificuldades associadas à recirculação do vinhoto na fermentação são:

- Inibição pelo aumento da pressão osmótica;
- Inibição pelo aumento do teor de ácidos orgânicos no vinho;
- Aumento da carga térmica que provocou inibição na fermentação pelo aumento de temperatura;
- Aumento da infecção pela presença de nitrogênio orgânico proveniente da destruição da levedura durante a deflegmação;
- Aumento do teor de matéria em suspensão que interfere na centrifugação.

O processo Biostil é uma variante dos processos de recirculação de vinhoto que foi desativado por causa das dificuldades de operar uma fermentação estável num vinho com recirculação de vinhoto.

Considerando o impacto altamente favorável que teria a introdução da recirculação de vinhoto, um estudo de reavaliação desta tecnologia, focado na resolução das dificuldades apontadas acima seria altamente desejável. A recirculação pelo menos parcial da vinhaça se viabilizada teria um impacto muito favorável na redução do volume de vinhoto gerado.

Concentração e fracionamento por membranas

O emprego de membranas para pré-concentração por osmose inversa do vinhoto foi testado, sendo comprovada a separação de um concentrado contendo os sais e a maior proporção de matéria orgânica e um permeado com uma fração remanescente da DBO (demanda biológica de oxigênio) e baixíssima concentração de sais. Embora os resultados de fracionamento se apresentem favoráveis, a taxa

efetiva de permeação através das membranas ainda é muito baixa inviabilizando o processo.

A retenção dos sais por hiperfiltração também foi experimentada, apresentando baixa taxa de permeação. Considerando que o tratamento por membranas é uma tecnologia limpa e não intensiva no uso de energia e que o desenvolvimento de novas membranas de melhor performance é crescente, deveriam ser continuados os estudos em membranas.

Os resultados até agora mostram que uma concentração intermediária seria a condição mais favorável, para evitar a perda de eficiência pela polarização de concentração. O processo seria combinado com outros tais como concentração térmica.

Concentração em evaporadores pelo princípio dos múltiplos efeitos, para redução do volume final.

Uma alternativa de tecnologia para redução do volume final de vinhoto e concentração dos sais e matéria orgânica contida é a concentração em evaporadores pelo princípio dos múltiplos efeitos e empregando vapor de escape como meio de aquecimento.

A tecnologia surgiu para recuperação de proteínas e outros, associados à produção de etanol de cereais e obtenção de suplementos nutricionais para pecuária.

Duas tecnologias estão disponíveis a da Vogelbusch e a da Speichim.

O vinhoto é concentrado numa cascata de evaporadores de filme descendente até 65 °Brix. As vantagens estão associadas à concentração que permite estender as distâncias de aplicação do vinhoto e a separação da água condensada do concentrado de sais. Isto permite separar irrigação de fertilização.

Ambas as duas tecnologias estão otimizadas a fim de reduzir ao máximo o consumo de vapor de escape.

Os aspectos desfavoráveis estão associados à rápida formação de incrustações nos internos dos evaporadores, que se agrava quanto mais sais de cálcio e magnésio estejam presentes no vinhoto e quanto mais ácido sulfúrico seja usado na fermentação.

No caso específico de uma destilaria autônoma a concentração dos sais incrustantes é menor (ausência de melaços) e para uma fermentação bem conduzida de caldo os consumos específicos de ácido sulfúrico poderão ser menores.

Levando em conta estes fatores desfavoráveis o processo tem potencial como uma solução isolada ou combinada com outros processos (pré-concentração por membranas, incineração). A tecnologia deveria ser estudada no aspecto de arranjo de múltiplos efeitos a fim de otimizar o consumo de vapor e outros tipos de evaporadores (placas, névoa turbulenta, circulação forçada).

Biodigestão

A biodigestão visando a redução da DBO do vinhoto foi testada e implantada em escala industrial em destilarias anexas.

Posteriormente as instalações foram desativadas face aos seguintes problemas:

- As taxas de aplicação atingidas eram baixas;
- Em vinhoto proveniente de mostos mistos de caldo e melaço a inibição pelo sulfato era forte;
- Emprego do biogás na frota de veículos não se mostrou atrativo;
- Os excedentes de bagaço disponível não incentivaram o uso do biogás em caldeiras;
- O procedimento de aplicação da vinhaça in natura nas soqueiras atendia as exigências da legislação não requerendo tratamentos adicionais.

A biodigestão da vinhaça traz consigo uma série de vantagens tais como a redução da carga biológica do vinhoto, a elevação do pH e a eliminação do sulfato indesejável.

Os sistemas implantados eram com tecnologia de biodigestão contínua em bioreator com manta de lodo e fluxo ascendente, operando na faixa de temperatura de atuação dos microorganismos mesofílicos.

Mais recentemente foram realizados estudos de biodigestão na faixa termofílica, considerando que para um clima subtropical este processo poderia trazer vantagens sem aumentar significativamente os custos operacionais. A biodigestão integrada com outros processos de tratamento de vinhoto mostra potencial e se justifica a retomada destes estudos.

Queima em caldeiras de recuperação

Esta tecnologia tem suas origens na indústria de papel e celulose. Consiste na incineração do vinhoto previamente concentrado e recuperação dos sais.

As vantagens da mesma estão associadas à recuperação dos sais de interesse em adubação da cana e livres da matéria orgânica contida no vinhoto. Esta última é queimada fornecendo energia térmica.

As desvantagens são o elevado investimento nos equipamentos, a corrosão associada à composição química do vinhoto e a fusão dos sais de potássio durante a queima.

Novas alternativas tecnológicas a considerar

Considerando os critérios descritos acima uma nova tecnologia para redução do volume de vinhoto, empregando os procedimentos atuais de fertilização e irrigação associados a cultura de cana deveria envolver os seguintes:

- Remoção do material em suspensão contido no vinhoto através de decantação e centrifugação.
- Concentração térmica do vinhoto em pelo menos 5 efeitos até uma redução de volume de cinco vezes.
- Resfriamento e reutilização dos condensados em irrigação.

- Bio-remediação; remoção do sulfato por bactérias redutoras do sulfato e recuperação do ácido sulfídrico do vinhoto concentrado.
- Floculação para remoção da matéria orgânica coloidal e em suspensão. O decantado poderá ser submetido a biodigestão ou concentrado e queimado.
- Precipitação ou cristalização dos sais contidos no clarificado.

3.2.9 Impacto da introdução de novas tecnologias de produção de etanol

A introdução de novas tecnologias conforme acima descrito virá provocar um impacto positivo no processo de produção de etanol.

O aumento da produção de etanol por tonelada de cana em primeiro lugar, seguido da redução do consumo energético são os fatores mais significativos.

Para analisar o peso de todos os fatores que intervêm será necessário de dispor de uma matriz detalhada do custo do processo de produção de etanol, com o auxílio deste recurso é possível realizar uma otimização do processo. Não dispondo desta matriz e considerando que a matéria prima é a componente com maior peso na formação do preço do etanol podemos em forma preliminar, traçar cenários do impacto da recuperação do açúcar redutor total disponível na cana na produção de etanol.

Nos cenários propostos são considerados os ganhos de eficiência de conversão dos açúcares redutores, em função dos seguintes:

- Eliminação gradativa da lavagem de cana;
- Aumento da eficiência de extração até 98%;
- Aumento do rendimento fermentativo até 92%;
- Diminuição das perdas no processo de tratamento de caldo;
- Aumento da eficiência da destilação, fundamentalmente através da redução das perdas de etanol no vinhoto.

Tabela 3.2.9-1: Impacto da introdução de novas tecnologias na produção de etanol

	litros de etanol por tonelada de cana	litros de etanol por hectare	toneladas de cana por hectare
1977-1978. Início do Programa Nacional do Alcool. Baixas eficiências no processo e na produção agrícola	70	4550	65
1987-1988. Os rendimentos Agrícola e Industrial aumentam significativamente através de um programa de aprimoramento contínuo	75	5700	76
Situação atual. Processo de produção de etanol operando com a melhor tecnologia disponível. Perdas na lavagem de cana: 0,5%; eficiência de extração: 96%; perdas no tratamento do caldo: 0,75%; rendimento fermentativo: 90,3 %; perdas na destilação e vinhoto: 0,5%.	85	6800	80
I 2005-2010. Primeiro estágio de otimização do processo. Perdas na limpeza de cana: 0,4%; eficiência de extração: 96,5%; perdas no tratamento do caldo: 0,75%; rendimento fermentativo: 91 %; perdas na destilação e vinhoto: 0,5%.	86,2	6900	81*
II 2015-2020. Segundo estágio de otimização do processo. Perdas na limpeza de cana: 0,3%; eficiência de extração: 97%; perdas no tratamento do caldo: 0,5%; rendimento fermentativo: 91,5 %; perdas na destilação e vinhoto: 0,25%.	87,7	7020	83*
III 2015-2020. Terceiro estágio de otimização do processo. Perdas na limpeza de cana: 0,25%; eficiência de extração: 98%; perdas no tratamento do caldo: 0,35%; rendimento fermentativo: 92 %; perdas na destilação e vinhoto: 0,20%.	89,5	7160	84*

(*) toneladas de cana equivalentes pelo aumento da conversão em etanol

3.2.10. Impacto da introdução de novas tecnologias. Alternativas para Geração de Excedentes de Energia Elétrica

Estrutura de Avaliação Paramétrica para a Simulação

No exercício que será realizado para o estabelecimento dos vários cenários tecnológicos visando-se o estudo preliminar do aumento da produção de energia na destilaria autônoma, prevê-se a possível avaliação de mais 10 possibilidades a partir do modelo básico atual, resultado da combinação das variáveis envolvidas na análise. Busca-se aplicar ferramentas de simulação numérica para a realização dos balanços de massa e energia em cada opção térmica dimensionada (cenários de geração de energia eletromecânica e térmica), reduzindo-se o tempo médio gasto nesta tarefa.

As características operacionais da configuração que representa o modelo básico atual de esquema tecnológico das usinas no Brasil se resumem nas seguintes:

1. Pressão/temperatura de operação: 22 bar/300°C;
2. Auto-suficiência em energia térmica e eletromecânica: consumo de energia elétrica de 13 kWh/tc, consumo de energia mecânica de 17 kWh/tc, e consumo de energia térmica de 330 kWth/tc, equivalente a um consumo de vapor de processo de 500 kgv/tc, vapor saturado a 2,5 bar;

3. sobra de bagaço: em média da ordem de 5 a 10%;
4. Uso da palha como energético: não existe aplicação

A Figura 3.2.10-1 apresenta uma representação esquemática da estrutura para o dimensionamento energético do esquema térmico simplificado da destilaria autônoma. Neste caso temos considerado apenas 1 módulo de produção (500 tc/h), um par de parâmetros para o vapor vivo, dois consumos de vapor de baixa pressão (vapor de processo), e a cogeração sendo realizada só na safra e a geração de energia elétrica no ano todo. Para todas as quatro opções tecnológicas consideradas adiante dentro das tecnologias convencionais com tendência, foi utilizado turbogerador-TG de condensação com extração controlada a 22 bar. Nestes casos, com o intuito de garantir a temperatura adequada de 300°C na entrada da turbina de acionamento mecânico-TAM, o vapor de água é resfriado injetando-se água líquida pressurizada.

No caso das opções alternativas de geração, isto é, sistemas de 42 bar e 400°C e 42 bar e 450°C respectivamente, e 500 kgv/tc para processo, foram considerados sistemas de cogeração puros com TG de contrapressão e de condensação sem extração. Isto porque, neste caso, tem-se como sendo inviável o uso de TG com extração a 22 bar para as turbinas de acionamento mecânico-TAM.

O modelo gerou 5 possibilidades de combinações paramétricas. A análise é a seguinte:

1. partir do modelo convencional básico, com parâmetros do vapor vivo de 22 bar e 300°C, moagem de 2 Milhões toneladas de cana/safra, operação em regime de cogeração, consumo de vapor de processo de 500 kgv/ton cana, e uso de TG de contrapressão e turbinas multiestágios.
2. análise de modelos de tendência:
 - a. (65 bar,480°C); 500 kgv/ton cana; geração na safra e geração o ano todo (bagaço excedente de 5% a 12% se houver), 50% da palha recuperada=70 kgpalha/ton cana base seca, e uso de TG de condensação com extração controlada e turbinas multiestágios;
 - b. (65 bar,480°C); 350 kgv/ton cana; geração na safra e geração o ano todo (bagaço excedente de 5% a 12% se houver), 50% da palha recuperada=70 kgpalha/ton cana base seca, e uso de TG de condensação com extração controlada e turbinas multiestágios;
3. Mais 2 modelos, os convencionais alternativos, de 42 bar ou 400°C e 450°C;
4. Mais para frente, estas condições anteriores podem se repetir considerando os parâmetros do vapor vivo de 82 bar e 520°C;
5. Um estudo das melhores combinações de pares de valores dos parâmetros P,T do vapor vivo produzido nas caldeiras será realizado. Esta avaliação terá um enfoque técnico-econômico.

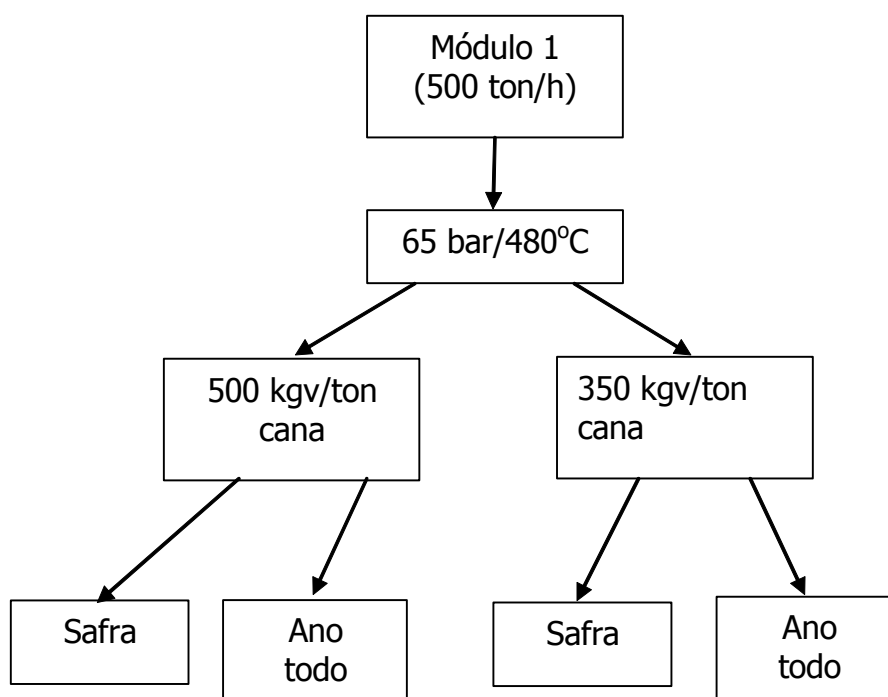


Figura 3.2.10-1: Estrutura para o dimensionamento energético do esquema térmico simplificado da destilaria autônoma de 500 tc/h de capacidade

A matriz de geração de cenários tecnológicos oferece neste caso 5 opções tecnológicas para possível avaliação técnica. Vários índices tecnológicos serão estimados, dentre os quais a geração específica de excedente de energia elétrica (kWhe/tc) e o excedente específico de bagaço de cana (kg/tc), estão entre os mais interessantes. Observa-se a necessidade de uso de palha adicional ao bagaço que sobra da safra para a geração em modo termoelétrico no período de entressafra. Neste caso pode ser viável tecnicamente usar palha de cana na safra e armazenar mais bagaço de cana para a entressafra. Estudos estão sendo realizados nesta direção (**LINERO e LAMÔNICA, 2005**).

Resultados da Análise de Sensibilidade Paramétrica

O principal resultado que se busca com o estudo paramétrico anterior é o melhor dimensionamento energético industrial para o modelo de destilaria autônoma estudado.

Entretanto, outras possibilidades deverão ser estudadas com o intuito de incrementar a produção de energia na indústria, as quais pressupõem uma análise detalhada de decisões, tais como:

1. aumento da produção de etanol. Esta decisão pode ser buscada estudando as correntes de efluentes de maior e menor temperatura nas colunas de destilação, através de técnicas de otimização. Pode ser considerada também a possibilidade de estudar novas formas de destilação alcoólica com maiores eficiências térmicas;

2. aumento da capacidade de geração de energia elétrica na indústria pelo uso de sistemas TG mais eficientes;
3. aumento da eficiência das caldeiras a vapor pela substituição por equipamentos com maior eficiência térmica, uso de métodos de controle do excesso de ar, queima do combustível sólido em suspensão ou em leito fluidizado, e a diminuição da umidade do combustível (bagaço e palha de cana) através do uso de secadores de leito em suspensão e fluidizado;
4. racionalização do consumo de energia nos processos de recepção e preparo das matérias-primas (cana e palha de cana, por exemplo), e de extração do caldo (principalmente pelo uso de ternos de moendas com consumo variando entre 17 e 20 kWth/tc). Uso de acionamentos elétricos mais eficientes;
5. otimizar o grau de eficiência industrial produzindo-se mais energia elétrica ou mais etanol. Neste caso, uma análise específica das possibilidades de produção de mais álcool na própria destilaria, considerando-se a tecnologia emergente de hidrólise do bagaço excedente (ou parte dele) e até 50% da palha disponível no campo, resulta numa opção tecnológica muito atraente;
6. redução do consumo de vapor de processo de 500 para 350 kgv/tcana, o que pode produzir um aumento em até 2-3 vezes o atual excedente de bagaço de 5 – 10% (pela tecnologia convencional modelo básico), chegando-se a um excedente total de mais de 90 kgbag./tc (base 50% de umidade). Redução do consumo de vapor de processo para valores abaixo de 350 kgv/tcana podem ser conseguidos também, através do aumento da eficiência térmica nos setores de fabricação de açúcar e álcool.

Análise dos Cenários de Geração de Energia

É mostrado, para cada cenário simulado, o esquema térmico obtido e um resumo em Tabela abordando os principais índices de geração. Cada cenário é identificado por um número ou uma letra acompanhada de um número (no caso dos cenários I-a e I-b, que dizem respeito aos cenários intermediários a e b, são os correspondentes à 42 bar e 400 °C e 42 bar e 450°C respectivamente).

Diagrama Térmico Simplificado - Projeto CGEE-MCT/NIPE-UNICAMP - 22 bar - 300 °C - 500 kgv/tc

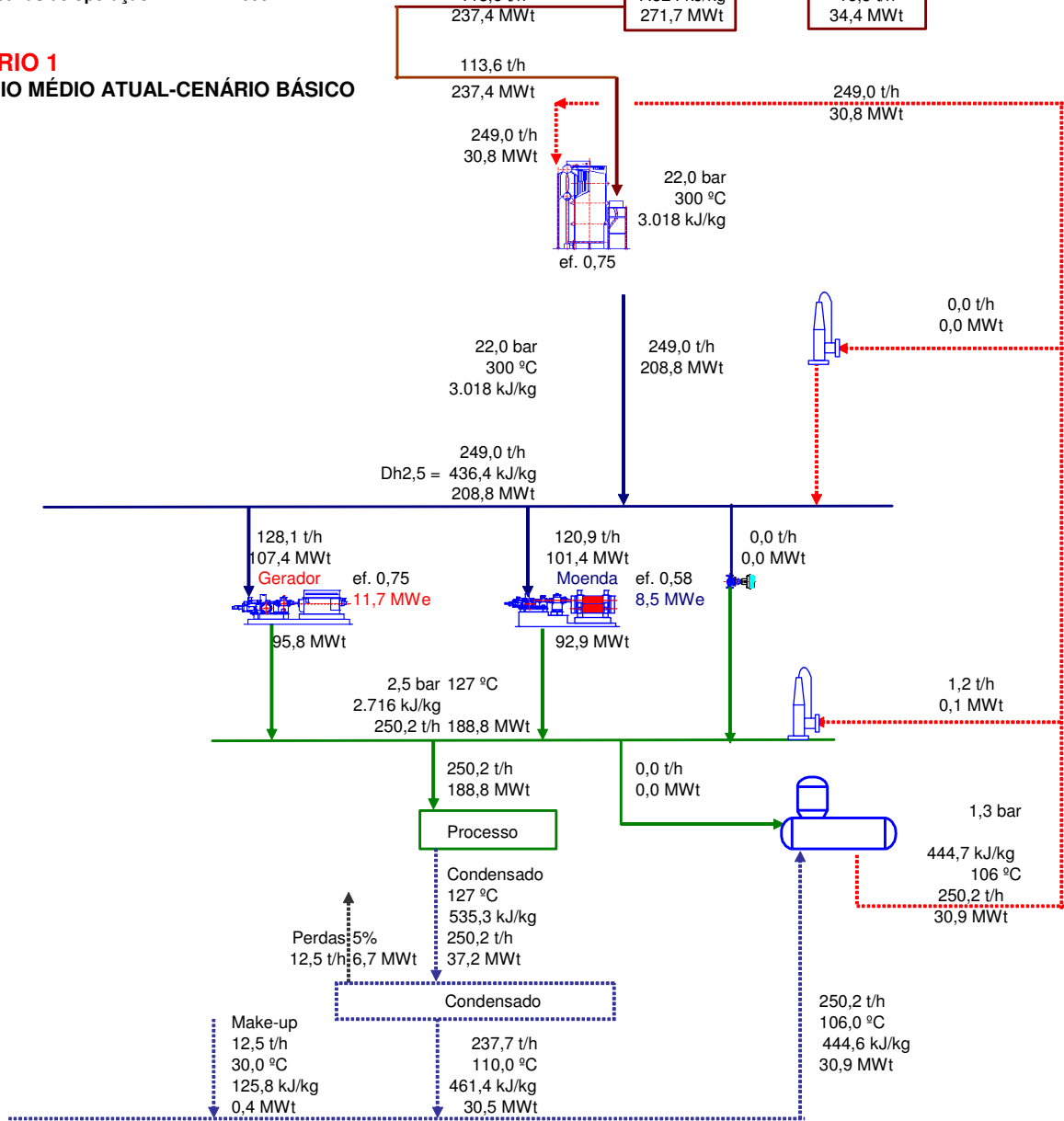
24/06/2005

Moagem Total 2.000.000
 Moagem Horária 500 t/h
 Bagaço produzido (50% umidade) 520000 t
 Horas efetivas de operação 4000 h

fibra em cana 12,3%
 bagaço em cana 26,0%

Bagaço	Excedente
130,0 t/h	12,7%
7.524 kJ/kg	16,5 t/h
271,7 MWt	34,4 MWt

CENÁRIO 1
CENÁRIO MÉDIO ATUAL-CENÁRIO BÁSICO



CENÁRIO 1 – Cenário Médio Atual (cenário de referência)

Características: 22 bar e 300°C, 500 kgv/tc, turbinas de vapor de extração, cogeração pura, operação durante a safra só.

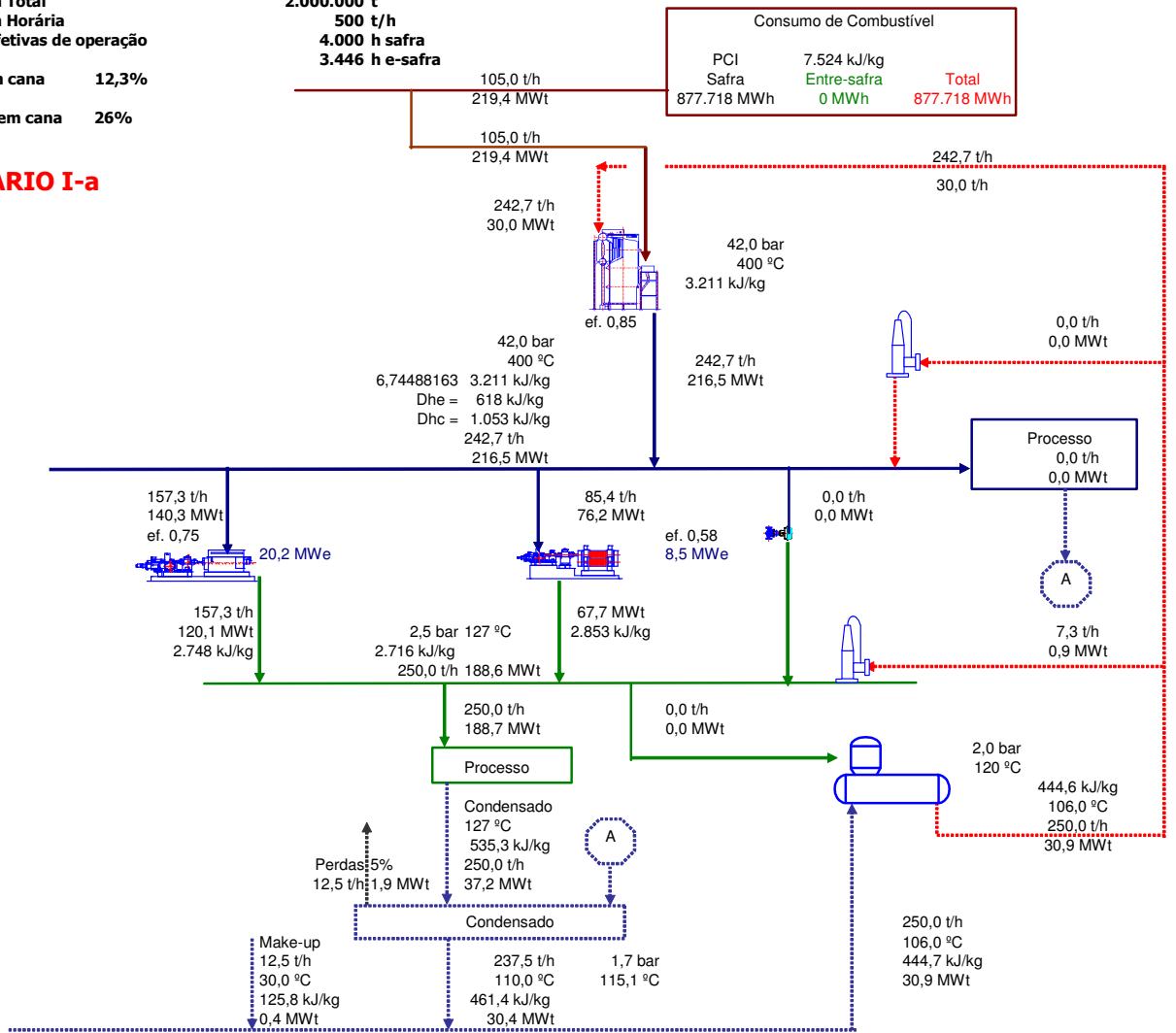
Resumo do Balanço Energético	
-Índices Operacionais-	
Moagem total	2.000.000 t/safra
Moagem diária	12.000 t/dia
Moagem horária	500 t/h
Horas de operação	4.000 h
Consumo específico de vapor de processo	500 kg vapor/tc
-Índices de Geração e Consumo de Energia-	
Potência consumida processo	157,9 MWt (315 kWth/tc)
Potência mecânica gerada/consumida	8,5 MWe (ou 17 kWeh/tc)
Potência elétrica gerada	11,7 MWe (23,4 kWeh/tc)
Potência eletromecânica total gerada	20,2 MWe (40,4 kWeh/tc)
Potência elétrica consumida	6,5 MWe (13 kWeh/tc)
Potência elétrica exportada	5,2 MWe (10,4 kWeh/tc)
Energia eletromecânica consumida	30 kWeh/tc
Energia elétrica exportada	20.800 Mweh
Índices de Geração Específica de Energia	
Produção específica de energia eletromecânica	40,4 kWeh/tc
Produção específica de energia elétrica	23,4 kWeh/tc
Exportação específica de energia elétrica	10,4 kWeh/tc
Índices para o Combustível Lignocelulósico	
Bagaço consumido	113,6 t/h
Excedente de bagaço	16,5 t/h (12.7%)
Excedente específico de bagaço	33 kg/tc
Potência térmica do combustível	237,4 MWt

Diagrama Térmico Simplificado - NIPE / CORI - 42 bar - 400 °C - 500 kg/tc - Safra - sem condensação

Moagem Total **2.000.000 t**
 Moagem Horária **500 t/h**
 Horas efetivas de operação **4.000 h safra**
3.446 h e-safra

Fibra em cana **12,3%**
 Bagaço em cana **26%**

CENÁRIO I-a



CENÁRIO I-a – Cenário Intermediário

Características: 42 bar e 400°C, 500 kgv/tc, turbinas de vapor de extração, cogeração pura, operação durante a safra só.

Resumo do Balanço Energético	
-Índices Operacionais-	
Moagem total	2.000.000 t/safra
Moagem diária	12.000 t/dia
Moagem horária	500 t/h
Horas de operação	4.000 h
Cons. específico de vapor de processo	500 kg vapor/tc
-Índices de Geração e Consumo de Energia-	
Potência consumida processo	157,8 MWt (315 kWth/tc)
Potência mecânica gerada/consumida	8,5 MWe (17 kWeh/tc)
Potência elétrica gerada	20,2 MWe (40,4 kWeh/tc)
Potência eletromecânica total	28,7 MWe (57,4 kWeh/tc)
Potência elétrica consumida	7,5 MWe (15 kWeh/tc)
Potência elétrica exportada	12,7 MWe (25,4 kWeh/tc)
Energia eletromecânica consumida	32 kWeh/tc
Energia elétrica exportada	50.967 MWeh
-Índices de Geração Específica de Energia-	
Produção específica de energia eletromecânica	57,4 kWeh/tc
Produção específica de energia elétrica	40,4 kWeh/tc
Exportação específica de energia elétrica	25,4 kWeh/tc
-Índices para o Combustível Lignocelulósico-	
Bagaço consumido	105,0 t/h
Excedente de bagaço	25 t/h (19,2 %)
Excedente específico de bagaço	50 kg/tc
Potência térmica do combustível	219,4 MWt

CENÁRIO I-b – Cenário Intermediário

Características: 42 bar e 450°C, 500 kgv/tc, turbinas de vapor de extração, cogeração pura, operação durante a safra só.

Resumo do Balanço Energético	
-Índices Operacionais-	
	Safra
Moagem total	2.000.000 t/safra
Moagem diária	12.000 t/dia
Moagem horária	500 t/h
Horas de operação	4.000 h
Cons. específico de vapor de processo	500 kg vapor/tc
-Índices de Geração e Consumo de Energia-	
Potência consumida processo	157,8 MWt (315 kWth/tc)
Potência mecânica gerada/consumida	8,5 MWe (17 kWeh/tc)
Potência elétrica gerada	21,6 MWe (43,3 kWeh/tc)
Potência eletromecânica total gerada	30,1 MWe (60,3 kWeh/tc)
Potência elétrica consumida	7,5 MWe (15 kWeh/tc)
Potência elétrica exportada	14,1 MWe (28,3 kWeh/tc)
Energia eletromecânica consumida	32 kWeh/tc
Energia elétrica exportada	56.555 MWeh
-Índices de Geração Específica de Energia-	
Produção específica de energia eletromecânica	60,3 kWeh/tc
Produção específica de energia elétrica	43,3 kWeh/tc
Exportação específica de energia elétrica	28,3 kWeh/tc
-Índices para o combustível lignocelulósico-	
Bagaço total consumido	105,8 t/h
Excedente de bagaço	24,2 t/h (18,6%)
Excedente específico de bagaço	48,4 kg/tc
Potência térmica do combustível	221,1 MWt

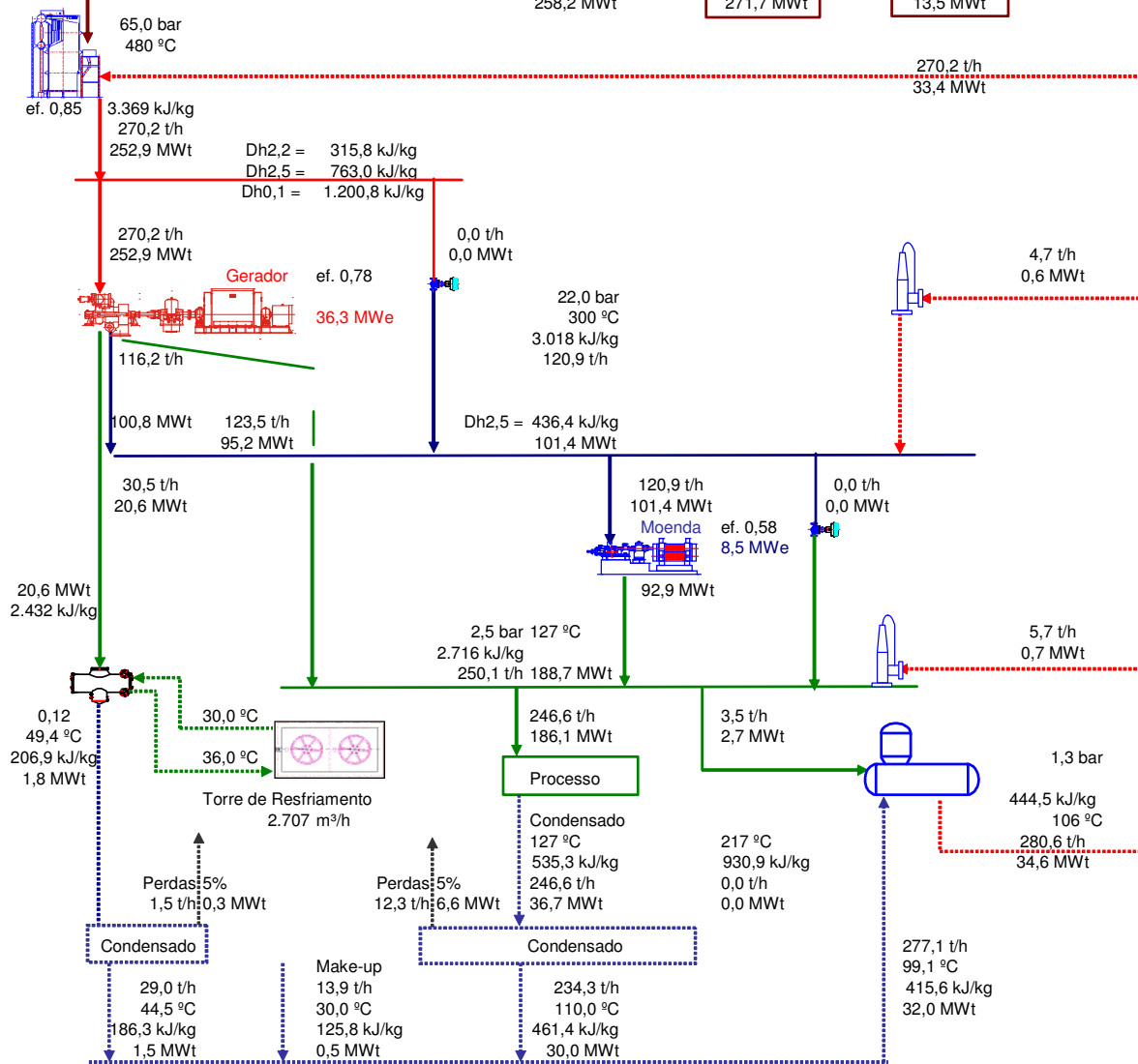
Diagrama Térmico Simplificado - Projeto CGEE-MCT/NIPE-UNICAMP - 65 bar-480 °C-500 kgv/tc- condensação/extração-Safra

24/06/2005

Moagem Total	2.000.000	fibra em cana	12,3%
Moagem Horária	500 t/h	bagaço em cana	26,0%
Bagaço produzido (50% umidade)	520000 t		
Horas efetivas de operação	4000 h	123,6 t/h	
		258,2 MWt	

Bagaço	130,0 t/h	Excedente	5,0%
	7.524 kJ/kg		6,5 t/h
	271,7 MWt		13,5 MWt

CENÁRIO 2



CENÁRIO 2 – Cenário Convencional de Tendência (atual e futura)

Características: 65 bar e 480°C, 500 kgv/tc, turbinas de vapor de condensação/extração, cogeração pura, operação durante a safra só.

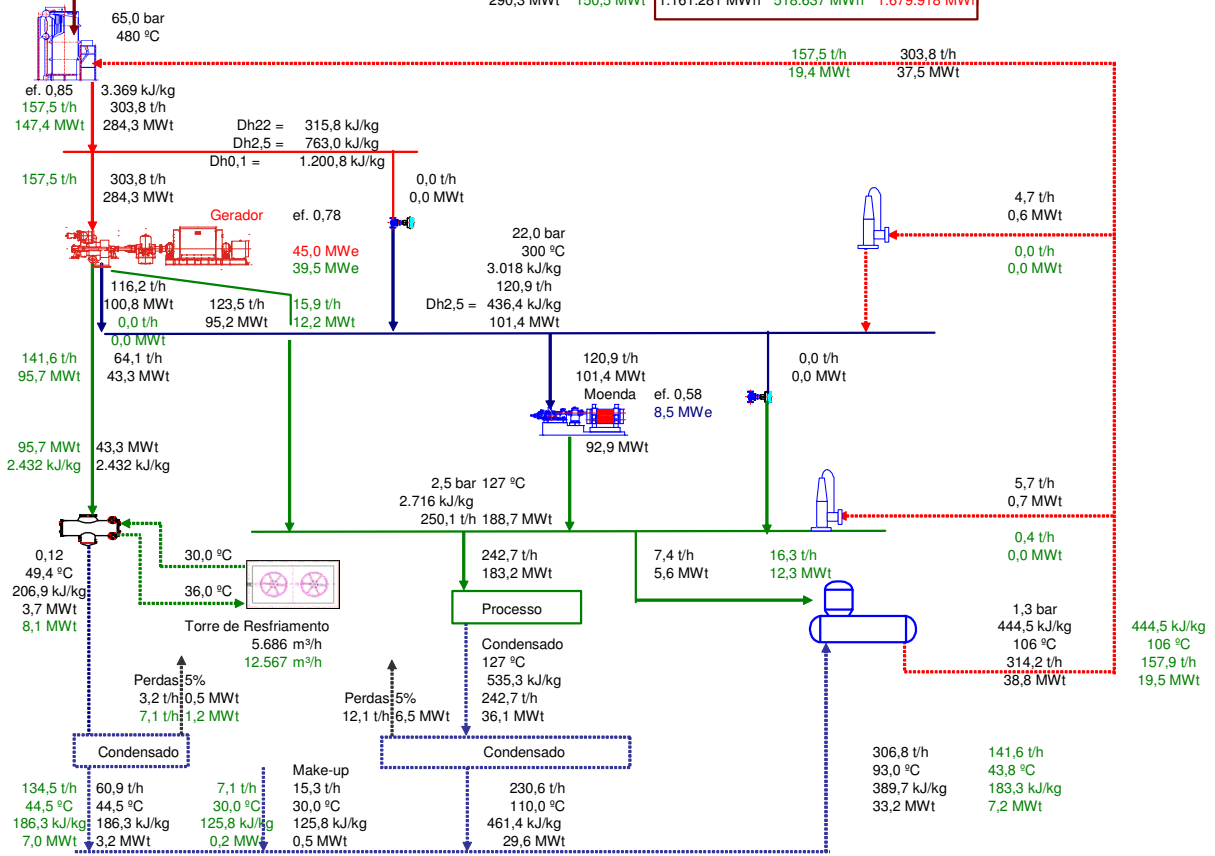
Resumo do Balanço Energético	
-Índices Operacionais-	
Moagem total	2.000.000 t/safra
Moagem diária	12.000 t/dia
Moagem horária	500 t/h
Horas de operação	4.000 h
Consumo específico de vapor de processo	500 kg vapor/tc
-Índices de Geração e Consumo de Energia-	
Potência Consumida Processo	154,1MWt (308 kWth/tc)
Potência mecânica gerada/consumida	8.5 MWe (17 kWeh/tc)
Potência elétrica gerada	36,3 MWe (72,6 kWeh/tc)
Potência eletromecânica total gerada	44,8 MWe (89,6 kWeh/tc)
Potência elétrica consumida	7,5 MWe (13 kWeh/tc)
Potência elétrica exportada	28,8 MWe (57,6 kWeh/tc)
Potência eletromecânica consumida	32 kWeh/tc
Energia elétrica exportada	115.207 MWeh
-Índices de Geração Específica de Energia-	
Produção específico de energia eletromecânica	89,6 kWh/tc
Produção específica energia elétrica	72,6 kWeh/tc
Exportação específica energia elétrica	59,6 kWeh/tc
Índices para o Combustível Lignocelulósico	
Bagaço consumido	123,6 t/h
Excedente de bagaço	6,5 t/h (5,0%)
Excedente específico de bagaço	13 kg/tc
Potência térmica do Combustível	258,2 MWt

**Diagrama Térmico Simplificado - Projeto CGEE-MCT/NIPE-UNICAMP-65 bar-480°C-500 kg/tc-
Ano todo (70 kg de palha seca/tc)-condensação/extração**

Moagem Total	2.000.000	fibra em cana	12,3%	Consumo de Combustível		
Moagem Horária	500 t/h	bagaço em cana	26,0%	PCI	7.524 kJ/kg	
Bagaço produzido (50% umidade)	520000 t			Safra	Entre-safra	Total
Horas efetivas de operação	4000 h (Safra)	138,9 t/h	72,0 t/h	555.637 t	248.152 t	803.789 t
		290,3 MWt	150,5 MWt	1.161.281 MWh	518.637 MWh	1.679.918 MWh

24/06/2005

CENÁRIO 3



CENÁRIO 3 – Cenário Convencional de Tendência (atual e futura)

Características: 65 bar e 480°C, 500 kgv/tc, turbinas de vapor de condensação/extração, cogeração pura durante a safra e operação modo termoeletrico puro na entressafra, utiliza 70 kg de palha seca/tc (combustível adicional), não há excedente de material lignocelulósico (biomassa vegetal combustível).

Resumo do Balanço Energético			
-Índices Operacionais-			
	Safra	e-safra	unidades
Moagem total	2.000.000		t/safra
Moagem diária	12.000		t/dia
Moagem horária	500		t/h
Horas de operação	4.000	3.446	H
Consumo específico de vapor de processo	500 kg vapor/tc		
-Índices de Geração e Consumo de Energia-			
Potência consumida processo	149,9 (299,8 kWth/tc)	12,3 (24,6 kWth/tc)	MWt
Potência mecânica gerada/consumida	8,5 (17 kWeh/tc)	0,0	MWe
Potência elétrica gerada	45,0 (90 kWeh/tc)	39,5 (79 kWeh/tc)	MWe
Potência eletromecânica total	53,5 (107 kWeh/tc)	39,5 (79 kWeh/tc)	MWe
Potência elétrica consumida	7,5 (13 kWeh/tc)	2,0 (4 kWeh/tc)	MWe
Potência elétrica exportada	37,5 (75 kWeh/tc)	37,5 (75 kWeh/tc)	MWe
Energia térmica consumida	599.790	42.324	MWth
Energia Eletromecânica produzida	214.141	135.992	MWeh
Energia elétrica produzida	180.141	135.992	MWeh
Energia elétrica exportada	150.000	129.225	MWeh
Exportação total E.E.	279.225		MWeh
-Índices de Geração Específica de Energia-			
Produção específica de energia eletromecânica (total)	107 (186)	79	kWeh/tc
Produção específica de energia elétrica (total)	90 (169)	79	kWeh/tc
Exportação específica de energia elétrica (total)	75 (150)	75	kWeh/tc
-Índices para o Combustível Lignocelulósico-			
Bagaço total produzido (50% umidade)	520.085		t/safra
PCI do bagaço (50% umidade)	7.524		kJ/kg
Bagaço consumido	138,9	72,0	t/h
Palha total recuperada (base seca)		140.000	T
Palha total recuperada (base 15% umidade)		164.706	T
Palha total recuperada (base 50% umidade)		248.152	T
PCI da palha (15% umidade)		12.960	kJ/kg
Potência térmica dos combustíveis	290,3	150,5	MWt
Excedentes de combustível (bagaço e palha)	0	0	t/h

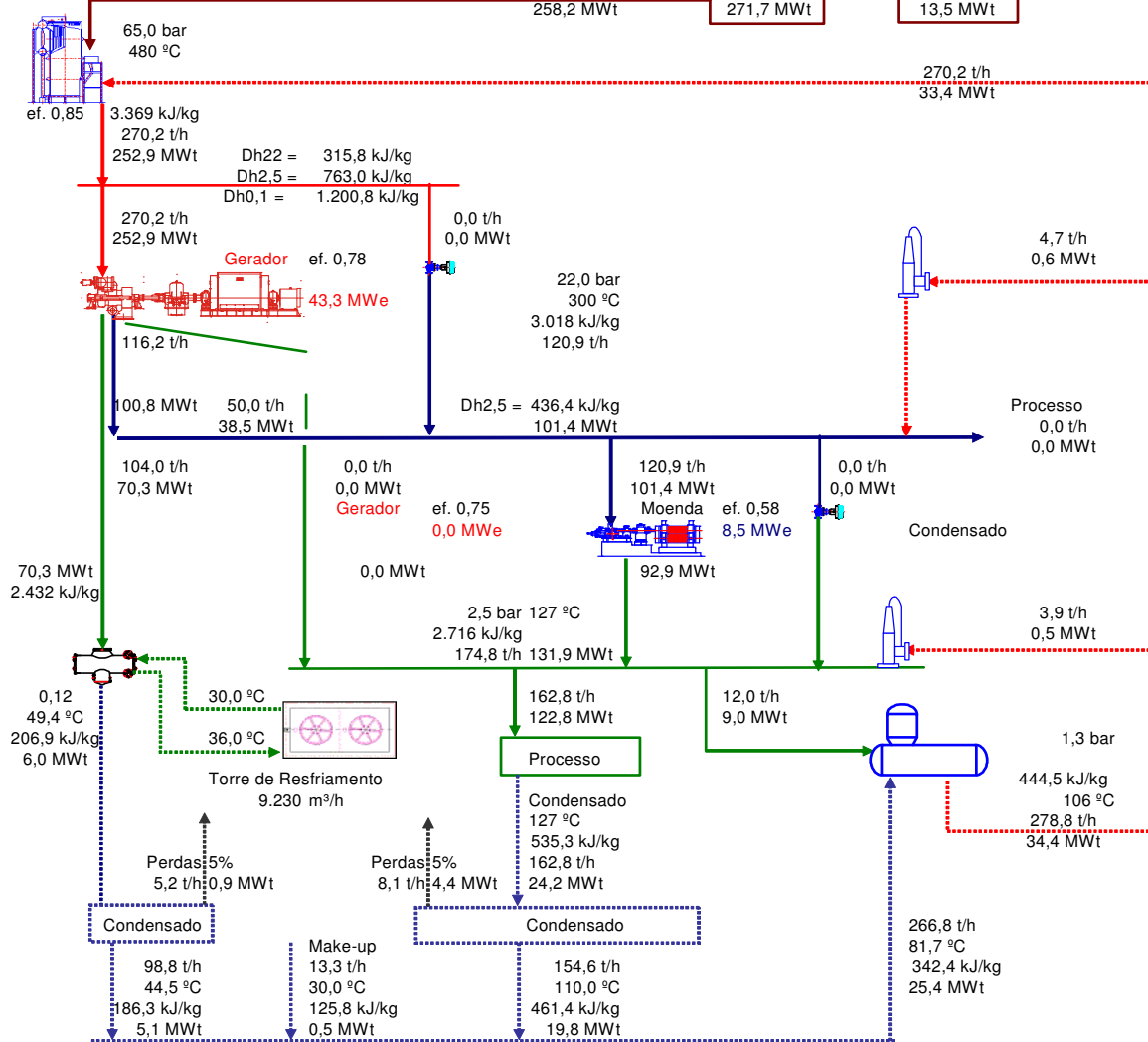
Diagrama Térmico Simplificado - Projeto CGEE-MCT/NIPE-UNICAMP-65 bar-480°C-350 kg/tc-condensação/extração-Safra

24/06/2005

Moagem Total	2.000.000	fibra em cana	12,3%
Moagem Horária	500 t/h	bagaço em cana	26,0%
Bagaço produzido (50% umidade)	520000 t		
Horas efetivas de operação	4000 h	123,6 t/h	

Bagaço	130,0 t/h	Excedente	5,0%
	7.524 kJ/kg		6,5 t/h
	271,7 MWt		13,5 MWt

CENÁRIO 4



CENÁRIO 4 – Cenário Convencional de Tendência (atual e futura)

Características: 65 bar e 480°C, 350 kgv/tc, turbinas de vapor de condensação/extração, cogeração pura, operação durante a safra só.

Resumo do Balanço Energético	
-Índices Operacionais-	
Moagem total	2.000.000 t/safra
Moagem diária	12.000 t/dia
Moagem horária	500 t/h
Horas de operação	4.000 h
Cons. Esp. vapor processo	350 kg vapor/tc
-Índices de Geração e Consumo de Energia-	
Potência Consumida Processo	97,5 MWt (195 kWth/tc)
Potência mecânica gerada/consumida	8,5 Mwe (17 kWeh/tc)
Potência elétrica gerada	43,3 Mwe (86,6 kWeh/tc)
Potência eletromecânica total	51,8 Mwe (103,6 kWeh/tc)
Potência Elétrica consumida	7,5 MWe (13 kWh/tc)
Potência Elétrica exportada	35,8 Mwe (71,6 kWeh/tc)
Energia Elétrica Exportada	143.093 Mweh
-Índices de Geração Específica de Energia-	
Produção Específica de Energia Eletromecânica	103,6 kWeh/tc
Produção Específica de Energia Elétrica	86,6 kWeh/tc
Exportação Específica de Energia Elétrica	71,6 kWeh/tc
-Índices para o Combustível Lignocelulósico-	
Bagaço consumido	123,6 t/h
Excedente de bagaço (50% de umidade)	6,5 t/h (5.0%)
Excedente específico de bagaço (50% de umidade)	13 kg/tc
Potência Térmica do Combustível (50% de umidade)	258,2 MWt

CENÁRIO 5 – Cenário Convencional de Tendência (atual e futura)

Características: 65 bar e 480°C, 350 kgv/tc, turbinas de vapor de condensação/extração, cogeração pura durante a safra e operação modo termoeletrico puro na entressafra, utiliza 70 kg de palha seca/tc (combustível adicional), não há excedente de material lignocelulósico (biomassa vegetal combustível).

Resumo do Balanço Energético			
-Índices Operacionais-			
	Safra	e-safra	unidades
Moagem total	2.000.000		t/safra
Moagem diária	12.000		t/dia
Moagem horária	500		t/h
Horas de operação	4.000	3.446	H
Consumo específico de vapor de processo	350 kg vapor/tc		
-Índices de Geração e Consumo de Energia-			
Potência consumida processo	94,9 (189,8 kWth/tc)	13,5 (23,3 kWth/tc)	MWt
Potência mecânica gerada/consumida	8,5 (17 kWeh/tc)	0,0	MWe
Potência elétrica gerada	48,6 (97,2 kWeh/tc)	43,3 (74,6 kWeh/tc)	MWe
Potência eletromecânica total	57,1 (114,2 kWeh/tc)	43,3 (74,6 kWeh/tc)	MWe
Potência elétrica consumida	7,5 (15 kWeh/tc)	2,2 (3,8 kWeh/tc)	MWe
Potência elétrica exportada	41,1 (82,2 kWeh/tc)	41,1 (70,8 kWeh/tc)	MWe
Energia térmica consumida	379.690	46.389	MWth
Energia Eletromecânica produzida/consumida	228.467	149.054	MWeh
Energia elétrica produzida	194.467	149.054	MWeh
Energia elétrica exportada	164.467	141.601	MWeh
Exportação total E.E.	306.068		MWeh
-Índices de Geração Específica de Energia-			
Produção específica de energia eletromecânica (total)	114,2 (188,8)	74,6	kWeh/tc
Produção específica de energia elétrica (total)	97,2 (171,8)	74,6	kWeh/tc
Exportação específica de energia elétrica (total)	82,2 (153)	70,8	kWeh/tc
-Índices para o Combustível Lignocelulósico-			
Bagaço total produzido (50% umidade)	520.085		t/safra
PCI do bagaço (50% umidade)	7.524		kJ/kg
Bagaço ou palha consumido	133,0	78,9	t/h
Palha total recuperada (base seca)		140.000	T
Palha total recuperada (base 15% umidade)		164.706	T
Palha total recuperada (base 50% umidade)		271.985	T
PCI da palha (15% umidade)		12.960	kJ/kg
Potência térmica dos combustíveis	277,9	165,0	MWt
Excedentes de combustível (bagaço e palha)	0	0	t/h

Na Tabela 3.2.10-1 se mostra um resumo das alternativas avaliadas.

Tabela 3.2.10-1: Resumo das opções tecnológicas avaliadas

Alternativas de geração	Energia elétrica exportada, MWeh		Energia elétrica total exportada, MWeh	Geração específica de energia, kWh/tc			Excedente de bagaço de cana, %	Excedente específico de bagaço de cana, kg/tc	Uso de Palha adicional	Relação Pot. Elétrica exportada/Pot. Térmica do combustível, kWh/MWt
	Safra	E-safra		Total de E.E. e E.M.	E.E.	Exportação (excedente)				
C1. 21 bar, 300°C- Coge , 100% do bagaço, 500kgv/tc	20.800	0	20.800	40,4	23,4	10,4	12,7	33	Não	22
CI-a. 42 bar, 400°C- Coge , 100% do bagaço, 500kgv/tc	50.967	0	50.967	57,4	40,4	25,4	19,2	50	Não	58
CI-b. 42 bar, 450°C- Coge , 100% do bagaço, 500kgv/tc	56.555	0	56.555	60,3	43,3	28,3	18,6	48,4	Não	64
C2. 65 bar, 480 °C - Coge , 100% do bagaço, 500kgv/tc	115.207	0	115.207	89,6	72,6	57,6	5,0	13	Não	111
C3. 65 bar, 480 °C - Ano todo , 100% do bagaço + 50% da palha, 500kgv/tc	150.000	129.225	279.225	175,1	158,1	139,7	0	0	Sim	170
C4. 65 bar, 480 °C - Coge , 100% do bagaço, 350kgv/tc	143093	0	143093	103,6	86,6	71,6	5,0	13	Não	139
C5. 65 bar, 480 °C - Ano todo , 100% do bagaço + 50% da palha, 350kgv/tc	164467	141601	306.068	188,8	171,8	153,0	0	0	Sim	185

Notas:

50 % da palha representa algo em torno de 70 kg/tcana (base seca) para cana com 28% de fibra

Os TG-Turbogeradores operaram, para os modelos de opções tecnológicas convencionais com tendência, como sendo TG de condensação/extração.

Observações:

1. Podem ser comparadas as alternativas de geração C2 e C4, e as alternativas de geração C3 e C5. O ponto de partida para a análise é a alternativa 1 que representa a média para as usinas de açúcar e álcool no País. As alternativas de geração CI-a e CI-b são alternativas à opção de 22 bar, portanto as usinas que operam com 42 bar (400°C ou 450°C) não utilizam sistemas de extração de vapor na turbina a 22 bar. Isto porque o ganho obtido pelo aproveitamento do salto entálpico do vapor desde 42 bar até 22 bar não viabiliza o investimento ao usar turbinas de contrapressão com extração a 22 bar. Usa-se, portanto, sistemas de contrapressão pura. Uma outra alternativa é usar TG de condensação com uma extração a P=2,5 bar para o processo, e a condensação a P=0,12 bar (abs.). Neste caso, visando-se uma maior geração de E.E. é preciso aumentar a geração de vapor de água (caldeiras de maior capacidade);
2. Evidencia-se um importante impacto na geração de excedentes de E.E. pela utilização de tecnologias mais avançadas e, portanto, mais eficientes;
3. Na alternativa C.4 houve um crescimento de E.E. exportada de 20% em relação à alternativa C.2. Já, este mesmo crescimento foi só de 9,5% da alternativa C.5 em relação à alternativa C.3. Em todos os casos o aumento da geração específica de E.E. foi mais que o dobro em relação à alternativa base.

Projeção de implantação dos novos cenários tecnológicos de geração de energia para as novas usinas e/ou destilarias

A projeção da implantação dos novos cenários tecnológicos específicos de geração de energia para as novas usinas e/ou destilarias aqui apresentada constitui uma primeira aproximação visando a elaboração de um modelo mais completo de projeção de cenários, o qual deve integrar também questões econômicas, do uso da terra, logísticas relacionadas à produção e escoamento do álcool, etc., questões estas que deverão ser objeto de um estudo mais aprofundado na segunda fase deste projeto. É considerada, portanto, uma projeção conservadora. Na Tabela 3.2.10-2 se mostra a proposta preliminar do exercício de projeção da penetração dos cenários de geração abordados neste projeto dentro do horizonte temporal de 20 anos.

Embora que na simulação da projeção da expansão da produção de etanol tenha sido utilizado um único cenário de geração de energia, especificamente aquele que considera a tecnologia com caldeira de 65 bar, 480oC, Coge, 500 kgv/tc, consideramos importante realizar este exercício procurando mostrar o possível ganho ou a possível perda de oportunidade na geração de excedentes de energia elétrica mediante o uso de novas e mais avançadas tecnologias.

Na elaboração da projeção foram considerados 4 cenários básicos de geração: sistema convencional de caldeira de 42 bar, 450oC, Coge, a unidade de produção é uma usina de açúcar com destilaria anexa; sistema convencional de caldeira de 65 bar, 480oC, Coge, a unidade de produção é uma destilaria autônoma; sistema convencional de caldeira de 82 bar, 520oC, Coge, a unidade de produção é uma destilaria autônoma, e sistema convencional do tipo CEST, com caldeira de 82 bar, 520oC, ano todo com aproveitamento de 50% da palha disponível no campo (cerca de 70 kg/tc, base seca), a unidade de produção é uma destilaria autônoma.

O estudo da penetração destes cenários num horizonte temporal de 20 anos obedeceu a critérios basicamente práticos. Para os primeiros 5 anos de implantação do projeto foi considerado que só 25% das novas usinas de açúcar e/ou destilarias de álcool implantadas correspondem ao cenário de caldeiras de 65 bar e 480oC. Os outros 75% correspondem com unidades situadas dentro do cenário de caldeiras de 42 bar e 450oC. As unidades que utilizam tecnologia CEST-Turbinas de Vapor de Condensação com Extração só aparecerão a partir da segunda fase de implementação (2010 a 2015) e com uma participação tão conservadora e pouco expressiva quanto de 25%. Esta distribuição obedeceu a critérios tais como: lei federal que estabelece a redução das queimadas de cana de forma progressiva até o ano de 2018; avanços tecnológicos e curva de aprendizado na combustão da palha da cana em caldeiras comerciais, e os novos programas de incentivo às fontes renováveis de energia em relação à produção de energia elétrica no setor sucroalcooleiro (uso de bagaço e palha-de-cana no PROINFA).

Para os sistemas CEST consideramos que ainda existem barreiras tecnológicas principalmente relacionadas com os aspectos da recuperação a um custo econômico e o pré-tratamento da palha, e também em relação ao seu uso nas atuais caldeiras projetadas para bagaço de cana. Não existem ainda suficientes experiências que permitam que possíveis modificações técnicas nas atuais caldeiras para bagaço sejam realizadas com sucesso. Por outro lado, novos projetos de caldeiras e fornalhas para queimar só palha, ou mesmo misturas de palha e bagaço, precisam

ainda de dados técnicos e científicos relacionados com parâmetros de projeto destas unidades. Não é recomendável extrapolar dados já determinados para bagaço de cana. Provavelmente métodos de combustão ainda pouco usados para biomassa devam ser estudados e implementados comercialmente para palha e bagaço.

Na Figura 3.2.10-2 mostra-se um gráfico onde a linha de tendência representa o comportamento na projeção de distribuição, ao longo do tempo, das novas unidades de produção de açúcar e e/ou etanol. A taxa de implementação obtida segundo a distribuição corresponde a um comportamento linear, porém não é a mesma na primeira e segunda fase.

A projeção de cenários de geração de energia aqui realizada é somente uma proposta de exercício de simulação, não é uma projeção definitivamente consolidada, mesmo porque ela ainda é parcial em termos de compatibilidade dos dados em relação às projeções da expansão da produção de cana de açúcar e álcool para o mesmo horizonte de tempo. Para a segunda fase deste projeto pretendemos consolidar todas as informações necessárias à análise de decisão para a projeção das categorias de cenários aqui apresentadas, e estabelecer, provavelmente, uma única projeção para a expansão da produção de cana, álcool e de excedentes de energia elétrica.

Em termos quantitativos, a projeção de penetração dos cenários de geração de energia terá a seguinte distribuição temporal:

Primeira fase (2005-2010): serão implementadas 200 usinas e destilarias autônomas (que chamaremos de unidades) com taxa de implementação de 40 unidades ao ano, sendo 150 unidades com sistema convencional de caldeira de 42 bar e 450oC, e 50 unidades com sistema convencional de caldeira de 65 bar e 480oC;

Segunda fase (2011-2015): serão implementadas 175 unidades (destilarias autônomas) com taxa de implementação de 35 unidades ao ano, sendo 87 unidades com sistema convencional de caldeira de 65 bar e 480oC, 44 unidades com sistema convencional de caldeira de 82 bar e 520oC, e 44 unidades com sistema convencional do tipo CEST com caldeira de 82 bar e 520oC e geração o ano todo;

Terceira fase (2016-2020): serão implementadas 120 unidades (destilarias autônomas) com taxa de implementação de 24 unidades ao ano, sendo 60 unidades com sistema convencional de caldeira de 82 bar e 520oC, e 60 unidades com sistema convencional do tipo CEST com caldeira de 82 bar e 520oC e geração o ano todo;

Quarta fase (2021-2025): serão implementadas 120 unidades (destilarias autônomas) com taxa de implementação de 24 unidades ao ano, sendo 40 unidades com sistema convencional de caldeira de 82 bar e 520oC, e 80 unidades com sistema convencional do tipo CEST com caldeira de 82 bar e 520oC e geração o ano todo.

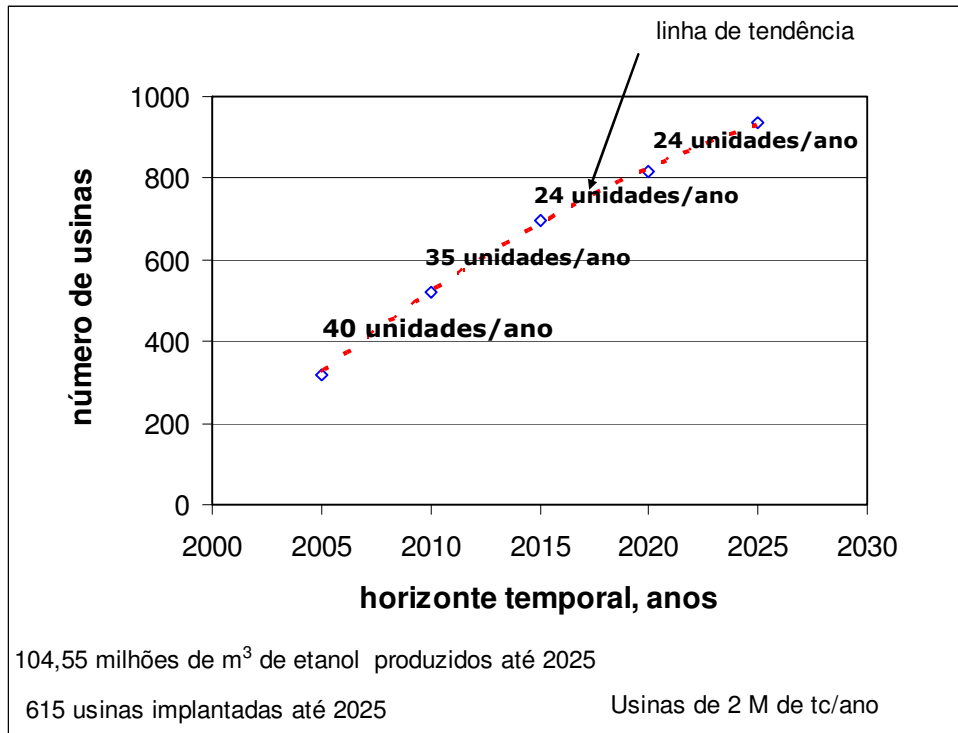


Figura 3.2.10-2: Implantação das novas usinas e/ou destilarias (Fonte: elaboração própria, 2005)

Após o ano de 2025, considera-se a penetração do conceito BIG-GT/CC dada a possível redução nos custos envolvidos, a viabilidade da geração elétrica versus os ganhos em eficiência, e o aprendizado.

De maneira geral pode-se dizer que a distribuição da penetração dos novos cenários de geração de energia deve obedecer também a fatores tais como o crescimento da taxa de aprendizado para as mais modernas tecnologias convencionais e não-convencionais, ainda com pouca ou nenhuma aplicação comercial.

Tabela 3.2.10-2: Projeção da penetração dos cenários tecnológicos de geração de energia para as novas usinas e/ou destilarias

Períodos	Horizonte temporal	Características tecnológicas dos novos cenários de geração de energia	Projeção da penetração dos cenários	Projeção do consumo de vapor para processo	Excedente teórico líquido de bagaço de cana, %
Fase I	2005-2010	1. S. convencional. Caldeira de 42 bar, 450oC, Coge, Usina 2. S. convencional. Caldeira de 65 bar, 480oC, Coge, Destilaria	3/4 cenário 1 1/4 cenário 2	500	5-10
Fase II	2011-2015	1. S. convencional. Caldeira de 65 bar, 480oC, Coge, Destilaria 2. S. convencional. Caldeira de 82 bar, 520oC, Coge, Destilaria 3. S. convencional. CEST. Caldeira de 82 bar, 520oC, ano todo. 50% de palha. Destilaria	1/2 cenário 1 1/4 cenário 2 1/4 cenário 3	400 - 4503	Até 5% nos cenários 1 e 2, zero no cenário 3
Fase III	2016-2020	1. S. convencional. Caldeira de 82 bar, 520oC, Coge, Destilaria 2. S. convencional. CEST. Caldeira de 82 bar, 520oC, ano todo. 50% de palha. Destilaria	1/2 cenário 1 1/2 cenário 2	340 - 3504	até 5% no cenário 1, zero no cenário 2
Fase IV	2021-2025	1. S. convencional. Caldeira de 82 bar, 520oC, Coge, Destilaria 2. S. convencional. CEST. Caldeira de 82 bar, 520oC, ano todo. 50% de palha. Destilaria	1/3 cenário 1 2/3 cenário 2	280 - 2905	até 5% no cenário 1, zero no cenário 2
Fase V	após 2025	1. S. não-convencional. S. avançado de geração – BIG-GT/CC, Caldeira de recuperação de 82 bar, 520oC, ano todo, Destilaria	Único cenário: implementação do conceito – unidades comerciais	280-2906	Zero

Fonte: Elaboração própria (2005)

³ atual consumo de vapor de processo nas destilarias autônomas mais modernas

⁴ 1ª etapa de redução do consumo de vapor de processo: considera a redução do consumo de vapor de processo pela introdução de avanços tecnológicos nos processos de preparo da cana, extração do caldo, tratamento do caldo, fermentação, destilação, etc.

⁵ 2ª etapa de redução do consumo de vapor de processo. Considera outros avanços tecnológicos no processo como a utilização de destilação multiestágio, re-compressão de vapor, etc.

⁶ considera a produção de 100% do vapor gerado a partir do BIG-GT/CC

Otimização energética do ciclo a vapor de água

A idéia de otimizar o ciclo de vapor de água numa usina de açúcar e/ou destilaria de álcool é a de aumentar os excedentes de biomassa lignocelulósica, bagaço e palha de cana-de-açúcar, visando-se seu aproveitamento através de uma das seguintes rotas tecnológicas (ou a combinação mais adequada delas): a produção de maiores excedentes de energia elétrica para exportação, e/ou produzir maiores quantidades de etanol. A seguir alguns aspectos de grande interesse hoje em relação à otimização energética do ciclo a vapor de água.

a) Avaliação do aumento de eficiência de combustão do bagaço de cana nas caldeiras

O gerador de vapor ou caldeira é o dispositivo térmico onde se produz o vapor de água necessário à realização do processo produtivo numa usina de açúcar e álcool. Dentre os principais parâmetros técnicos que caracterizam um equipamento deste tipo devem ser citados a pressão e a temperatura do vapor gerado $(P, T)_{vv}$, onde o sub-índice (vv) significa vapor vivo (vapor nas condições em que é produzido na caldeira ou no recuperador de calor sensível-HRSG das tecnologias BIG-GT/CC). Outros parâmetros relevantes são a capacidade (em toneladas de vapor por hora), e a eficiência bruta da caldeira (em %).

No Brasil, o principal fabricante de caldeiras e de recuperadores de calor é a empresa DEDINI Indústrias de Base, cuja principal unidade fabril encontra-se localizada na cidade de Sertãozinho interior do Estado de São Paulo. A DEDINI fabrica caldeiras de até 300 ton/h de vapor, pressão e temperatura do vapor de 65 bar ou 6,5 MPa (para as caldeiras e até 120 bar ou 12,0 MPa para os HRSG) e 520°C, respectivamente, e eficiências médias brutas das caldeiras da ordem de 85%.

A eficiência de combustão de uma caldeira é um parâmetro técnico-operacional, também utilizado como referência em cálculos de projeto, que considera, basicamente, a combustão incompleta do combustível, isto é, a combustão química incompleta e a combustão mecânica incompleta, as quais representam por volta de 10 a 34% das perdas de energia em equipamentos modernos deste tipo utilizando-se bagaço de cana como combustível, dependendo do tipo de caldeira, modo de combustão, regime operacional, etc. Indicadores de desempenho mostram a marcante influência de parâmetros de projeto e operacionais na eficiência de combustão da caldeira.

Existem, a critério, 3 modos principais de se queimar tecnicamente um combustível numa fornalha de uma caldeira, estes modos são: a queima em deposição, que pode ser em pilha ou formando uma camada de combustível em cima de uma grelha, a qual, por sua vez, pode ser basculante estacionária ou rotativa, plana ou inclinada; a queima em suspensão, onde mais de 90% do combustível é queimado em suspensão numa corrente gasosa à temperatura de queima, sendo a sobra queimada numa pequena grelha; e a queima em leito fluidizado, a qual pode ser convencional (borbulhante) ou circulante. Cada um destes modos de combustão tem suas vantagens e desvantagens. Entretanto, para bagaço de cana

especificamente, ainda existem poucas experiências generalizadas e aplicações práticas para a queima em suspensão e em leito fluidizado.

Atualmente, na indústria sucroalcooleira do Brasil, as caldeiras mais amplamente utilizadas são aquelas onde o bagaço de cana "in natura" é queimado numa grelha estacionária basculante, ou distribuído à fornalha de tal forma que uma fração dele pode queimar em suspensão. Existem hoje em operação algumas caldeiras baseadas no conceito de queima em suspensão.

A eficiência da combustão do bagaço de cana em equipamento de geração de vapor está estreitamente relacionada aos seguintes parâmetros: correto controle da alimentação e do espargimento do bagaço de cana na fornalha, utilização do excesso de ar recomendado dado o modo de queima e o tipo de combustível utilizado, tempo de residência adequado das partículas de bagaço e carbonáceos na fornalha, controle dos parâmetros operacionais de combustão e tiragem (tiro forçado e induzido), controle das infiltrações de ar indesejáveis, e o ajuste da alimentação do ar secundário na região certa da fornalha. Outros indicadores de desempenho que influenciam a eficiência termodinâmica global bruta da caldeira são: velocidade dos gases da combustão nas superfícies de troca de calor, volume de gases produzidos, controle automático de variáveis de processo, composição química dos gases da queima, etc.

Hoje, existe uma busca constante pelo aumento da eficiência de combustão e, portanto, da eficiência bruta da caldeira. Caldeiras de queima em suspensão realizam uma combustão mais eficiente do bagaço de cana, embora tenham um custo de investimento maior em relação às caldeiras de queima sobre grelha. As perdas teóricas de energia por combustão química e mecânica incompleta em caldeiras de queima em suspensão, para sistemas que utilizam-se da tecnologia de vórtex vertical, pode estar na ordem de 0,5 a 0,6%, o que corresponde a eficiências de combustão de 99,4 – 99,5%, e eficiência termodinâmica global bruta da ordem de 89 – 90%. Estas unidades produzem ao redor de 2,00 a 2,75 kgv/kg de bagaço queimado (base úmida).

No setor sucroalcooleiro vem sendo dada singular importância à necessidade de melhorar a eficiência da combustão do bagaço de cana nas caldeiras visando-se, como consequência, aumentar a eficiência termodinâmica global deste equipamento. Os principais fatores sendo considerados neste estudo são: a correta implantação de distribuidores ou espargidores de bagaço de cana e do ar secundário em vários níveis (alturas da fornalha). Busca-se incrementar a relação vapor produzido/bagaço consumido, o que proporcionaria uma maior economia no uso da energia contida no bagaço de cana, aumentando, desta forma, os excedentes deste importante insumo para outras produções (por exemplo de etanol pela via hidrolítica).

Os distribuidores ou espargidores de bagaço são dispositivos que lançam e distribuem o bagaço de cana sobre a grelha.

São 2 os principais tipos de distribuidores de combustível das caldeiras de bagaço de cana convencionais, os mecânicos e os pneumáticos, entretanto, o sistema pneumo-mecânico é o mais utilizado. Este sistema combina a alimentação mecânica do bagaço de cana até o espargidor pneumático, que faz, seguidamente, seu lançamento para dentro da fornalha mediante o uso de um jato pulsante de ar (oscilador de ar tipo borboleta). Os principais objetivos do espargidor são: realizar

uma alimentação homogênea e distribuída do bagaço de cana sobre a grelha da fornalha e, de fato, realizar o controle das infiltrações de ar indesejáveis na caldeira.

No Brasil, estes dispositivos operam a uma pressão estática da ordem de 550 a 750 mm de coluna de água. Em termos de projeto devem ser tomados os devidos cuidados quanto ao dimensionamento do sistema ventilador-tubulação de distribuição de ar, do oscilador de ar tipo borboleta, e da altura a serem instalados estes equipamentos na caldeira.

Quanto à implementação do ar secundário nas caldeiras é importante levar em consideração os seguintes aspectos: dimensionamento do ventilador de ar secundário (vazão e pressão de ar), da tubulação de distribuição deste ar para os coletores de ar frontal e traseiro da caldeira, e a definição quanto à instalação e localização dos blocos de jatos frontal e traseiro em relação ao piso da grelha.

Uma análise criteriosa buscando resultados que comprovem o efeito da implementação destes dois dispositivos no aumento da eficiência de combustão do bagaço de cana mostra que não existem publicações técnico-científicas a respeito. Entretanto, dados oferecidos pela empresa EngBoiler – Engenharia de Caldeiras S/C Ltda., Ribeirão Preto, SP, Brasil (de Abreu, C.E., 2005), demonstram que modificações realizadas na caldeira modelo AZ-365, fabricada pela DEDINI Indústria de Base, para a correta implementação de ar secundário e espargidores de bagaço, favoreceram a capacidade de produção de vapor e a eficiência térmica bruta da caldeira ao PCI (poder calorífico inferior do bagaço de cana), e melhoraram os níveis de emissões de CO (monóxido de carbono) nos gases de saída da caldeira, os quais tiveram aumentos de 7,3 e 3,36% no primeiro e segundo parâmetro, respectivamente, e de 23,6% de redução no caso do terceiro parâmetro. A eficiência bruta da caldeira modificada alcançou valores em torno de 82,5%.

A tendência na geração de vapor no setor sucroalcooleiro para os próximos anos deverá estar focalizada, basicamente, na busca de melhorias nos sistemas de combustão (modos de queima em suspensão ou leito fluidizado são os mais promissores), uso correto de ar secundário e espargidores de bagaço de cana (este último para sistemas de queima em grelha), e secagem do bagaço ou secagem e transporte combinado do bagaço até a caldeira.

b) Implementação de novos conceitos sobre eletrificação de equipamentos nas novas usinas e/ou destilarias

A eletrificação é um novo conceito industrial que prevê a substituição total dos acionamentos mecânicos, basicamente sistemas operando hoje através de turbinas a vapor, por modernos motores elétricos mais eficientes. Ela é principalmente aplicável a áreas industriais na usina e/ou destilaria tais como: lavagem da cana, preparo da cana, moagem, fabricação, e geração de vapor.

Equipamentos que podem ser substituídos pela eletrificação da usina são: bomba de água de lavagem da cana, nivelador de cana, picador e desfibrador, bomba de água para multijato (vácuo na evaporação), bomba de água para resfriamento das dornas de fermentação do caldo, sistemas de acionamento das moendas (neste caso são os sistemas de acionamento dos ternos de moenda e redutores de

velocidades), bombas de alimentação da caldeira, e acionamento dos ventiladores e exaustores (ventiladores de tiro forçado e induzido).

Numa usina e/ou destilaria com nível adequado de eficiência industrial operacional (excedentes de energia elétrica em torno do limite médio de 40 kWh/tc) e fazendo-se uso da eletrificação, podem ser esperados excedentes de geração de energia elétrica de até 55 kWh/tc.

c) Redução do consumo de vapor de processo

Partindo-se da situação média atual de consumo de vapor de processo correspondente a 500 kgv/tc é proposta, neste estudo, uma projeção da redução do consumo de vapor de processo como mostrada na Tabela 3.2.10-2. Os critérios utilizados para a elaborar esta estratégia de projeção obedecem basicamente a questões técnicas. Pizaia, W. (2005) descreve duas etapas de economicidade de energia (pelo vapor) a partir da situação média atual de consumo de 500 kgv/tc (basicamente usinas de açúcar com destilarias anexas), como sendo elas:

1ª etapa de redução do consumo de vapor para processo até 340 – 350 kgv/tc: nesta etapa devem ser consideradas importantes modificações, tais como, uso de trocadores de calor de tipo regenerativo para fluidos tais como vinhaça versus caldo de cana, caldo de cana versus caldo de cana, caldo de cana versus condensado; uso de agitadores mecânicos nos vácuos, uso da tecnologia "flegstil" na destilaria (tecnologia desenvolvida pela DEDINI), otimização da recuperação de condensado, e peneira molecular na destilação. Outros modos de redução do consumo de vapor de processo podem estar relacionados com a introdução de avanços tecnológicos nos processos de preparo da cana, extração e preparo do caldo de cana, e no processo de fermentação do caldo. O consumo de vapor de processo pode ser reduzido para 341 kgv/tc; 2ª etapa de redução do consumo de vapor para processo até 280 kgv/tc: as principais modificações nesta etapa podem ser a otimização de trocadores de calor, uso de novas tecnologias de destilação alcoólica (destilação multiestágio), e o emprego da tecnologia de re-compressão do vapor.

A Tabela 3.2.10-2 anteriormente apresentada mostra a projeção da redução do consumo de vapor de processo a partir da atual situação e chegando ao mais provável patamar técnico teórico. Com os atuais avanços tecnológicos é muito provável que nos próximos 10 a 15 anos no setor se esteja já operando o processo de fabricação com consumos de energia (vapor) perto dos 340 – 350 kgv/tc. Somos ainda conservadores ao estimar a penetração da redução do consumo de vapor em processo para depois de 2010, entretanto, é nesta fase onde prevemos que a sua implementação será mais intensa, pois provavelmente as condições serão mais favoráveis à geração de excedentes de energia elétrica. Para isso será necessário gerar o máximo possível de excedentes de biomassa combustível, tendo a redução do consumo de vapor em processo a maior influência, junto à eletrificação do setor de moagem, caldeiras, dentre outros.

Avaliação das oportunidades pelo lado da geração de energia elétrica nas áreas de expansão ("clusters")

Para efeitos do exercício de simulação que pretendemos mostrar estamos aqui considerando apenas uma das doze áreas de expansão para a produção de etanol combustível, segundo o modelo global do cenário 1 correspondente a 5% de substituição e equivalente a uma produção de 104,55 milhões de m³ de etanol

(104.550 mil m³ de etanol). O objetivo pretendido com este exercício é mostrar o potencial de oportunidades que representaria o aproveitamento dos excedentes de geração de energia elétrica a partir do uso de cenários mais avançados de geração. Os cenários de geração de energia aqui utilizados para a simulação são, em essência, novos cenários de geração, uma vez que não são cenários com aplicação expressiva no atual modelo de geração de energia das usinas e destilarias de álcool no Brasil. Assim sendo, para os efeitos deste projeto, novos cenários de geração de energia são aqueles modelos que consideram caldeiras com parâmetros do vapor a partir de 42 bar e 450oC.

A área selecionada para este exercício de simulação foi a "área 10", a qual está constituída por quatro "clusters" cada um dos quais com diferentes números de usinas. O "cluster" 1 tem 21 usinas, o "cluster" 2 tem 10 usinas, o "cluster" 3 tem 7 usinas, e o "cluster" 4 tem 26 usinas, para um total de 64 usinas. Cada usina aqui considerada tem uma capacidade de moagem de 2 milhões de toneladas de cana por ano-safra (tc/ano-safra), o que é compatível com a usina padrão assim considerada neste trabalho.

Os impactos gerados em termos de oportunidades por "cluster" correspondente à "área 10" estudada foram avaliados com base nos seguintes índices: capacidade instalada, geração de excedentes de energia elétrica produzida, e geração de excedentes de bagaço de cana. Cada um destes índices foi estimado para as duas categorias de valores do parâmetro estabelecidas, o valor máximo teórico e o valor médio real.

Os cenários de geração estudados apresentam as seguintes características técnicas: 65 bar, 480oC, Coge, 100% de bagaço de cana, 500 kgv/tc, geração específica máxima teórica de energia elétrica de 57,6 kWh/tc, e média real de 40 kWh/tc, excedentes líquidos específicos de bagaço de cana da ordem de 10 a 13 kg/tc; 65 bar, 480oC, ano todo (sistema CEST), 100% de bagaço de cana mais 50% da palha disponível no campo (70 kg/tc base seca), 500 kgv/tc, geração específica máxima teórica de energia elétrica de 139,7 kWh/tc, e média real de 96,9 kWh/tc, não há excedentes líquidos específicos de bagaço de cana; 65 bar, 480oC, Coge, 100% de bagaço de cana, 350 kgv/tc, geração específica máxima teórica de energia elétrica de 71,6 kWh/tc, e média real de 49,6 kWh/tc, excedentes líquidos específicos de bagaço de cana da ordem de 10 a 13 kg/tc; 65 bar, 480oC, ano todo (sistema CEST), 100% de bagaço de cana mais 50% da palha disponível no campo (70 kg/tc base seca), 350 kgv/tc, geração específica máxima teórica de energia elétrica de 153 kWh/tc, e média real de 106,2 kWh/tc, não há excedentes líquidos específicos de bagaço de cana.

Para efeito dos cálculos pretendidos utilizamos os 4 cenários de geração anteriores com um único par de parâmetros de caldeira 65 bar e 480oC. Isto foi feito assim, de forma proposital, porque o mais importante neste momento é mostrar o potencial de oportunidades a partir da geração de energia elétrica baseada no modelo convencional básico que estabelece a geração de grandes excedentes deste produto.

Utilizou-se como critério de partida para a estimativa dos parâmetros avaliados em cada cenário de geração que, no caso do cenário 1, se conhece que a relação entre a geração específica média real de energia elétrica e a geração específica máxima teórica está ao redor de 69,4% (40/57,6). Este parâmetro permitiu estimar, para os outros três cenários de geração, a geração específica média real de energia

elétrica considerando que esta relação mantinha o mesmo comportamento numérico.

A Tabela 3.2.10-3 mostra os resultados obtidos neste exercício de simulação. Na Tabela 3.2.10-4 se resumem os resultados deste exercício agrupando-os na "área 10" de forma a melhor observar o potencial de oportunidades de geração de excedentes de energia elétrica que oferecem estas novas opções tecnológicas. Observa-se o efeito da geração no ano todo e da redução do consumo de vapor de processo, no aumento dos excedentes de geração de energia elétrica. Só, o cenário de geração médio mais real (cenário I), pode gerar, na "área 10" aqui considerada, um excedente de energia elétrica em torno de 5 TWh/ano (1,46% do consumo de energia elétrica do Brasil em 2003).

Já a Tabela 3.2.10-5 mostra os resultados globais da geração de excedentes de energia elétrica considerando-se as doze áreas de expansão, correspondentes a um total de 615 usinas e/ou destilarias de capacidade de processamento de 2 milhões de toneladas de cana/ano-safra. Finalmente, na Tabela 3.2.10-6, aparecem os índices que correspondem com o aumento da geração de excedentes de energia elétrica em relação ao cenário médio de partida (cenário de geração 1 de 40 kWh/tc).

Tabela 3.2.10.3 - Capacidade instalada, geração de excedentes de energia elétrica e bagaço de cana para na "área 10" para diferentes cenários tecnológicos de geração

Cenários tecnológicos de geração de energia	Área 10: 10,9 milhões de m ³ de etanol; 2,24 Mha; 4 "clusters"; 64 usinas											
	Cluster 1: 21 usinas; 42 Mtc/ano			Cluster 2: 10 usinas; 20 Mtc/ano			Cluster 3: 7 usinas; 14 Mtc/ano			Cluster 4: 26 usinas; 52 Mtc/ano		
	Capacidade instalada	Geração de excedentes de E.E.	Geração de excedente de bagaço, 10 ⁶ ton/ano	Capacidade instalada	Geração de excedentes de E.E.	Geração de excedente de bagaço, 10 ⁶ ton/ano	Capacidade instalada	Geração de excedentes de E.E.	Geração de excedente de bagaço, 10 ⁶ ton/ano	Capacidade instalada	Geração de excedentes de E.E.	Geração de excedente de bagaço, 10 ⁶ ton/ano
Cenário I:	MW	TWh/ano		MW	TWh/ano		MW	TWh/ano		MW	TWh/ano	
• Máximo teórico	605	2,42	0,42 - 0,55	288	1,15	0,2 - 0,26	202	0,81	0,14 - 0,18	749	2,99	0,52 - 0,68
• Médio real	420	1,68		200	0,80		140	0,56		520	2,08	
Cenário II:												
• Máximo teórico	1470	5,87	zero	699	2,79	zero	489	1,96	zero	1820	7,26	zero
• Médio real	1010	4,05		482	1,93		337	1,35		1250	5,01	
Cenário III:												
• Máximo teórico	751	3,00	0,42 - 0,55	358	1,43	0,2 - 0,26	250	1,00	0,14 - 0,18	930	3,72	0,52 - 0,68
• Médio real	518	2,07		247	0,99		173	0,69		641	2,56	
Cenário IV:												
• Máximo teórico	1610	6,43	zero	765	3,06	zero	536	2,14	zero	1990	7,96	zero
• Médio real	1110	4,46		531	2,12		371	1,49		1380	5,52	

Fonte: Elaboração própria (2005)

Tabela 3.2.10.4 - Valores médios agrupados da capacidade instalada, geração de excedentes de energia elétrica e de bagaço de cana correspondentes à "área 10" para os diferentes cenários tecnológicos de geração

<i>Cenários de geração de energia</i>	<i>Capacidade instalada, MW</i>	<i>Geração de excedentes de energia elétrica, TWh/ano</i>	<i>Geração de excedente líquido teórico de bagaço de cana, 10⁶ ton/ano</i>
Cenário I	1280	5,12	1,28 – 1,67
Cenário II	3079	12,34	zero
Cenário III	1579	6,31	1,28 – 1,67
Cenário IV	4633	18,56	zero

Fonte: Elaboração própria (2005)

Em relação ao excedente líquido teórico de bagaço de cana é importante salientar que durante o balanço de massa de cada modelo de cenário de geração aqui disponibilizado foi estabelecido um patamar básico máximo de 10 a 13 kg/tc como excedente. Os excedentes de bagaço de cana que vieram aparecer acima deste valor médio foram utilizados na geração de mais energia elétrica. Estimativas mais precisas são necessárias realizar em relação aos reais excedentes de bagaço na destilaria por conceito de economicidade de energia em todo o processo. Este trabalho será muito importante sobretudo na segunda fase do projeto quando serão estudadas as avançadas tecnologias para a produção mais eficiente de energia elétrica, e novas rotas tecnológicas para produzir álcool.

Tabela 3.2.10-5 - Valores médios globais de geração de excedentes de energia elétrica e capacidade instalada considerando as 12 áreas de expansão determinadas pelo projeto (615 usinas e/ou destilarias) para os diferentes cenários tecnológicos de geração

<i>Cenários de geração de energia</i>	<i>Capacidade instalada, MW</i>	<i>Geração de excedentes de energia elétrica, TWh/ano</i>	<i>Porcentagem de excedentes em relação ao consumo final de energia elétrica no Brasil no ano de 2003*, %</i>
Cenário I	12300	49,2	14,4
Cenário II	29600	118,6	34,7
Cenário III	15200	60,6	17,7
Cenário IV	32500	130,0	38,0

* consumo final de energia elétrica no Brasil em 2003 de 341,9 TWh (**MME-BEN, 2004**)

Fonte: Elaboração própria (2005)

Os impactos produzidos pela geração de grandes excedentes de energia elétrica a partir das tecnologias sendo consideradas são realmente importantes. Nos próximos 10 anos, por exemplo, quando pela projeção de penetração aqui apresentada, haverá uma notável incidência de unidades de média e alta capacidades de geração (unidades com caldeiras de 42 bar e 450°C e de 65 bar e 480°C), a geração de excedentes de energia elétrica segundo o modelo de expansão que considera a implementação de 615 unidades de produção até o ano

de 2025, será equivalente com 14 a 38% do consumo de energia elétrica no Brasil no ano de 2003. Isto dá uma idéia da dimensão que representa a geração de excedentes de energia elétrica no setor de acordo ao estudo sendo realizado.

Tabela 3.2.10-6 - Índices de aumento da geração específica de excedentes de energia elétrica em relação ao cenário médio de partida (cenário de geração 1 de 40 kWh/tc)

Relação de cenários tecnológicos de geração de energia	Índices de aumento da geração de excedentes de energia elétrica, adimensional	Critérios técnicos da análise do aumento da geração de excedentes
Cenários II/I	1,23	Redução do consumo de vapor de processo até 350 kgv/tc
Cenários III/I	2,41	Geração o ano todo (sistemas CEST e recuperação de 50% da palha disponível no campo)
Cenários IV/I	2,66	Combinação de fatores: geração o ano todo (sistemas CEST e recuperação de 50% da palha disponível no campo), e redução do consumo de vapor de processo até 350 kgv/tc

Fonte: Elaboração própria (2005)

Dos resultados da Tabela 3.2.10-6 podemos inferir que para uma determinada tecnologia de geração de energia com iguais parâmetros do vapor de caldeira, passando a gerar o ano todo e reduzindo-se o consumo de vapor de processo até valores próximos a 340 – 350 kgv/tc, consegue-se aumentar em mais de 2,5 vezes o excedente de energia elétrica gerada.

O índice de aumento da geração de excedentes de energia elétrica (coluna 2 da Tabela 3.2.10-6) representa quanto a mais de energia elétrica é produzida em relação ao modelo convencional básico representado pelo cenário de 65 bar e 480°C, Coge, 100% de bagaço de cana, 500 kgv/tc, geração específica máxima teórica de energia elétrica de 57,6 kWh/tc, e média real de 40 kWh/tc, e excedentes líquidos específicos de bagaço de cana da ordem de 10 a 13 kg/tc.

A magnitude dos impactos produzidos quando se combinam variáveis importantes como a geração de energia o ano todo e a redução do consumo de vapor de processo sobre a geração de excedentes de energia elétrica, pode variar entre 1,10 e 2,16 vezes em relação aos impactos produzidos quando ambas variáveis são consideradas de forma independente. A maior influência sobre a geração de excedentes, sem dúvida, é produzida quando se consideram os sistemas CEST, ou seja, aqueles sistemas que utilizam turbinas de vapor de condensação com extração, onde uma parte do vapor de água pode ser levado até o condensador e deste, na forma de líquido sub-resfriado, voltar à caldeira, devido principalmente à utilização de combustível suplementar (50% de palha que representam por volta de 70 kg/tc em base seca).

Conclusões

a) Apresenta-se uma proposta preliminar de projeção da penetração das novas tecnologias de geração de energia para o setor sucroalcooleiro. É uma proposta conservadora que busca a elaboração de um modelo mais completo de projeção de cenários, o qual deve integrar também questões econômicas, do uso da terra, logísticas relacionadas à produção e escoamento do álcool, etc., questões todas que deverão ser objeto de um estudo mais aprofundado na segunda fase deste projeto;

b) O cenário de geração de excedentes de energia elétrica previsto de acordo com a projeção aqui apresentada de penetração das novas tecnologias é um cenário muito dinâmico que deverá melhorar ao longo do tempo com o avanço do desenvolvimento tecnológico e a introdução de novos sistemas;

c) Os resultados mostram que existe um grande potencial de oportunidades de geração de excedentes de energia elétrica limpa que poderia ser disponibilizada na rede para sua comercialização.

3.3 Novas Tecnologias de Produção de Etanol. Hidrólise de materiais lignocelulósicos

3.3.1 Estado Atual das Tecnologias de Hidrólise

A hidrólise de materiais lignocelulósicos em geral e especificamente de bagaço é uma das alternativas para aumento de produção de etanol de maior impacto. A consolidação de uma tecnologia de hidrólise no setor sucroalcooleiro virá trazer consigo o atrativo de aumentar a produção de etanol sem requerer um aumento da área plantada. Não menos importante é o fato que a hidrólise virá a impulsionar um aproveitamento mais racional da cana de açúcar, melhorando a eficiência energética do processo para gerar excedentes de bagaço e recuperando o resíduo da colheita (palha) eliminando queimadas.

No relatório parcial anteriormente apresentado foram abordadas as tecnologias mais relevantes para hidrólise de materiais lignocelulósicos, sendo discutido o estágio das mesmas. Neste relatório é dada ênfase em algumas em particular, por se tratar de casos específicos onde o grau de maturidade parece ser alto e está se trabalhando em escalas representativas de um processo industrial.

Estas tecnologias são:

- Hidrólise ácida organosolv, Processo DHR.
- Hidrólise enzimática, Processo IOGEN.
- Hidrólise e fermentação simultâneas (SSF)

3.3.2 Hidrólise Ácida processo organosolv

O processo DHR, em desenvolvimento é uma das tecnologias de hidrólise ácida em meio organosolv. Neste relatório se faz especial referência ao mesmo por se tratar de um estudo que atingiu uma escala de demonstração representativa de um processo industrial.

No relatório parcial foi feita uma apresentação preliminar do processo DHR, descrevendo os fundamentos da tecnologia, solvente empregado e expectativas do processo.

DHR é uma tecnologia de hidrólise ácida diluída, assistida por um tratamento organosolv com uma solução hidroalcoólica que dissolve a lignina e desestrutura a celulose.

A tecnologia DHR apresenta grande potencial, pois se trata de um processo de dissolução rápida do lignocelulósico que aponta em curto prazo para uma hidrólise ácida diluída de alta eficiência de conversão (65-70%) e a médio prazo pela sua flexibilidade, um processo de pré-tratamento que poderá fornecer uma celulose de fácil conversão a açúcares redutores, por catálise enzimática.

O processo operou durante vários anos em escala de bancada. Os resultados atingidos neste estágio (tabela 3.1.1-1) justificaram a passagem de escala para uma unidade piloto UDP, projetada para processar 50 toneladas por dia de bagaço (25 toneladas de biomassa lignocelulósica seca) e fornecer licor hidrolítico em quantidade equivalente a 5000 litros por dia de etanol.

Tabela 3.3.2-1 Dados de desempenho do Processo DHR obtidos em bancada

Rendimento global, em ART (Açúcar Redutor Total)	54%
Rendimento após a estabilização, em ART	59%
Rendimento de fermentação	89%
ART máximo, no hidrolisado, em gramas por litro	80

A implantação da UDP aconteceu no período 2000-2002.

No ano 2003 foram iniciados os ajustes operacionais da unidade piloto para iniciar a operação da mesma.

Diversos problemas de engenharia impediram a operação da mesma durante os anos 2003 e 2004. Nesse período a unidade operou apenas parcialmente, principalmente por causa dos problemas associados à alimentação do bagaço ao reator de hidrólise. A alimentação pressurizada (20 Bar e 180°C) de um material fibroso como o bagaço é um problema de engenharia muito complexo. Este problema comum a todos os processos de hidrólise foi abordado numa escala muito próxima da industrial, sendo realizado um desenvolvimento de engenharia aprofundado para dominar a tecnologia de alimentação pressurizada contínua de sólidos.

Em paralelo ao anterior, durante 2003 e 2004, foi desenvolvida em escala de bancada e a partir dos dados de um estudo preliminar em escala de laboratório, a fermentação alcoólica de mostos de cana e licor hidrolítico. Esta estratégia permitiu eliminar os tratamentos químicos de purificação de licor hidrolítico para fermentação, no caso de unidades de hidrólise que irão a operar simultaneamente com destilarias anexas ou autônomas que empreguem açúcares extraídos da cana.

Em 2005 o sistema de alimentação foi totalmente reformulado, sendo que no fim de 2005 foi finalmente atingida a meta de alimentação de bagaço ao reator.

A partir desta data a unidade iniciou a operação contínua e com uma alimentação estável e segura de 800 a 1000 kg por hora de bagaço, correspondentes a 40-50% dos valores de projeto.

Análise da amostra licor hidrolítico

ARRT (açúcares redutores residuais totais): 1,99 % (valor médio de diversas determinações)

Densidade do hidrolisado (temperatura ambiente): 855 kg/m³

pH: 1,5

Acidez Sulfúrica: 6,17 g/l licor

As expectativas são de operação durante o primeiro trimestre de 2006 para obtenção dos dados preliminares de caracterização das correntes do processo, rendimento, produtividade e consumo de energia.

A operação da UDP irá a estabelecer a performance ótima do processo, fornecer bases quantitativas para o projeto de uma unidade industrial e fundamentalmente procurar um entendimento mais aprimorado dos seguintes:

- Selecionar o melhor processo de transporte, dosagem de bagaço e alimentação do reator de hidrólise;
- Definir o melhor sistema de retenção de bagaço no reator de hidrólise e a máxima concentração de sólidos suspensos em reação;
- Estabelecer os sistemas de separação da lignina do licor hidrolítico e o comportamento da lignina na seção de esgotamento da coluna durante a recuperação simultânea do solvente orgânico por destilação;
- Otimizar a taxa de dissolução da biomassa no reator, reações de hidrólise de hemicelulose e celulose e reações de decomposição de pentoses e hexoses, para se ter uma idéia da capacidade efetiva do mesmo;
- Verificar conversão efetiva do bagaço em açúcares redutores totais (ART), ART6 (açúcar redutor total em hexoses), ART5 (ART em pentoses), formação de furfural e hidroximetil-furfural;
- Avaliar o impacto da formação de subprodutos de reação química do solvente orgânico no reator em função das condições de temperatura, % de ácido sulfúrico e tempo de estadia do solvente;
- Quantificar eventuais desgastes em equipamentos, tubulações e válvulas e estabelecer o grau necessário de lavagem e remoção de inertes abrasivos que acompanham a biomassa.

A fermentação de licor hidrolítico inicialmente desenvolvida em laboratório e bancada irá ser testada no segundo semestre de 2006, seguindo a mesma estratégia de compor um mosto de fermentação formulado com caldo, xarope ou mel de cana de açúcar e licor hidrolítico em uma proporção tal que o nível de inibidores de fermentação não impeça a realização desta.

Os testes de fermentação serão feitos em escala industrial com incorporação do licor hidrolítico numa fermentação alcoólica industrial.

As metas do processo DHR em curto prazo são:

- Obter uma conversão mínima de 65% do ART inicialmente presente no bagaço, equivalentes a 100 litros de etanol por tonelada de bagaço (valor este que faz o custo de produção viável);
- Obter licores com um título mínimo de 80 gramas de ART de por litro;
- Provar a fermentabilidade do licor hidrolítico;
- Manter as perdas físicas e químicas do solvente (etanol) abaixo de 1% do etanol produzido;
- Estabelecer a viabilidade técnica e econômica da tecnologia.

3.3.3 Hidrólise Enzimática

A situação atual dos processos de hidrólise enzimática não permite em curto prazo apontar tecnologias que possam ser levadas ao estágio comercial. Nesta etapa do estudo fizemos um levantamento do estado da arte dos processos com mais potencial de ser levados à escala de produção.

A conversão da celulose pela via enzimática é a tecnologia com mais potencial levando em conta fatores tais como:

- Especificidade da reação e máxima conversão da celulose em açúcares redutores;
- Ausência de reações secundárias, que levam a perda de rendimento;
- Ausência de formação de produtos secundários, inibidores da fermentação alcoólica;
- Reação em condições suaves que não requerem altas pressões e temperaturas, ou ambientes corrosivos para os equipamentos.

As conclusões sinalizam que embora a conversão da celulose pela via enzimática seja a tecnologia com mais potencial ainda o estado de desenvolvimento da mesma não permite a passagem da mesma a escala industrial.

Diversas barreiras dificultam os processos enzimáticos:

- Os complexos enzimáticos hoje disponíveis apresentam baixa taxa de transformação da celulose em açúcares redutores;
- Não atingem ainda conversões do substrato próximas aos valores estequiométricos;
- Necessitam de pré-tratamentos para atingir conversões eficientes;
- O consumo energético do processo é muito elevado;
- Os licores hidrolíticos finais apresentam títulos muito baixos de açúcares redutores.

A principal barreira segue sendo o custo do complexo enzimático, sendo que apesar de existir um programa de redução do custo dos complexos enzimáticos que vem gerando resultados parciais positivos, ainda os custos de produção de etanol via hidrólise enzimática estão bem acima do custo a partir de açúcares extraídos da cana. Está-se hoje longe de dispor de uma enzima que viabilize um processo de hidrólise eficiente no que diz respeito à conversão em açúcares e consumo energético.

Processo IOGEN

As bases desta tecnologia foram descritas no relatório parcial. Por se tratar de um dos processos mais citados no que diz respeito a potencial foi realizado um levantamento objetivando obter o máximo de informações deste processo e poder realizar uma avaliação do mesmo.

Segundo as informações os campos de atuação tem sido:

- Otimização do pré-tratamento do material lignocelulósico através de explosão com vapor.
- Modificação genética do *Trichoderma reesei* para obtenção de linhagens mais produtivas de celulase;
- Desenvolvimento e otimização do processo de fermentação do fungo *Trichoderma reesei* para produção de celulase.
- Otimização da conversão do material celulósico pré-tratado em açúcares redutores.

O estudo passou de fase inicial de laboratório, seguida de bancada e posteriormente a partir de 1983 o desenvolvimento foi realizado numa unidade piloto em batelada capaz de tratar mil kg por dia de material lignocelulósico. Nesta unidade piloto os trabalhos se concentraram no desenvolvimento do processo de produção de celulase.

Mais recentemente com a incorporação da PetroCanada e Shell no grupo e a captação de fundos do governo canadense passou-se à unidade piloto de demonstração do processo.

Realizamos um exame exaustivo da tecnologia IOGEN e embora existam patentes depositadas, relacionadas ao pré-tratamento de explosão com vapor, à produção de enzima celulase a partir de linhagens de *Trichoderma reesei* de propriedade da Iogen e ao processo de sacarificação, não existem nas diversas fontes consultadas dados da performance do processo IOGEN. Foi revisada a bibliografia sendo consultadas apresentações, publicações e informações constantes no site não sendo apresentados, em nenhum destas fontes dados de performance do processo tais como:

- Conversão em etanol por kg de material celulósico.
- Taxa de sacarificação (kg de celulose transformados por unidade de tempo e de volume de reator).
- Atividade da enzima e custo da mesma por unidade de atividade
- Investimentos por litro de etanol final por ano.

A opção desta firma tem sido pelo sigilo da informação técnica, situação esta que impede a realização de alguma forma de avaliação do estágio atual desta tecnologia.

Sacarificação e fermentação alcoólica simultâneas

Este processo combina numa só etapa a hidrólise enzimática e a fermentação alcoólica dos açúcares redutores gerados. No estágio atual e com a tecnologia disponível somente são fermentadas as hexoses, ficando ao aguardo do surgimento de avanços tecnológicos que permitam a fermentação simultânea das pentoses.

O foco principal desta tecnologia é o desenvolvimento de leveduras termotolerantes, considerando que a celulase apresenta atividade enzimática ótima próxima aos 50°C.

Diversas linhagens de *Saccharomyces* e *Kluyveromyces* tem sido isoladas e estão sendo melhoradas geneticamente na procura deste objetivo.

O processo de Sacarificação e fermentação simultâneas (SSF) descrito no fluxograma 3.3.3-1 apresenta como vantagens principais:

- Redução da inibição provocada pelo acúmulo de açúcares redutores durante a hidrólise enzimática, aumentando velocidade de reação e os coeficientes de conversão. A fermentação remove os açúcares gerados;
- Potencial de aumento do grau alcoólico do vinho final;
- Redução da concentração de enzima empregada e da incidência deste substrato no custo do etanol final;
- Diminuição dos investimentos em capital fixo e simplificação do processo pelo emprego de um único reator;
- A presença de etanol durante a hidrólise poderia reduzir os riscos de contaminação.

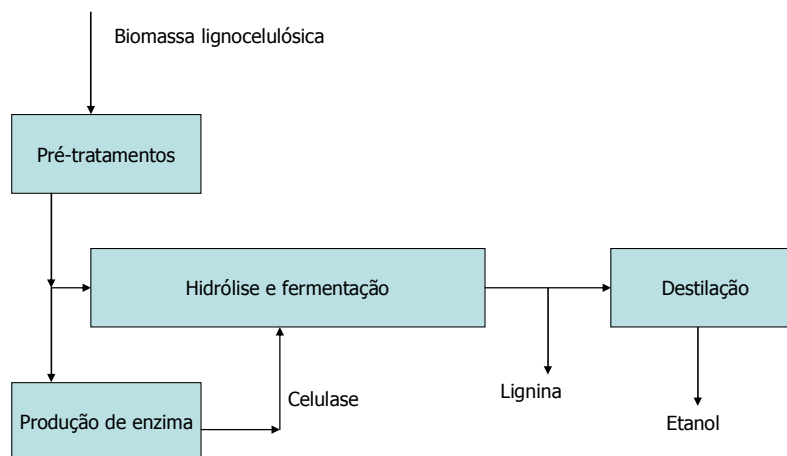


Fig 3.3.3-1 Processo de Sacarificação e Fermentação Simultâneas

Figura 3.3.3-1 Processo de Sacarificação e Fermentação Simultâneas

O processo requer otimização no que diz respeito a:

- Desenvolvimento de linhagens termotolerantes, capazes de melhor performance e mais resistentes ao etanol;
- Influência da concentração dos substratos e a enzima na produtividade do processo;
- Efeitos dos pré-tratamentos da biomassa lignocelulósica na eficiência do processo SSF.

Embora o interesse por esta tecnologia seja grande os resultados efetivos obtidos até o momento não se mostram atrativos.

Por enquanto o processo SSF requer continuação de estudo de desenvolvimento em laboratório e bancada. No estágio atual ele ainda esta longe de ser uma tecnologia de aplicação comercial.

Os estudos de avaliação desta tecnologia mais recentes mostraram que o processo obrigatoriamente deve ser antecedido por um estágio de pré-tratamento do material lignocelulósico.

O estudo se focou no emprego de celulase obtida de *Trichoderma reesei* empregando como microorganismos para a fermentação alcoólica, linhagens de *Saccharomyces* e *Kluyveromyces*.

As melhores condições operacionais foram obtidas com 5% de material lignocelulósico, condição esta que significa um vinho final muito diluído. Nestas condições é possível atingir próximo de 68% do rendimento teórico em etanol (considerando unicamente as hexoses). Porém para atingir esta conversão são requeridos 72 horas de reação, valor este que significa uma produtividade muito baixa para o processo se tornar econômico.

Os melhores resultados de transformação requerem uma detoxificação prévia do lignocelulósico pré-tratado.

A fermentação deve ser feita em cultura pura, pois as linhagens perdem rapidamente a capacidade fermentativa.

Contrariando as expectativas a contaminação por bactérias lácticas nas condições de fermentação se mostra uma dificuldade adicional.

No estágio atual a tecnologia não está disponível para utilização. Não é possível fazer uma previsão tecnológica dos avanços futuros deste processo.

3.3.4 Impacto da introdução dos processos hidrolíticos

A introdução dos processos hidrolíticos terá um forte impacto sobre a produção de etanol.

A oportunidade de um aproveitamento integral da cana irá a impulsionar a otimização energética do processo industrial para gerar excedentes de bagaço que serão agora destinados à produção de etanol. Da mesma forma a hidrólise irá a alavancar a introdução das tecnologias de recuperação dos resíduos da colheita e contribuir com o cronograma de eliminação da queima pré-colheita.

Traçamos um conjunto de cenários para avaliar em bases quantitativas a introdução da produção de etanol de lignocelulósicos. Na construção destes levamos em conta os seguintes fatores:

- Acúmulo gradativo de excedentes de bagaço;
- Recuperação gradativa dos resíduos da colheita;
- Aprimoramento gradativo das tecnologias de sacarificação e Introdução de novas tecnologias mais eficientes que se integrem ou substituam à atual;
- Introdução de uma tecnologia de fermentação alcoólica das pentoses;
- Aprimoramento dos processos de fermentação de hexoses e pentoses visando o aumento da conversão dos açúcares em etanol.

A tabela 3.3.4-1 resume estes cenários e apresenta o impacto fatores acima considerados sobre o rendimento industrial, a quantidade de etanol produzido por hectare e o impacto sobre o rendimento agrícola, simulado como toneladas de cana equivalentes por hectare, considerando o rendimento industrial de etanol a partir dos açúcares da cana.

Tabela 3.3.4-1 impacto da hidrólise de bagaço na produção de etanol

	<i>litros de etanol por tc</i>	<i>litros de etanol/ha</i>	<i>Tc/ha</i>
2005- Situação atual. Produção de etanol somente de açúcares extraídos da cana. 85 litros de etanol por tonelada de cana. 80 toneladas de cana por hectare.	85	6800	80
2006-2010- Introdução da hidrólise. Somente se emprega o bagaço excedente (15%) como matéria prima da hidrólise. Resíduos da colheita não são aproveitados. Somente as hexoses são convertidas em etanol. Rendimento da hidrólise 70%. Rendimento da fermentação 86,5%.	88,1	7050	83*
I 2010-2015. Emprega-se o bagaço excedente (15%) e se inicia a recuperação de resíduos da colheita que entram na hidrólise diretamente ou indiretamente através da substituição de bagaço nas caldeiras (10%). Somente as hexoses são convertidas em etanol. Rendimento da hidrólise 80%. Rendimento da fermentação 89,2%.	91,1	7290	86*
II 2015-2020. Emprega-se o bagaço excedente (30%) e resíduos da colheita que aumentam para 20%. Somente as hexoses são convertidas em etanol. Rendimento da hidrólise 80%. Rendimento da fermentação 89,2%.	97,3	7780	92*
III 2020 em diante. Emprega-se o bagaço excedente (50%) e resíduos da colheita (50%). Entra em operação uma tecnologia para fermentação de pentoses. Rendimento da hidrólise das hexoses 90%. Rendimento da fermentação das hexoses 91%. Rendimento da hidrólise das pentoses 80%. Rendimento de fermentação das pentoses 80%.	104,1	8330	98*

Referências bibliográficas

- Balanço Energético Nacional – BEN** (2004). Ministério de Minas e Energia - MME, ano base 2003, Brasília;
- de Abreu, C.E. (2005). **Comunicação pessoal**. Aumento da eficiência bruta das Caldeiras com o uso de espargidores e ar secundário. Campina;
- Kampen, W.H. (1993). "Ethanol dehydration at Usina da Pedra. **Sugar y Azúcar**. 10, p.32-36;
- Legrand, F. (1992). "Concentrated fuel alcohol production using a boiling point elevation loop. **Sugar e Azúcar**, v. 8, p.29-44;
- Ligero, E. L.; Ravagnani, T. M. K. Dehydration of Ehanol with Salt Extractive Distillation A Comparative Analysis Between Processes with Salt Recovery. **Chemical Engineering And Processing**, v. 42, n. 07, p. 543-552, 2003
- Lineiro, F.A.B. e Lamônica, H. (2005). **Comunicação Pessoal**. Centro de Tecnologia Canaveira-CTC;
- Macedo, I. (2003). **Estado da Arte e Tendências das Tecnologias para Energia**. Projeto CGEE, publicado na Internet no site: <http://www.cgEE.org.br>;
- Ogier, J.C., Ballerini, D., Leigue, J.P., Rigal, L., Pourquié, J. (1999). "Production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique. **Oil and Gas Science and Technology**- Revue de l'IFP 54, 67-94;
- Olivério, J.L. and Proença, A.G.H. (2004). "DHR-Dedini Hidrólise Rápida (Dedini Rapid Hydrolysis) - Revolutionary process for producing alcohol from sugar cane bagasse". **International Sugar Journal**, v. 106, 168-172;
- Paszner, L.; Chang, P.C. **Processo de sacarificação de alta eficácia**. PI 8207243;
- Pizaia, Waldemir. (2005). **Steam Economy in the Sugar Mills. Biomass power generation: sugar cane and trash**. Série Caminhos para a Sustentabilidade. Publicação PNUD-Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, CTC-Centro de Tecnologia Canaveira, 1st edition, Piracicaba;
- Rossell, C. E. V.; Lahr Filho, D.; Hilst A. G. P.; Leal, M. R. L. V. (2005). Saccharification of sugarcane bagasse for ethanol production using the organosolv process. **International Sugar Journal**, v. 107, n. 1275, p. 192-195.

4. EXPANSÃO DA PRODUÇÃO

Nos últimos anos, a expansão da produção de cana, açúcar e álcool têm se concentrado na região Centro-Sul, uma vez que a produção do Norte-Nordeste está mais ou menos estabilizada pouco abaixo de 60 milhões de toneladas por ano. São Paulo continua como o principal produtor com cerca de 60% da produção nacional.

Tudo indica que, mantidas as condições políticas atuais, a estagnação da produção do Norte-Nordeste e a liderança absoluta de São Paulo na produção de cana-de-açúcar continuarão por muitos anos. Este cenário tem sido frequentemente utilizado nas projeções de aumento de produção no curto e médio prazo (até 2013/2014) quando a participação do Centro-Sul na produção nacional estaria em torno de 90%.

O crescimento da produção desde a década de 90 tem sido calcado no aumento de capacidade de processamento das unidades industriais existentes sem ter havido implantação de um número significativo de novas usinas. Um trabalho recente da UNICA, comparando a evolução entre as safras 90/91 e 2004/05, na região Centro-Sul (tabela 4-1), mostra o seguinte:

Tabela 4-1: Crescimento da produção de cana-de-açúcar no Centro-Sul

	Safra 92/93	Safra 2004/05
Número de unidades produtoras		
• Centro-Sul	251	228
• São Paulo	133	135
Moagem anual (10 ⁶ t/a)	179	329
Área colhida (1000ha)	2.494	3.800
Dias de safra total	193	227
Dias efetivos de moagem	170	193
Moagem anual média/usina (1000t/a)	702	1.437
ATR/ton de cana (*)	141,8	144,7
(*) ATR - Açúcares totais recuperáveis		

A partir dos dados acima apresentados é fácil notar que o aumento de cana processada no período foi conseguido com o aumento da capacidade de moagem das unidades industriais (105%) e com a ampliação do período de safra (18%). Assim, o aumento da produção de cana ocorreu dentro das regiões produtoras tradicionais, sem haver aberturas significativas de novas regiões produtoras.

É importante notar também que parte do aumento de produção de cana foi decorrente de ganhos de produtividade que passou de 71,8 para 86,5t/ha no período; enquanto a moagem de cana aumentou em 85% a área colhida cresceu apenas 52%.

A figura 4-1 mostra a localização das usinas existentes, indicando a grande concentração no estado de São Paulo e na faixa litorânea de Alagoas e Pernambuco.



Figura 4-1 – Localização das usinas no Brasil

4.1 Situação no curto-prazo. Novos projetos

Considerando que a implantação completa de um novo canal leva três a cinco anos, dependendo do planejamento estratégico/financeiro da usina, é interessante analisar o que está previsto, em termos de implantação de novas unidades industriais e ampliação significativa das unidades existentes, para os próximos cinco anos. Informações coletadas na UNICA, UDOP e DATAGRO mostram um cenário razoavelmente claro para este período onde, até o momento, está prevista a instalação e operação de 51 unidades industriais, com a seguinte distribuição:

- 31 em São Paulo;
- 9 em Minas Gerais;
- 6 em Goiás;
- 3 em Mato Grosso do Sul;
- 1 no Paraná;
- 1 no Rio de Janeiro.

Estes dados refletem o que foi adiantado acima: uma participação maciça na expansão no estado de São Paulo e nenhuma expansão na região norte-nordeste. A figura 4.1-1 mostra a localização destes novos empreendimentos (em amarelo) em relação às unidades já existentes (em preto).

As demandas de cana-de-açúcar no Brasil projetadas, pela UNICA, para as safras 2010/11 e 2013/14 são em torno de 560 e 670 milhões de toneladas, respectivamente. As previsões de mercado para 2010 indicam 27,3 bilhões de litros de álcool (22,1 bilhões para o mercado interno e 5,2 bilhões para exportação) e 35 milhões de toneladas de açúcar (11 milhões para o consumo interno e 24 milhões para exportação).

A DATAGRO estima a demanda para a safra 2013/14 em 35,5 milhões de toneladas de açúcar (12,8 milhões para o mercado interno e 22,7 milhões para exportação) e 30,8 bilhões de litros de álcool (24,9 bilhões para o consumo interno e 5,9 bilhões para exportação). A cana-de-açúcar necessária para esta produção é estimada em cerca de 640 milhões de toneladas.

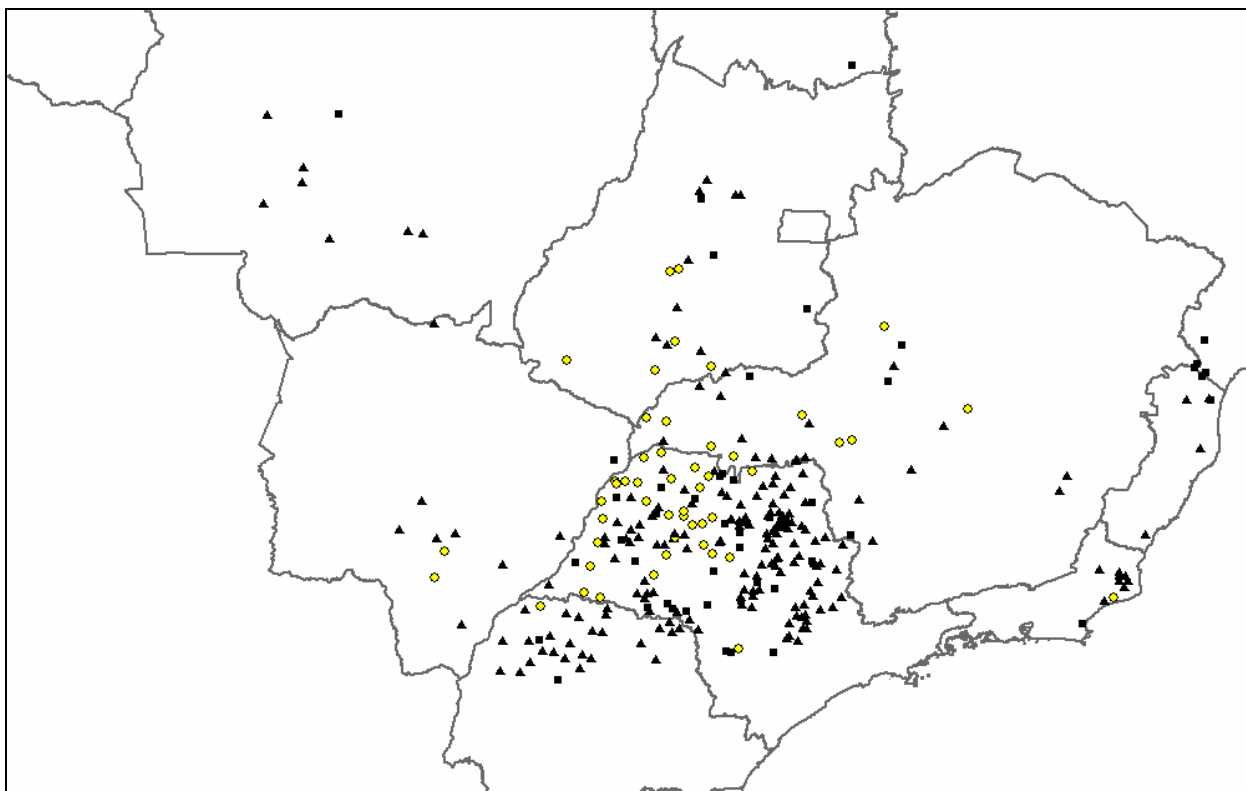


Figura 4.1-1 – Localização das novas usinas previstas (em amarelo) no plano de expansão

Até 2010, estas 51 unidades de processamento de cana irão moer, aproximadamente, 100 milhões de toneladas adicionais aos 400 milhões a serem moídos na safra 2005/2006, dos quais 60 milhões de toneladas em São Paulo. Com esse montante, ainda estaria faltando cerca de 60 milhões de toneladas de cana-de-açúcar para atingir os 560 milhões previstos pela UNICA para 2010/11.

Estas novas unidades moerão em média 2 milhões de toneladas de cana por safra, cada, e a maioria está projetada para produzir açúcar e álcool com um *mix* variando na faixa de 40% a 60%. Enquanto não se tiver uma demanda mais forte do mercado externo de álcool este perfil de produção vai continuar prevalecente. Neste trabalho, apenas a produção de álcool para exportação vai ser avaliada a partir da instalação de um grande número de destilarias autônomas que passarão a ser o novo padrão de unidades de expansão.

4.2 Áreas Disponíveis para a Expansão do Canavial

A expansão do canavial no curto prazo já está pelo menos parcialmente delineada, pelos 51 projetos em andamento; novos projetos poderão, e possivelmente serão, acrescentados a esta lista e um cronograma de crescimento da produção e exportação de álcool será definido para servir de base dos estudos de impactos econômicos, necessidade de expansão da infra-estrutura de ocupação de áreas com os novos canaviais.

Devido às suas dimensões continentais, o Brasil possui uma elevada diversidade de classes de solos e de tipos climáticos que resultam em uma grande variação no potencial produtivo de suas terras. Esta diversidade, aliada as limitações de uso da terra (regiões sensíveis – Amazônia, Pantanal, Mata Atlântica, reservas ecológicas, etc.) e a declividade do solo, cria a necessidade de sobrepor tais informações georreferenciadas e determinar as regiões que apresentam diferentes potenciais de produtividade e uso para as atividades agropecuárias desenvolvidas no país e, em especial, o cultivo da cana-de-açúcar.

O alto grau de especialização e nível de informações necessárias à elaboração de mapas com indicações de regiões aptas para o cultivo de cana e as produtividades estimadas para as várias combinações de solo e clima, levou à contratação do Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) para preparar estes mapas, bem como dar indicações de produtividades para cada ambiente de produção. Os principais pontos do relatório do CTC encontram-se sumarizados a seguir.

4.2-1. Metodologia

A primeira etapa para a definição das áreas para expansão da produção de etanol elaborada pelo CTC e seguiu a metodologia conforme o fluxograma apresentado na figura 4.2-1.

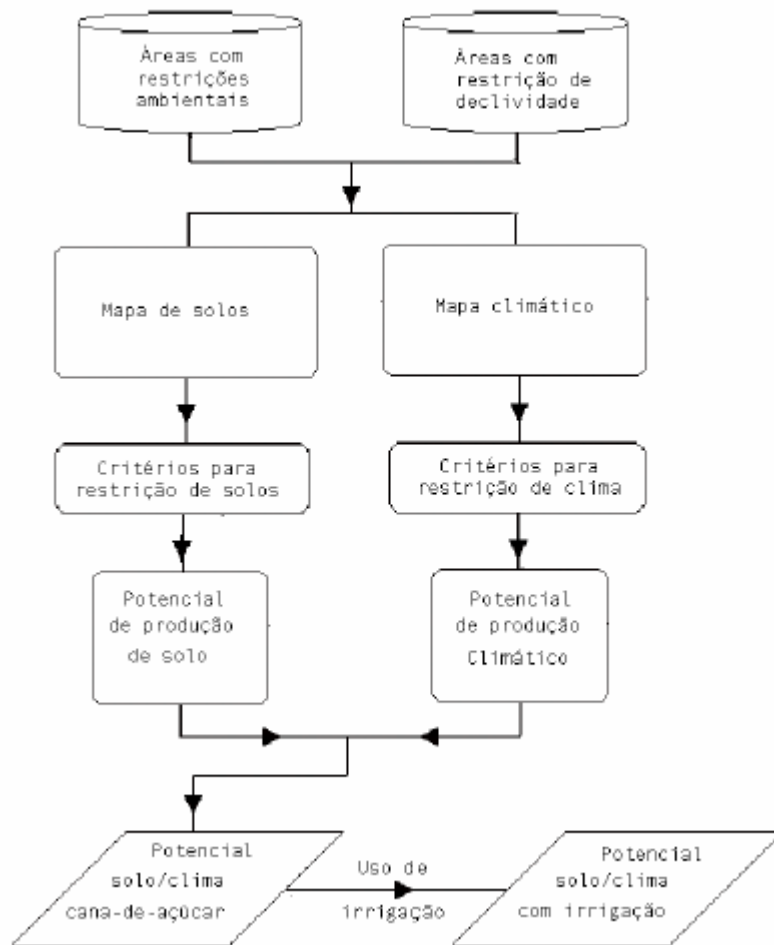


Figura 4.2-1. Esquema utilizado na elaboração do mapa de potencial de expansão de cana-de-açúcar

Fonte: Relatório CTC, Revisão 1.

Segundo informação do CTC, a primeira etapa para a obtenção do mapa de potencial edafoclimático foi a pré-seleção de áreas que apresentam restrição ambiental no país: a bacia Amazônica, o Pantanal e áreas com Mata Atlântica preservada. A área restritiva da Amazônia foi determinada com base no mapa de vegetação (IBGE, 2004), considerando-se como critério todos os níveis de Floresta ombrófila densa (D), de Floresta ombrófila aberta (A) e da faixa transicional de Floresta ombrófila aberta para Floresta semidecidual (ON). Essas áreas foram extraídas a partir do mapa de vegetação e mapa de relevo do IBGE (2004). O Pantanal foi delimitado com base no trabalho desenvolvido por Silva e Abdon (1998).

Quanto a declividade, segregou-se em duas classes declive: de 0 a 12% e acima de 12%. Na primeira classe de declive não há restrição alguma para a utilização dessas áreas para qualquer sistema de cultivo de cana-de-açúcar, inclusive o sistema de colheita mecanizada.

A segunda classe de declive apresenta restrições ao manejo desta cultura. Ressalta-se que há possibilidade de cultivo de cana-de-açúcar em áreas com declividade um pouco acima de 12%, principalmente para o sistema de cana queimada, colhida manualmente. No entanto, optou-se pela utilização de até 12% de declividade devido, principalmente, à tendência de se expandir o sistema de colheita mecanizada.

As três grandes áreas do Brasil com restrição ambiental compreendem a seguinte extensão territorial:

- Bacia Amazônica: 400,0 milhões ha
- Pantanal: 3,5 milhões ha
- Mata Atlântica 14,1 milhões ha

A visualização das áreas com restrição ambiental, Bacia Amazônica, Pantanal e Mata Atlântica, no total de 417,6 milhões de ha e das áreas com declividade maior e menor a 12% (75,6 milhões de ha) encontram-se na figura 4.2-2.

As áreas com declividade igual ou menor a 12%, no total de 361,6 milhões de hectares são as áreas que irão ser analisadas para o presente estudo de expansão da cana-de-açúcar, introduzidas no capítulo 6.

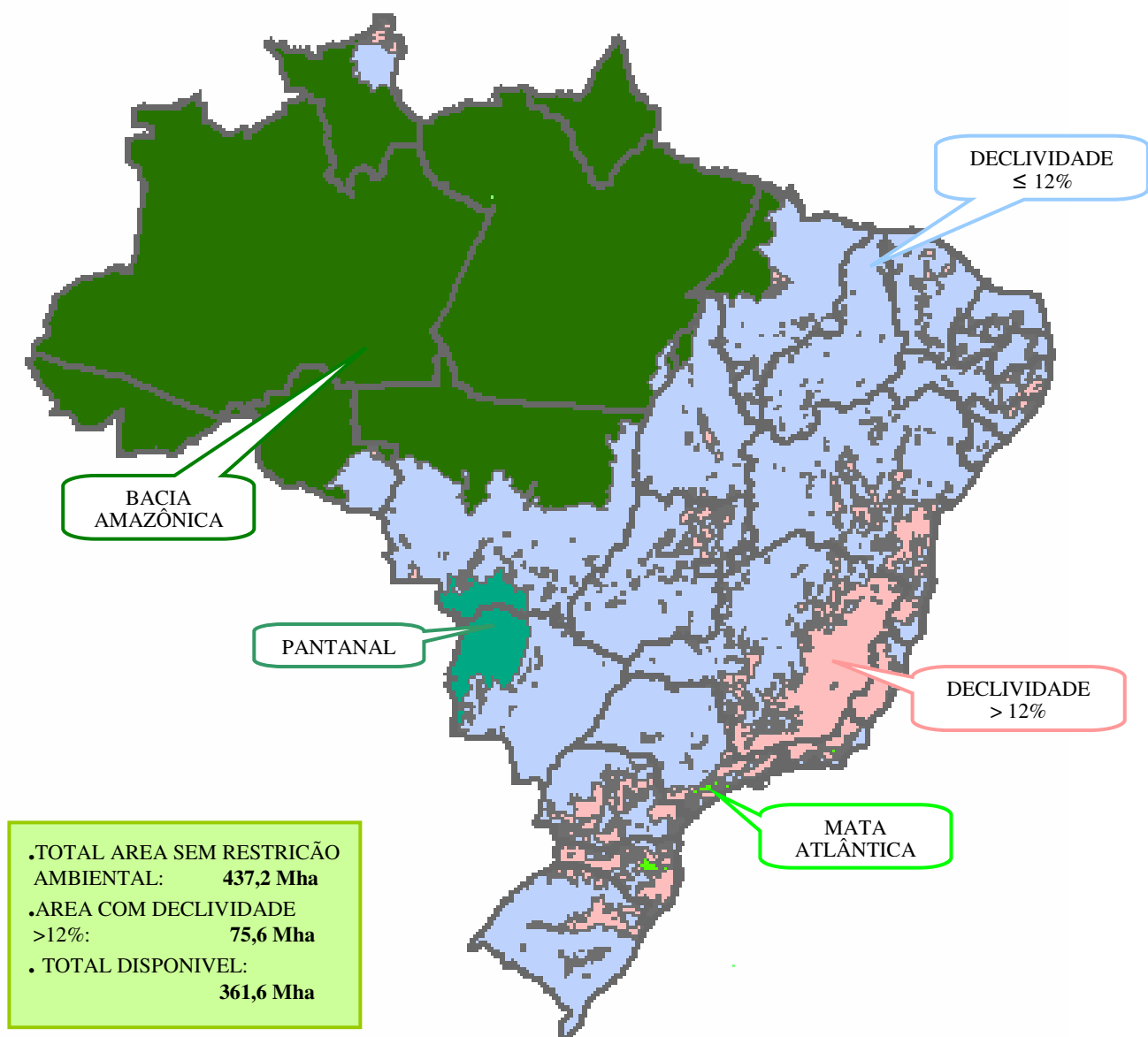


Figura 4.2-2. Principais áreas com restrição ambiental declividade
Fonte: elaboração própria a partir dos dados do CTC (2005)

4.2-2. Caracterização dos solos do Brasil

Na seqüência realizou-se a reclassificação do mapa de solos agrupando-os segundo as classes de potencial definidas anteriormente (alto, médio, baixo e impróprio). Da mesma forma, foi feita a reclassificação do mapa climático, obtendo-se assim as suas classes de potencial (alto, médio, baixo e impróprio) conforme apresentado no fluxograma, figura 4.2-1.

As definições, conceitos e critérios taxonômicos utilizados na classificação e diferenciação das dezenas de tipos de solos brasileiros estão detalhados no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), porém eles não serão descritos em detalhes neste relatório.

Todavia, os principais tipos de solos foram agrupados em quatro classes de potencial (alto, médio, baixo e impróprio), conforme detalhado abaixo, para possibilitar a produção dos mapas no nível de detalhe exigido por este estudo.

4.2-3. Definição do potencial relativo ao solo

Os solos foram agrupados em quatro classes de potencial (alto, médio, baixo e impróprio), sendo detalhados a seguir:

- a) Solos pertencentes ao potencial alto: Latossolos Vermelhos, Vermelho-Amarelos e Amarelos, eutróficos e de textura argilosa a muito argilosa (LV, LVA, LA); Nitossolos (N); Luvisolos (TC) e Chernossolos (M).
- b) Solos pertencentes ao potencial médio: Latossolos Vermelhos, Vermelho-Amarelos e Amarelos, distróficos (ou associados com eutróficos) e de textura média a arenosos (LV, LVA;LA); Latossolos Brunos (LB) e Argissolos Vermelhos, Vermelho-Amarelos, Amarelos (PV, PVA,PA).
- c) Solos pertencentes ao potencial baixo: Cambissolos (C); Vertissolos (V); Plintossolos (F); Planossolos (S); Neossolos Regolíticos (RR); Neossolos Quartzarênicos (AQ); Neossolos Flúvicos (RU); Gleissolos (G); Alissolos.
- d) Solos pertencentes ao potencial impróprio: Plintossolos pétricos (FF); Planossolos nátricos (SN); Organossolos Tiomórficos (OY); Gleissolos Sálícos (GZ); Neossolos Litólicos (RL); Cambissolos associados com solos rasos (Neossolos litólicos); Dunas (DN) e Afloramentos de rocha (AR).

Ressalta-se que foi levado em consideração também o segundo componente das associações de solos. Desta forma há possibilidade de se verificar solos com potencial mais abaixo do que descrito acima quando este estiver associado com solos de baixo potencial ou mesmo impróprio para o cultivo da cana-de-açúcar, como por exemplo, Latossolos distróficos associados com Planossolos Nátricos ou Cambissolos.

As características dos solos utilizadas para enquadrá-los nos diferentes potenciais foram: fertilidade natural (eutrófico, distrófico), textura (arenosa, média e argilosa), bem como características peculiares às algumas classes de solos, sendo

os seguintes: Alissolo – elevado teor de alumínio extraível; Chernossolo – elevada quantidade de bases trocáveis associada a elevados teores de matéria orgânica; Espodossolo – elevada acidez e arenosos; Gleissolo – problemas com estagnação de água temporária ou permanente; Luvisolo - elevada quantidade de bases trocáveis associada à argila de atividade alta; Neossolo Litólico – profundidade efetiva muito pequena; Neossolo Quartzarênico – pequena retenção de nutrientes e disponibilidade hídrica; Nitossolo – bom desenvolvimento de estrutura associado à textura arenosa; Planossolo – apresenta mudança textural abrupta e horizonte superficial arenoso; Plintossolo Pétrico – presença de petroplintita, podendo apresentar bancadas lateríticas; Vertissolo – argila de atividade alta (argila expansiva).

A figura 4.2-3 apresenta a diversidade de tipo de solo, em diferentes cores, excluindo-se as áreas com restrição ambiental.

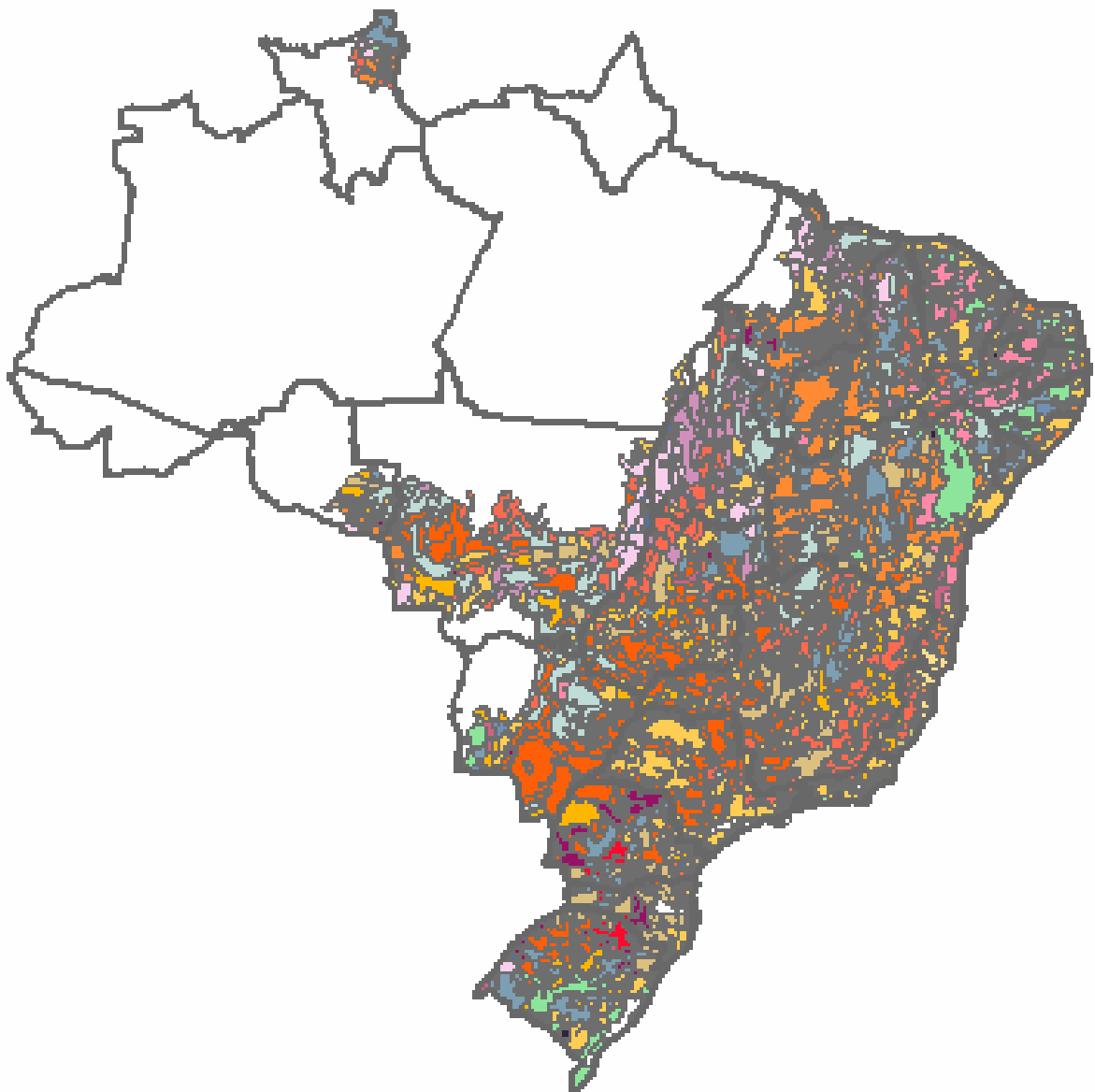


Figura 4.2-3. Mapa do Brasil – Diversidade de tipos de solos
Fonte: CTC (2005)

4.2-4. Caracterização dos tipos climáticos do Brasil

Os tipos climáticos também foram agrupados em quatro classes de potencial (alto, médio, baixo e impróprio). Os critérios utilizados para enquadrar os tipos climáticos nos diferentes potenciais foram àqueles utilizados na própria classificação de *Koppen* que são: temperatura e deficiência hídrica, acrescentando-se a possibilidade de ocorrência de geada, conforme a tabela 4.2-1.

Tabela 4.2-1. Tipos climáticos

Potencial	Símbolo	Clima	Características
Baixo	Af	Tropical úmido sem estação seca	Ausência de estação seca. Temperaturas médias sempre maiores que 22°C. Precipitação pluviométrica no mês mais seco maior que 60mm.
Alto	Am	Tropical úmido com período seco	Temperatura e pluviosidade elevada. A temperatura mínima no mês mais frio é de 20°C.
Alto	As	Tropical úmido com período seco	Precipitações pluviométricas de inverno e outono com temperaturas elevadas sempre maiores que 18°C
Médio	Aw	Tropical úmido com nítida estação seca	Temperaturas elevadas com chuva no verão e seca no inverno. Médias de temperatura são maiores que 22°C no mês mais quente e no mês mais frio do ano, as mínimas são maiores que 18°C. Precipitações.
Impróprio	BSw	Semi-árido quente	Temperaturas maiores que 22°C em todos os meses do ano. Precipitação pluviométrica anual maior que 250 mm.
Médio	Cfa	Subtropical com verão quente	Temperatura moderada com chuva bem distribuída e verão quente, Nos meses de inverno, a média de temperatura é inferior a 18°C. No mês mais quente, as máximas são maiores que 22°C. Precipitações pluviométricas no mês mais seco, maior ou igual a 30 mm.
Impróprio	Cfb	Subtropical com verão temperado	Temperatura moderada com chuva bem distribuída e verão brando. As médias de temperatura são inferiores a 22°C. No inverno, média inferior a 14°C com mínimas inferiores a 8°C. Precipitações pluviométricas no mês mais seco, maior ou igual a 30 mm.
Alto	Cwa	Subtropical quente com inverno seco	Temperaturas moderadas com verão quente e chuvoso. Médias de temperatura, no mês mais quente, são maiores a 22°C e no mês mais frio, as mínimas são inferiores a 18°C. Precipitações pluviométricas menores que 30 mm.
Baixo	Cwb	Subtropical com verão temperado	Verão brando e chuvoso com temperatura moderada. Temperatura média no outono e no inverno são inferiores a 18°C. Temperatura no mês mais quente, menor que 22°C. Precipitações pluviométricas no mês mais seco, menor a 30 mm.

Mapa de potencial edafoclimático para plantio de cana-de-açúcar

Utilizando os mapas de potencial quanto a solos e clima fez-se a sobreposição dos mesmos obtendo-se o mapa preliminar sobre o potencial para expansão da cultura de cana de açúcar.

Para a elaboração do mapa final de potencial solo/clima considerou-se ainda o uso de sistemas de irrigação. Utilizou-se os mesmos critérios descritos no item anteriormente excluindo a limitação climática das áreas em que apresentam os tipos climáticos BSw e Aw. Isso se deve ao fato de que esses dois tipos climáticos têm como restrição a disponibilidade hídrica. O tipo BSw apresenta déficit hídrico o ano todo e o tipo climático Aw concentra a sua deficiência hídrica em um período seco de aproximadamente 5 meses.

Os mapas de solo, clima e potencial de produção sem irrigação estão mostrados nas figuras 4.2-5, 4.2-6 e 4.2-7, respectivamente. A figura 4.2-8 mostra o potencial de produção com o uso de irrigação.

Para a elaboração do cenário 1, correspondente a substituição de 5% da gasolina mundial em 2025, será utilizado o mapa que apresenta o potencial de produção sem irrigação, figura 4.2-7.

POTENCIAL DO SOLO PARA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Legenda: ■ Alto ■ Médio ■ Baixo ■ Impróprio

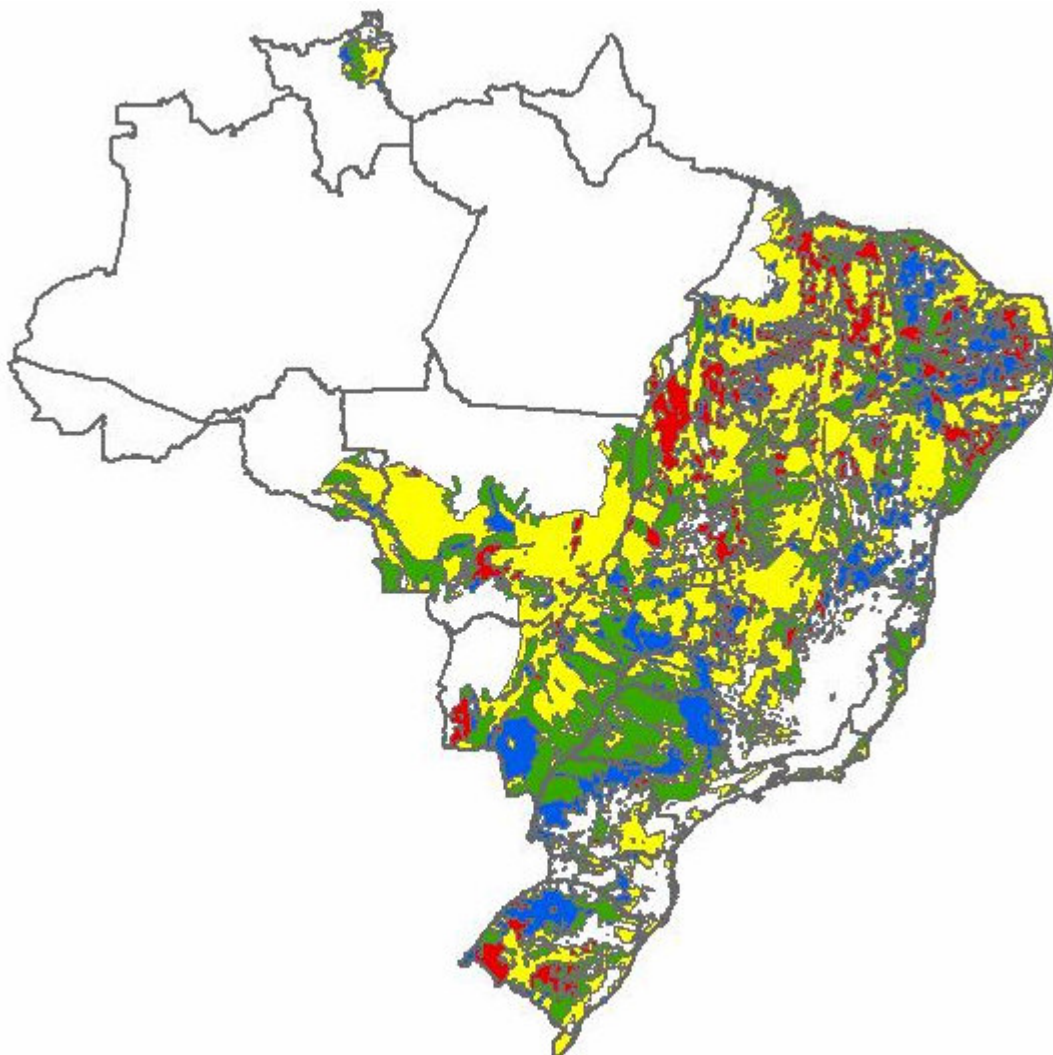


Figura 4.2-5 – Mapa de solos do Brasil
Fonte: CTC (2005)

POTENCIAL CLIMÁTICO PARA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Legenda: ■ Alto ■ Médio ■ Baixo ■ Impróprio



Figura 4.2-6. Mapa climático do Brasil

Fonte: CTC (2005)

MAPA POTENCIAL DE PRODUÇÃO SOLO E CLIMA SEM IRRIGAÇÃO

Legenda: ■ Alto
■ Médio
■ Baixo
■ Impróprio

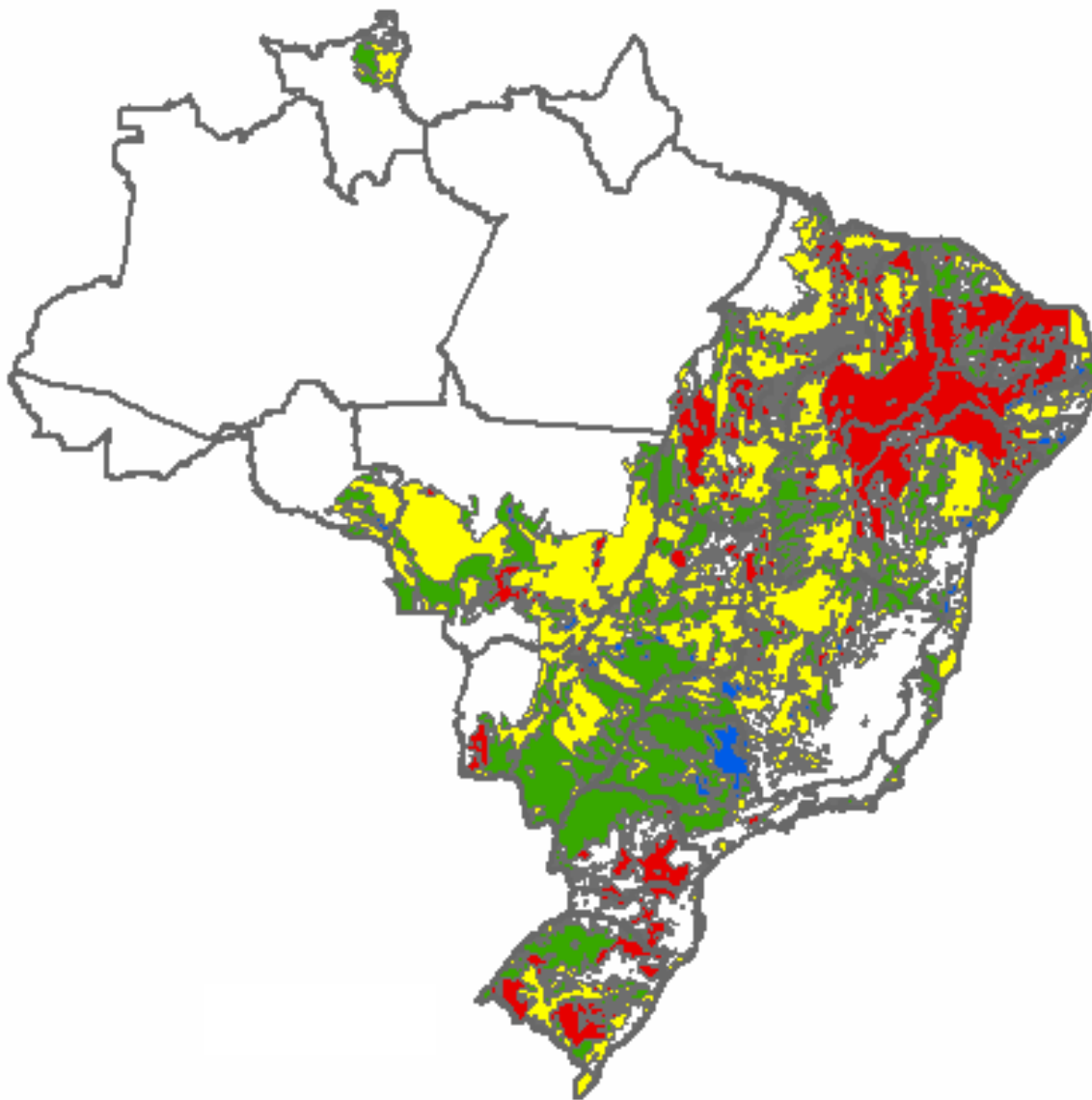


Figura 4.2-7. Mapa do potencial de áreas para produção de cana-de-açúcar sem irrigação

Fonte: CTC (2005)

MAPA POTENCIAL DE PRODUÇÃO SOLO E CLIMA COM IRRIGAÇÃO

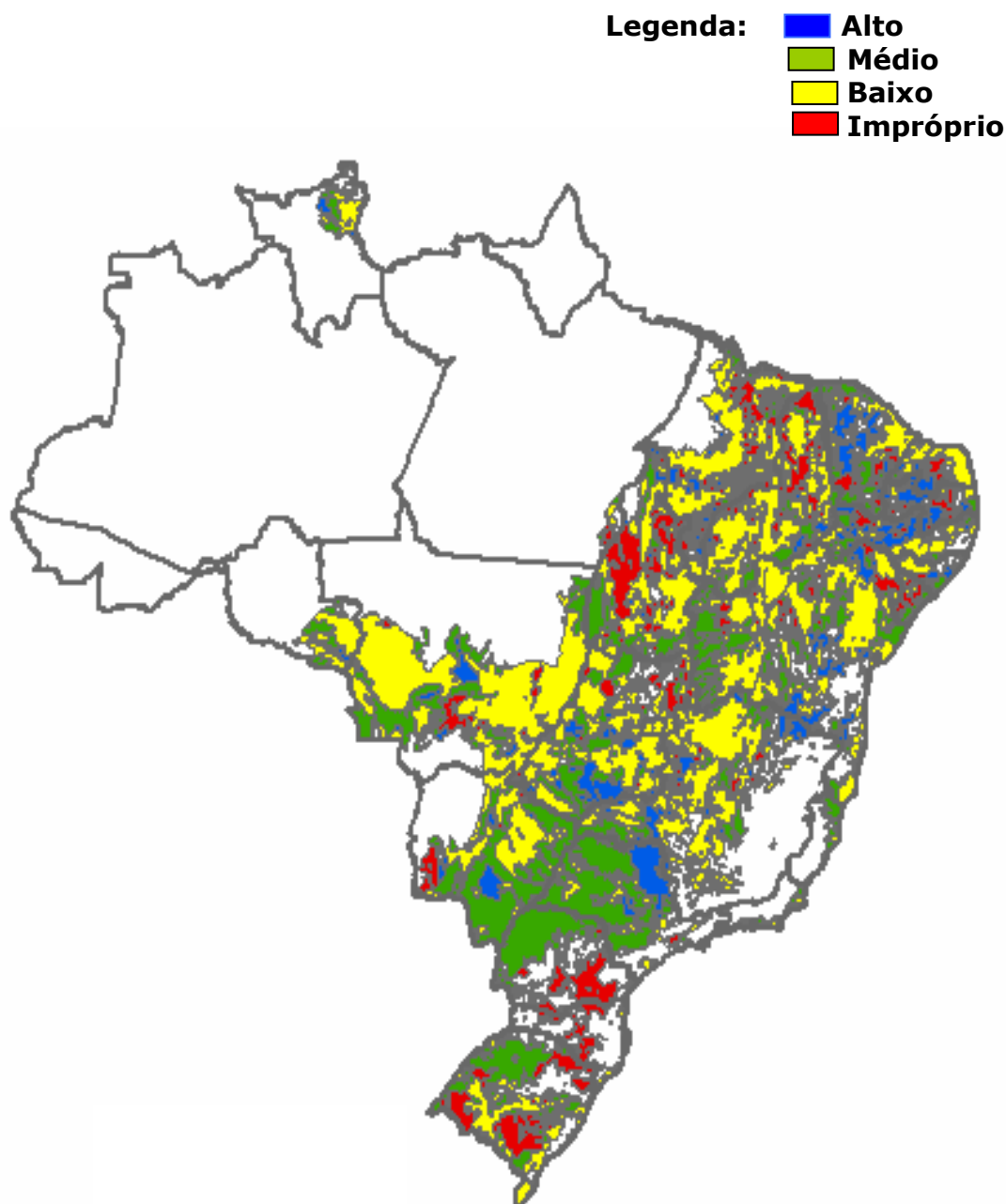


Figura 4.2-8. Mapa do potencial de áreas de produção de cana-de-açúcar com irrigação

Fonte: CTC (2005)

Nos mapas de potencial de produção já estão descartadas as áreas com declividade maior que 12%. No futuro, com a evolução tecnológica de colheita de cana mecanizada é possível, e até provável, que parte destas áreas possam vir a ser aproveitadas.

No mapa de potencial de plantio de cana-de-açúcar sem irrigação (Figura 4.2-7) é possível notar que as regiões a seguir apresentam extensas áreas de **alto e médio potencial**: na maioria dessas áreas não há importantes restrições de solos (Figura 4.2-5), nem climáticas (Figura 4.2-6) e estão, predominantemente, em relevo plano e de suave ondulado (declividade abaixo de 12%). São as áreas nos seguintes estados do país:

- Norte do Paraná;
- Centro-oeste, noroeste e oeste de São Paulo;
- Triângulo Mineiro;
- Leste do Mato Grosso do Sul;
- Sul de Goiás;
- Algumas faixas próximas a costa litorânea, desde o estado do Rio de Janeiro até o Rio Grande do Norte.

A maioria das áreas inseridas nas regiões a seguir enquadra-se como **potencial baixo**: verifica-se a limitação atribuída a uma das informações básicas analisadas (solo, clima e relevo), ou mesmo a combinação delas:

- Sul do Paraná;
- Norte de Goiás;
- Leste de Mato Grosso;
- Centro-oeste e noroeste de Minas Gerais;
- Grande parte do estado do Tocantins.

Na região do semi-árido nordestino as áreas são classificadas como **impróprias** devido às condições climáticas desfavoráveis (déficit hídrico). Neste caso, verificaram-se solos com alto potencial, no entanto a deficiência hídrica inviabiliza o cultivo da cana-de-açúcar. Devido também a uma restrição climática, em grande parte dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, há extensas áreas classificadas como impróprias para a expansão da cana, devido a baixa temperatura e a ocorrência de geada.

A área cultivável do país, no total de 361,6 Mha, está distribuída de acordo com o potencial que apresenta. Na tabela 4.2-2 nota-se que, para o cultivo sem irrigação, 2,2% do território nacional apresenta alto potencial, 31,5% médio potencial, 41,3% são enquadrados como baixo potencial e 25,1% como áreas impróprias. As áreas com alto e médio potencial concentram-se predominantemente na região Centro-Sul do Brasil e as de baixo potencial e as áreas impróprias estão distribuídas de forma bastante irregular por todo o país, principalmente na região Sul, semi-árido nordestino e áreas em que ocorrem solos rasos associados com declividades elevadas.

Tabela 4.2-2: Potencial de Produção da Cana de Açúcar

Potencial	Produtividade Esperada (t/ha)	Potencial de Utilização (Área)				Potencial de Produção Total - 2005			
		Sem Irrigação		Com Irrigação		Sem Irrigação		Com Irrigação	
		(1.000ha)	(%)	(1.000ha)	(%)	(1.000 t)	(%)	(1.000 t)	(%)
Alto	81,4	7.897,1	2,2	37.919,8	10,5	642.493,7	3,4	3.085.075,5	14,6
Médio	73,1	113.895,0	31,5	98.018,5	27,1	8.324.183,3	44,7	7.163.831,6	33,9
Baixo	64,8	149.216,6	41,3	167.645,1	46,4	9.671.027,3	51,9	10.865.412,1	51,5
Impróprio	0,0	90.579,4	25,1	58.004,8	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Totais		361.588,1	100,0	361.588,1	100,0	18.637.704,3	100,0	21.114.319,1	100,0

A produtividade média referente a cada potencial foi obtida com base nos valores médios de produtividade de cana-de-açúcar do IBGE e do CTC. Com os dados do IBGE foi determinada a equação de regressão para a produtividade do potencial médio, apresentando alta correlação ($R^2=91\%$). Com os dados do CTC foi possível determinar a porcentagem de acréscimo de produtividade do potencial de produção alto (11,3%) em relação ao potencial de produção médio, bem como a porcentagem de redução de produtividade do potencial de produção baixo (11,4%) em relação ao potencial de produção médio. Dessa forma, tem-se a produtividade média esperada para cada potencial de produção (Tabela 4.2-1).

Para efeito de cálculo do potencial para a produção de cana-de-açúcar, se toda a área levantada (potencial de utilização (área), multiplicado pela produtividade (t/ha)) fosse utilizada para plantio de cana de açúcar, haveria uma produção total de 18 bilhões de toneladas de cana-de-açúcar na área sem irrigação e de 21 bilhões de toneladas na área onde se considerou o uso de irrigação (Tabela 4.2-2).

Considerando a possibilidade de irrigação é possível verificar na Figura 4.2-8 (mapa de potencial de plantio de cana-de-açúcar sob sistema de irrigação) que as regiões do Brasil que apresentam tipo climático BSw e Aw passam a ter o seu potencial aumentado. Neste caso, as áreas que apresentam tais tipos climáticos, sob condições irrigadas, apresentam limitações somente quanto ao solo, pois ficam supridas as deficiências hídricas. Para as áreas que apresentam o tipo climático Cfb, considerado também como impróprio devido ao clima, sob condições irrigadas, continua com a mesma classificação, pois a limitação neste caso não é a disponibilidade hídrica, e sim baixas temperaturas e ocorrência de geada.

Nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, apesar de apresentar extensas áreas com médio potencial sob o tipo climático Cfa, o risco de geadas é muito alto, prejudicando o desenvolvimento desta cultura. Isso ocorre pelo fato de que a classificação de Köppen não utiliza como critério a ocorrência de geadas. Ressalta-se que este trabalho foi realizado com informações básicas (solo e clima) na escala de 1:5.000.000, implicando em uma menor precisão dessas informações. Portanto o mapa final (potencial de plantio de cana de açúcar) permite obter somente uma visão regional do potencial para expansão da cana de açúcar. Para um maior detalhamento de áreas pré-selecionadas neste trabalho, como por exemplo, para a implantação de novas unidades industriais ou escolha de áreas de expansão, há necessidade de caracterizações mais detalhadas (levantamentos pedológicos semi-detalhados de alta intensidade ou mesmo detalhados), bem como obter dados climáticos em estações meteorológicas próximas as áreas de interesse. Desta forma seria possível determinar com maior precisão as áreas de maior potencial.

Conclusões

- a) Há um grande potencial de expansão de cana de açúcar, principalmente na região Centro-Sul do Brasil, mesmo excluindo-se regiões que apresentam restrições ambientais (bacia Amazônica, Pantanal e remanescentes de Mata Atlântica);
- b) O mapa de potencial de expansão sob condições de irrigação permite determinar um considerável aumento de regiões que apresentam alto potencial para o cultivo de cana-de-açúcar quando submetido a sistemas de irrigação. Sem irrigação tem-se 33,7% de alto e médio potencial, passando para 48,1% quando irrigado;
- c) A maioria das áreas com potencial alto para a expansão da cana-de-açúcar está relacionada com os Latossolos de textura argilosa e Latossolos Férricos, em regiões que não ocorrem prolongados períodos de déficit hídrico;
- d) Os mapas básicos (solos, clima, declividade, restrições ambientais), juntamente com os mapas temáticos ou de potenciais (climático, de solos e edáfo-climático), disponibilizados em ArcReader, permitem análises mais detalhadas por regiões ou Estados.

4.3 Módulo Padrão para Expansão

A grande evolução do setor sucroalcooleiro ocorreu principalmente após a implantação do Proálcool em 1975. A partir desta data, a produção de álcool que estava em torno de 600 milhões de litros por ano passou a crescer rapidamente às custas de instalações de destilarias autônomas ou anexas às usinas de açúcar existentes; as capacidades mais comuns destas novas unidades de produção, em busca de ganhos de escala, resultou em um padrão de capacidade para as novas destilarias implantadas recentemente em torno de 600.000 litros/dia.

A moagem anual e diária das usinas tem crescido também ao longo destes 25 anos. Ainda existem muitas usinas em operação com moagem inferiores a 1 milhão de toneladas de cana por safra, até mesmo menores que 500.000t, porém aquela capacidade é considerada hoje como um mínimo para viabilidade econômica. Dois milhões de toneladas de cana por safra pode ser considerado um padrão para a capacidade das novas unidades. As razões para isso estão ligadas às distâncias médias de transporte de cana, capacidade máxima de moendas e caldeiras e facilidade de gerenciamento da produção; o canavial requer uma área em torno de 30.000 ha e a moagem diária deve ser em torno de 12.000 tc/dia. Alguns investidores ainda preferem unidades com capacidade até 1,5 milhões de toneladas de cana por ano, por causa de disponibilidade de terras e ter um licenciamento ambiental mais simplificado. As condições de vapor mais comuns nestas novas unidades em implantação são 42 bar/450°C, o que indica um desestímulo quanto à geração de excedentes de energia elétrica para venda.

Por estas razões, o módulo padrão que será utilizado nos estudos de expansão da produção de álcool para a fase inicial (curto e médio prazos) é o seguinte:

• Moagem anual (tc/ano)	2 x 10 ⁶
• Moagem diária (tc/dia)	12.000
• Capacidade de produção de álcool (litro/dia)	1.018.000
• Dias de safra (dias)	196
• Aproveitamento efetivo do tempo (%)	85
• Dias de moagem	167

As principais características técnicas desta usina padrão estão descritas abaixo:

- Moenda: 6 ternos 78" x 37" com embebição composta, calhas Donnely e automação completa;
- Caldeira: 2 caldeiras de 150 t vapor/h a 65 bar / 480°C;
- Sistema de tratamento do caldo: convencional;
- Turbogenerador: 40 MW; contrapressão (2,5 bar) com extração (22 bar);
- Destilaria: fermentação batelada ou contínua; desidratação por peneiras moleculares;
- Fábrica de açúcar: evaporação de 5 efeitos com aproveitamento de sangrias, vácuos de batelada.

Para a expansão nos períodos de médio e longo prazo, grande parte da produção de álcool certamente se dará em destilarias autônomas, uma vez que o crescimento da produção de açúcar será bem menor que o do álcool.

Várias alternativas para a área de energia foram simuladas e algumas delas foram utilizadas no desenvolvimento dos cenários econômicos.

Na área agrícola foi assumido que as novas usinas adotarão 100% de mecanização, sem queima, obedecendo, principalmente, à legislação no que diz respeito às queimadas.

4.4 Investimentos Previstos

Neste relatório preliminar foram utilizadas estimativas baseadas em cotações de fabricantes, estudos internos da UNICAMP e em entrevistas com técnicos de qualidade reconhecida pelo setor sucro-alcooleiro. Ao longo do projeto será buscado a melhoria e consolidação destas estimativas, com um maior detalhamento dos investimentos.

Os números utilizados nesta fase para o módulo de produção de álcool são:

• Áreas comuns (obras civis, recepção, preparo, moagem, geração de vapor e energia)	R\$ 125 milhões
• Destilaria de álcool	R\$ 70 milhões
• Outras instalações	R\$ 10 milhões
TOTAL	R\$ 205 milhões
• Equipamentos agrícolas	R\$ 75 milhões

A área do canavial da usina-padrão é de 27.000 ha e o custo de implantação do canavial é de aproximadamente R\$ 2.700 por hectare, o que deverá ser feito em etapas, em um período de 3 a 5 anos, conforme a prática normal do setor.

4.5 Custos de Produção

Os custos de produção, tanto da fase agrícola como industrial, foram detalhados e utilizados no modelo econômico. Para se ter uma referência para uso nos estudos preliminares, buscou-se na literatura alguns dados relativos a esses custos de produção; alguns valores comparativos entre os custos de produção de álcool no Brasil e no exterior são mostrados na tabela 4.5-1.

Tabela 4.5-1: Comparação dos custos de produção do etanol

Item	USA Milho (EURO/hl)	Alemanha (2)		Brasil Cana de açúcar (EURO/hl)
		Trigo (EURO/hl)	Beterraba (EURO/hl)	
Prédios	0,39	0,82	0,82	0,21
Equipamentos	3,40	5,30	5,30	1,15
Mão de obra	2,83	1,40	1,40	0,52
Seguro, Taxas e outros	0,61	1,02	1,02	0,48
Matéria prima	20,93	27,75	35,10	9,80
Outros custos operacionais	11,31	18,68	15,93	2,32
Custo de produção total	39,48	54,96	59,57	14,48
Venda de subprodutos	-6,71	-6,80	-7,20	-
Subsídios federal e estadual	7,93	-	-	-
Custo de produção líquido	24,84	48,16	52,37	14,48

(1) 3 R\$/US\$ e 1,20 US\$/EURO

(2) 200ml/ano

Fonte: F. O. Licht

Outros custos comparativos têm sido apresentados por outras fontes mostrando valores coerentes com os da tabela acima, na maioria dos casos. As tabelas abaixo mostram estas avaliações.

Tabela 4.5-2: Custos de etanol em vários países

País	Custo de Produção do Álcool Anidro		Matéria prima
	(US\$/l) ⁽¹⁾	(US\$/l) ⁽²⁾	
Brasil	-	0,20	cana
➤ Centro-Sul	0,15	-	cana
➤ Norte-Nordeste	0,18	-	cana
EUA	0,33	0,47	milho
Europa	0,55	0,97	beterraba, trigo
Tailândia	-	0,29	cana
Austrália	-	0,32	cana

Fontes:
⁽¹⁾Governors' Ethanol Coalition/UNICA
⁽²⁾Datagro

Como para as análises econômicas detalhadas se mostrou necessário um conhecimento mais preciso, e dividido por setores, dos custos de produção de álcool e de cana de açúcar, estudos foram conduzidos e apresentados neste relatório final.

Custos de produção de cana de açúcar

Os vários estudos sobre o custo de produção de cana de açúcar mostram uma certa variabilidade entre usinas dependendo, principalmente, da produtividade do canavial, custo da terra, tecnologia agrícola e distâncias de transporte.

Os dados apresentados por IDEA, 2005 serão apresentados a seguir. Estes dados foram adaptados e modificados durante os desenvolvimentos dos capítulos 6 e 7 deste relatório, principalmente com base nos dados da FEAGRI/UNICAMP.

Valores médios, típicos da região Centro-Sul, são apresentados na tabela 4.5-3

Tabela 4.5-3: Custos médios de produção de cana

Fase	R\$/tc	%
Formação do canavial	5,56	17
Trato da cana planta	1,07	3
Trato da soqueira	8,79	27
Colheita e transporte	11,10	33
Administração agrícola	1,33	4
Remuneração da terra	5,31	16
Total	33,16	100

Fonte: IDEA, 2005

Pode-se notar que o trato da soqueira (adubação, herbicida, aplicação de vinhaça, etc) e a colheita e transporte representam juntos cerca de 60% do custo total de produção da cana.

Este mesmo estudo (IDEA, 2005) mostra uma variabilidade razoável entre os custos de produção entre várias regiões do Centro-Sul indo desde R\$ 24,59 em Goiás até R\$ 34,35 em Ribeirão Preto. Todavia, o parâmetro mais importante são os custos dos Açúcares Redutores Totais (ART) da cana, que nestas duas regiões eram R\$ 0,188/kg e R\$ 0,259/kg, respectivamente.

Custos de industrialização da cana para produção de etanol

A empresa Chaves - Planejamento e Consultoria - foi contratada para levantar os custos de processamento da cana para a produção de etanol, incluindo os custos administrativos (Chaves, 2005). Neste estudo, foram consideradas uma usina com destilaria anexa (50% dos açúcares da cana para açúcar e 50% para álcool) e uma destilaria autônoma (100% para álcool), ambas moendo 2 milhões de toneladas de cana (tc) por safra de 205 dias corridos com 85% de aproveitamento de tempo de moagem.

No caso da destilaria anexa, a divisão de custos comuns teve como base a função de ART (açúcares redutores totais) destinada para cada produto. As eficiências industriais médias da região Centro-Sul foram utilizadas para se calcular a produção de açúcar e/ou álcool. A tabela 4.5-4 apresenta um resumo dos resultados.

Tabela 4.5-4: Custos de industrialização da cana para produzir etanol

Item	Destilaria Autônoma (R\$/m³)	Destilaria Anexa (R\$/m³)
Salários e encargos	28,86	31,80
Depreciações	26,50	31,46
Produtos químicos	21,63	22,06
Óleos lubrificantes	3,43	3,47
Materiais de manutenção	20,97	22,53
Serviços de terceiros	8,74	9,73
Outros	22,58	25,84
Total	132,70	146,90

Os custos administrativos estão resumidos na tabela 4.5-5

Tabela 4.5-5: Custos administrativos na produção de etanol

Item	Destilaria Autônoma (R\$/m³)	Destilaria Anexa (R\$/m³)
Salários e encargos	15,66	17,62
Serviços de terceiros	6,41	7,22
Outros	15,84	17,83
Assistência Social	8,96	10,08
Total	46,87	52,76

Considerando que a eficiência industrial equivalente a 85 litros de etanol anidro por tonelada de cana, o custo total de produção de foi calculado e apresentado na tabela 4.5-6.

Tabela 4.5-6: Custo total de produção de etanol

Item	Destilaria Autônoma	Destilaria Anexa
Matéria-prima (cana)	390,12	340,12
Custo industrial	132,70	146,90
Custo administrativo	46,87	52,76
Total	569,69	587,78

Não ficou claro na referência de Chaves (2005) a causa da diferença entre os custos de produção do etanol nos dois tipos de destilarias; provavelmente esta diferença está ligada aos critérios de divisão de custos dos sistemas comuns à produção de açúcar e de álcool. Fica evidente, todavia, o peso da matéria-prima no custo de produção de etanol, com cerca de 2/3 do custo total.

5. INFRA-ESTRUTURA EXISTENTE E PROJETOS DE MELHORIAS E AMPLIAÇÃO COM FOCO NO TRANSPORTE DE ETANOL

O objetivo deste capítulo é levantar a infra-estrutura de transporte atual no país, principalmente em regiões mais distantes do litoral, visando verificar a sua adequação com as metas contempladas por este Projeto, de escoar, para exportação, um volume de 104,5 bilhões de litros de álcool até 2025.

No período coberto por este relatório estabeleceu-se contato com os diversos organismos responsáveis pelo transporte para obter informações relativas à capacidade existente para transporte de combustíveis e o custo de investimento de novas infra-estruturas ou de ampliação das existentes.

Entre os principais agentes consultados encontram-se:

- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES)
- Ministério dos Transportes
 - GEIPOT
- Agência Nacional de Transportes (ANTT)
- Câmara Brasileira de Transporte Ferroviário (CBTF)
- Confederação Nacional do Transporte (CNT)
- Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão
- Ministério da Integração Nacional

Após consulta feita junto ao Anuário de Transportes do Geipot, cujos dados vão até o ano de 2000, comprovou-se a limitada disponibilidade de informações sobre o transporte de álcool no país. As informações restritas do Anuário indicam que o álcool teve um peso declinante nas modalidades de transporte por duto e por carga entre 1996 e 2000. O transporte de derivados de petróleo em compensação tem uma importância mais significativa nas modalidades ferroviária, por dutos ou hidroviária. Essa situação nem sempre foi a mesma, pois estudos do mesmo Geipot indicam que em 1980/81 o transporte de álcool se repartia entre 31,7% rodoviário, 33,3% ferroviário, 13% por duto e 22% hidroviário.

O atual domínio da modalidade de transporte rodoviário nos parece ser completamente incompatível com os volumes de álcool a serem produzidos pelas previsões deste estudo. As modalidades ferroviária, duto viária e hidroviária são as mais compatíveis em termos de custo com as necessidades de transporte futuras de álcool. O próprio governo brasileiro está consciente de que essas modalidades de transporte são importantes para viabilizar a interiorização do desenvolvimento econômico do país.

Uma vez que este estudo tem por objetivo escoar o álcool para exportação, realizou-se a pesquisa com ênfase no "estado da arte" e projetos previstos até 2010 para o **transporte ferroviário, dutos, transporte aquaviário** (transporte por marítimo, fluvial e lacustre), **incluindo os portos e terminais** no país.

Vale ressaltar que o transporte multi-modal, entendido como a combinação de um ou mais meios de transporte para mobilizar certa mercadoria, poderá ser utilizado em alguns casos, sendo necessário o estudo sobre o custo de transferência do álcool entre os modais.

5.1 Transporte Ferroviário

O transporte ferroviário tem sido apontado como a principal forma de transporte sobre a qual o governo federal está apostando para assegurar o escoamento da produção agro-industrial das áreas interioranas. Esse setor, apesar de ter sido privatizado, merece crescente atenção da parte das autoridades públicas. O objetivo consiste em modernizar a infra-estrutura existente e em estender as linhas férreas funcionais para regiões mais longínquas do interior. O país conta, atualmente, com cerca de 29.000 quilômetros de ferrovias. No ano 2000, esse número chegou a representar 31.000 km. Somente na região Nordeste, há cerca de 1.500 km de ferrovias com tráfego suspenso.

A malha ferroviária brasileira é composta por diversas ferrovias, sendo as principais:

- América Latina Logística - ALL - Extensão: 16.397 km; Bitola: 1 m; Área de cobertura: Região Sul e parte da Região Sudeste.
- Companhia Ferroviária do Nordeste - CFN - Extensão: 4.238 km; Bitola: 1,00; Área de cobertura: Região Nordeste.
- Estrada de Ferro Carajás – EFC - Extensão: 1.056 km; Bitola: 1,60 m; Área de cobertura: Regiões Norte e Nordeste.
- Estrada de Ferro Vitória/Minas - EFVM - Extensão: 898 km; Bitola: 1,00 m; Área de cobertura: Região Sudeste e Centro-Oeste.
- Ferrovias Centro-Atlântica S.A. – FCA - Extensão: 7.080 km; Bitola: 1,00 m e mista; Área de cobertura: Regiões Nordeste, Sudeste, Centro-Oeste e Distrito Federal.
- Ferrovias Bandeirantes S.A – FERROBAN - Extensão: 4.186 km; Bitola: 1,00 m, 1,60 m e mista; Área de Cobertura: Região Sudeste.
- Ferrovias Norte Brasil - FERRONORTE S.A. – Extensão: 5.228 km; Bitola: 1,60 m; Área de cobertura: Região Norte.
- Ferrovias Norte-Sul – Extensão: 1.638 km; Bitola: 1,60 m; Área de Cobertura: Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.
- Ferrovias Novoeste S.A. - Extensão: 1.622 km; Bitola: 1,00 m; Área de Cobertura: Regiões Centro-Oeste e Sudeste.
- MRS - Logística S.A. - Extensão: 1.674 km; Bitola: 1,60 m e mista; Área de Cobertura: Região Sudeste.

Em contato telefônico com o Sr. Roberto Zaidan, diretor do Departamento de Desenvolvimento e Logística do Ministério de Transportes foram confirmados os seguintes investimentos e custos dos principais projetos na malha ferroviária nacional. A figura 5.1-1 apresenta, em cores diferentes, as principais ferrovias do país.

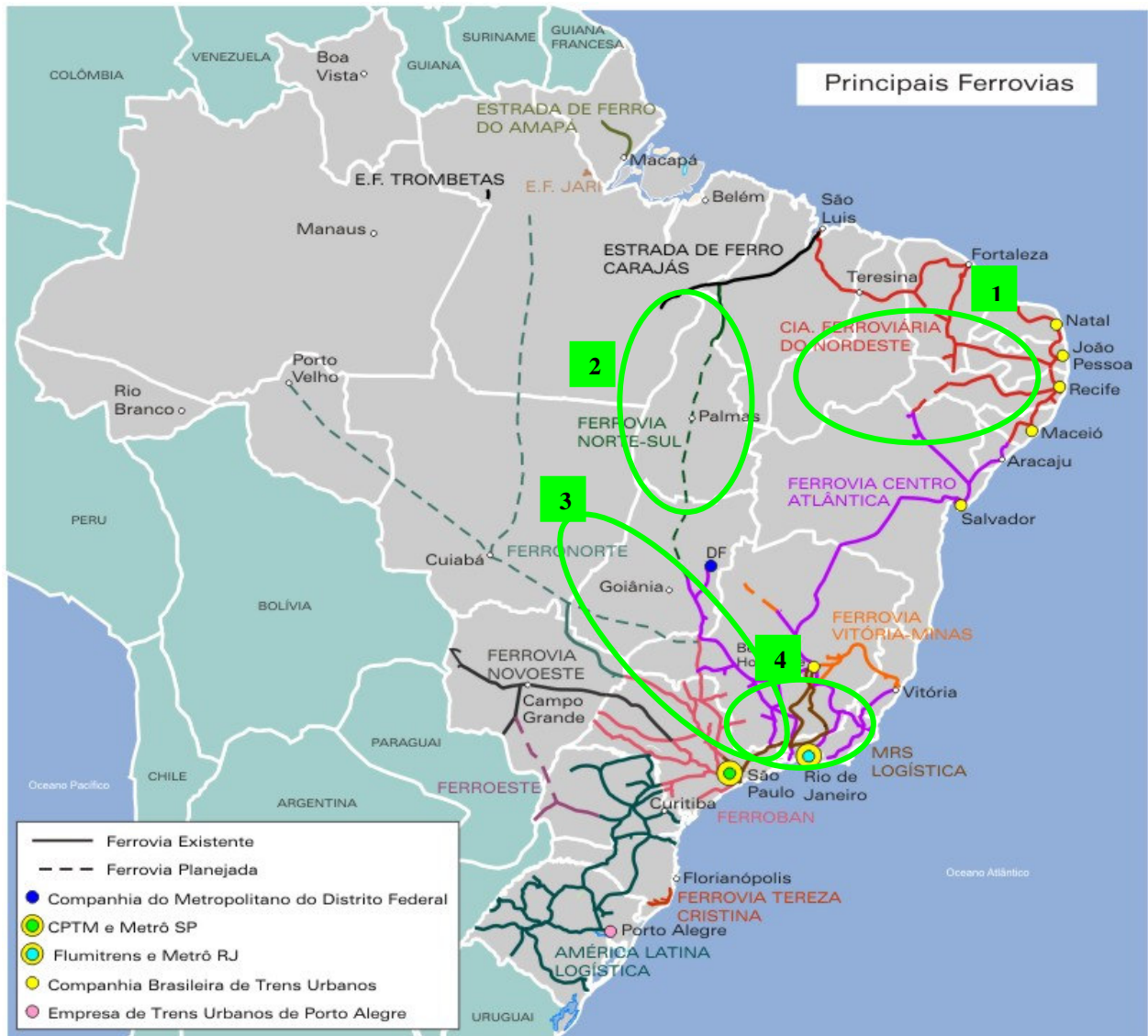


Figura 5.1-1 – Principais ferrovias do Brasil

- 1. Corredor Transversal Nordeste (Transnordestina)**
- 2. Ferrovia Norte-Sul**
- 3. Corredor Sepetiba**
- 4. Ferroanel (SP e RJ)**

5.1.1. Corredor Transversal Nordeste (Transnordestina)

Esse grande projeto tem por finalidade criar um eixo horizontal de transporte que interligue a região central do Nordeste com as áreas costeiras. Serão construídos 880 km de trechos novos; 1.100 km de alargamento e 80 km de remodelação. Será aproveitada uma parte do traçado existente de Gravatá até Salgueiro (PE), seguindo até Eliseu Martins (PI) (trecho novo). Outro braço sai de Salgueiro (PI) até Juazeiro do Norte e seguindo até o Porto de Pecém (CE) com troca de bitola estreita (métrica) para bitola larga (1,60m) quando necessário.

Com isso, a parte central do Nordeste, localizada na parte meridional dos Estados de Maranhão e do Piauí, terá acesso aos três portos principais dessa região: Itaqui/São Luis (MA), ferrovia da CFN existente, Pecém (CE) e Suape (PE), conforme a figura 5.1-2 a seguir.

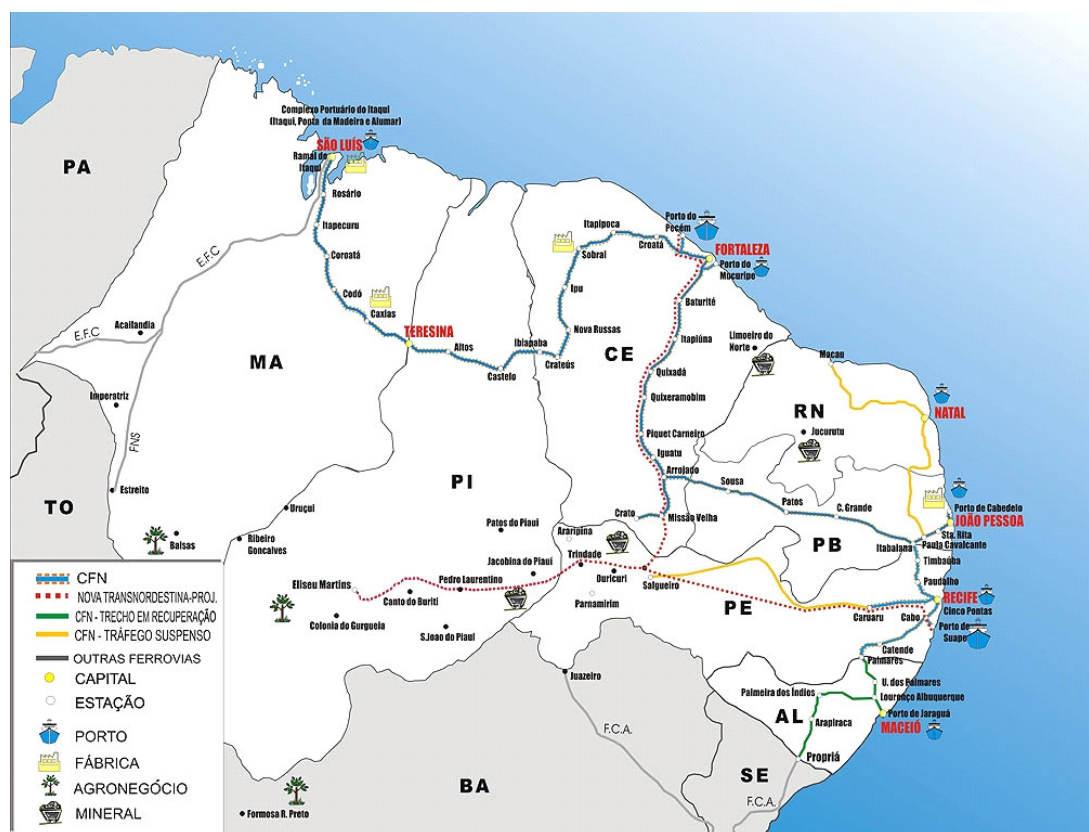


Figura 5.1-2: Ferrovias do corredor transversal Nordeste

A partir de Eliseu Martins (PI), onde se concluirá o eixo ferroviário, existe ligação rodoviária com Barreiras, oeste da Bahia (BR135) e Balsas (MA) (BR020), via Gilbuês (PI) ou D. Azeilão (MA). Isto ampliaria o raio de ação dessa ferrovia no escoamento da produção agro-industrial do Nordeste central.

O projeto está orçado em R\$ 4,5 bilhões e deverá iniciar as obras ainda em 2005, com duração aproximada entre três a cinco anos. Os recursos, perfazendo R\$ 2,05 bilhões, deverão ser viabilizados através do Fundo de Desenvolvimento do Nordeste (FNDE), gerenciado pelo Ministério da Integração.

Outros R\$ 1,5 bilhões virão das Opções do Fundo de Investimento do Nordeste (Finor). Este último Fundo não existe mais, porém as suas "opções" podem ser exercidas até 2013. Ainda, R\$ 400 milhões serão aportados ao projeto como empréstimo do BNDES. Trezentos milhões de reais serão investidos pelas empresas CSN e Taquari e R\$ 250 milhões advirão de outros investidores, provavelmente fundos de pensão.

Existe o projeto para uma segunda fase da Transnordestina, que parte de Eliseu Martins (PI), passa pelo Noroeste da Bahia, atravessa por Palmas (TO), chegando próximo a Santana do Araguaia (PA), descendo até a cidade de Alto Garças, próximo à cidade Alto Araguaia (MT), para fazer ligação com a Ferronorte. Esse projeto é de longo prazo, e ainda está sem orçamento definido, mas ele permitiria interligar os dois grandes eixos de transporte que cobririam o Brasil central.

5.1.2. Corredor Norte-Sul

O segundo grande eixo ferroviário que está em construção é o eixo Norte-Sul (figura 5.1-3), que interliga a parte central do país com o norte através do estado do Maranhão.

O trecho que vai de Estreito até Araguaína (TO), com 180 km de extensão, deverá ser concluído até o final de 2006, com custo previsto de R\$ 350 milhões. A obra está sendo realizada com recursos do Governo Federal. O trecho Araguaína – Anápolis (GO), 1.350 km, orçado em US\$ 1 bilhão (sem material rolante), aguarda a criação do Fundo Regulador para efetivar as PPP's (Parceria Público Privado).

Sua importância torna-se mais relevante ao considerar que a conexão com a Estrada de Ferro Carajás, com tráfego ativo, viabiliza o escoamento da produção de etanol da região contemplada pelo estudo, pelo acesso ao Porto de Itaqui, MA, conforme visualização nas figuras 5.1-1 e 5.1-3.

O transporte da área mais central localizada no estado de Tocantins está ainda dependendo de volumosos investimentos. É provável que esses investimentos se realizem num horizonte de longo prazo, mais de 10 anos, em decorrência do próprio desenvolvimento dessas regiões.



Figura 5.1-3: Ferrovias Norte-Sul. Atual e Planejada

Deve-se considerar que o rio Araguaia não autoriza a navegação comercial devido à Ilha do Bananal, ao sudoeste de Tocantins. De acordo com o Ministério dos Transportes a solução no curto prazo, em trechos que impliquem passagem por áreas de reserva natural ou indígena (FUNAI), é dificultada por depender de autorização do Congresso.

5.1.3. Corredor Santos

Ainda que a região Centro-Sul seja muito melhor dotada em infra-estrutura de transporte de cargas, ela enfrenta grandes gargalos em seus sistemas de transporte. Os dois principais consistem na limitada capacidade das vias de acesso aos portos marítimos e de escoamento dos mesmos. Isto coloca sérios entraves à expansão das exportações de álcool do Brasil. Santos é o grande terminal de escoamento das exportações de álcool brasileiras. No entanto, esse porto sofre, na atualidade, grandes problemas de congestionamento que limitam sua capacidade de exportação. O projeto consiste em aumentar a capacidade de transporte de carga por ferrovia, revitalizando e interligando a região Centro-Oeste, grande produtora e exportadora agrícola, até o porto de Santos. A área de influência desse projeto envolveria os Estados de São Paulo, Mato do Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás.

O projeto de reestruturação está definido, com duração de 4 anos (2005-2009), e inclui:

- Via permanente: velocidade da composição e capacidade do eixo (30t/eixo)
- Material rolante: vagões e locomotivas
- Sinalização
- Pátios

O montante do investimento para o Corredor Santos é de R\$ 2,3 bilhões, dos quais R\$ 650 milhões serão destinados à recuperação da via permanente, R\$ 1,2 bilhões para aquisição de material rolante e R\$ 520 milhões para a manutenção da frota existente.

O projeto envolve duas empresas: Ferronorte e Ferroban, ambas pertencentes à Nova Brasil Ferrovias. O BNDES participará como sócio da Nova Brasil Ferrovias, que operará o corredor de bitola larga. A Novoeste Brasil controlará o corredor de bitola estreita e os investimentos necessários serão realizados com recursos dos atuais acionistas.

Existe também o projeto de ampliação da Ferronorte, saindo de Uberlândia (MG) passando pelo Alto Araguaia (MT) chegando até Cuiabá, na primeira fase, e até Porto Velho (RO) na segunda fase. Esse projeto seria fundamental para que o sul e o oeste do Estado do Mato Grosso, e inclusive o Estado de Rondônia, possam se interligar aos portos do litoral sudeste.

5.1.4. Ferroanel Norte (Corredor Sepetiba) e Ferroanel Sul

O projeto está dividido em Ferroanel Norte e Sul (figura 5.1-4). O Ferroanel, tramo norte, sairia de Campo Limpo Paulista (SP) até Manuel Feio (SP) e seria ligado com a linha tronco da Ferrovia MRS Logística, em Itaquaquecetuba até Sepetiba (RJ). Esse projeto tem a finalidade de desafogar o porto de Santos, redirecionando para o porto fluminense uma parte do tráfego que chega do interior paulista pela Ferroban e Ferronorte e passa pelo centro de São Paulo até Santos.

O trecho sul, entre Vila Califórnia e Evangelista de Souza, justifica-se devido à eliminação do tráfego das linhas ferroviárias, inclusive a estação da Luz, com cerca de 13 milhões de toneladas de cargas que cruzam a Região Metropolitana. Hoje, as

mercadorias só podem trafegar com autorização de transporte entre as 22h00 e 04h00.

O projeto prevê a construção de 66 quilômetros de ferrovias no tramo norte e mais 48 quilômetros, no tramo sul. O custo do Ferroanel, para ambos trechos, está orçado em US\$600 milhões. As obras ainda não foram iniciadas por não haver acordo entre a MRS Logística (RJ) e a Brasil Ferrovias (SP) quanto ao financiamento. A Secretaria de Transportes do Estado de São Paulo estuda a prioridade do ramo a ser implementado, se norte ou sul.

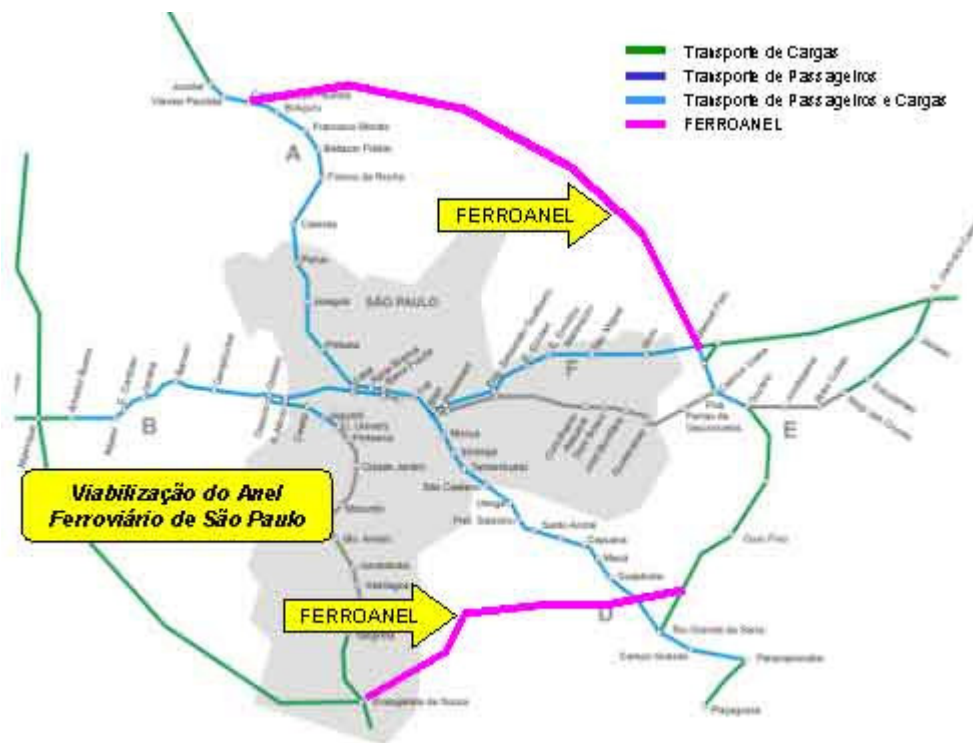


Figura 5.1-4 – Ferroanel Norte (Corredor Sepetiba) e Ferroanel Sul

Por se tratar de produto com notável grau de periculosidade (é extremamente inflamável, além de ser explosivo), o transporte via ferrovia deve contemplar, preferencialmente, trechos que não tenham sinuosidade acentuada.

O tramo da capital, São Paulo, até o porto de Santos é um exemplo de uma via onde o álcool, bem como outros produtos inflamáveis, não deveria percorrer, devido à sinuosidade deste trecho, sendo propício para graves acidentes.

O custo de construção de um quilômetro de ferrovia é de cerca de US\$ 1 milhão.

5.2 Sistema de Dutos (Petrobrás/Transpetro)

Região Sudeste e as opções de escoamento de álcool

Os dutos constituem uma importante alternativa para o escoamento da produção de álcool até o litoral. Esse sistema de transporte está hoje praticamente sob o controle da Transpetro, filial da Petrobrás, encarregada do transporte por terra e por mar do petróleo e derivados. A Transpetro realiza, eventualmente, transporte de álcool através de seu sistema de dutos. No entanto, o volume de transporte é muito reduzido e está abaixo da média histórica.

Uma das razões para a redução do volume de transporte do álcool por duto é a irregularidade dessa demanda, assim como a saturação do sistema de dutos pelo tráfego de derivados de petróleo, cujo volume aumentou substancialmente durante a década de 90. A infra-estrutura de dutos está sendo usada praticamente em sua capacidade plena com os derivados de petróleo.

São cerca de 10 mil quilômetros de dutos, entre polidutos, oleodutos e gasodutos, (figura 5.2-1). Os dutos são classificados em oleodutos (transporte de líquidos) e gasodutos (transporte de gases) e em terrestres (construídos em terra) ou submarinos (construídos no fundo do mar).

Os oleodutos que transportam derivados e álcool são também chamados de polidutos. Os polidutos transportam combustíveis líquidos claros (gasolina comum e aditivada, álcool anidro e hidratado, óleo Diesel comum) e escuros (óleo combustível OCA1, OCA2, OCA4). O diâmetro dos polidutos varia de 6" a 24", chegando até 40" e 42", estes últimos utilizados, atualmente, somente para transportar petróleo.

A distribuição do combustível renovável é realizada pela BR Distribuidora, outra filial da Petrobrás. A infra-estrutura da BR para o escoamento de álcool, conta com 8 coletores com capacidade de tancagem de 80.000 m³ de álcool (tabela 5.2-1), localizados no centro sul do país, cinco em São Paulo, um no Paraná e um em Brasília.

Tabela 5.2-1 – Centros coletores de álcool da Petrobrás

Localidade	Destino	Capacidade
Araraquara (SP)	Paulínia	10.000 m ³
Santa Adélia (SP)	Paulínia	10.000 m ³
Sertãozinho (SP)	Paulínia	10.000 m ³
Bauru (SP)	Paulínia	10.000 m ³
Brasília (DF)	Paulínia	10.000 m ³
Ourinhos (SP)	Região Sul	20.000 m ³
Londrina (PR)	Região Sul	10.000 m ³
Aracajú (SE)*	Salvador	(10.000 m ³)
Total		80.000 m ³
(*) desativado		

Fonte: BR Petrobrás (2005)

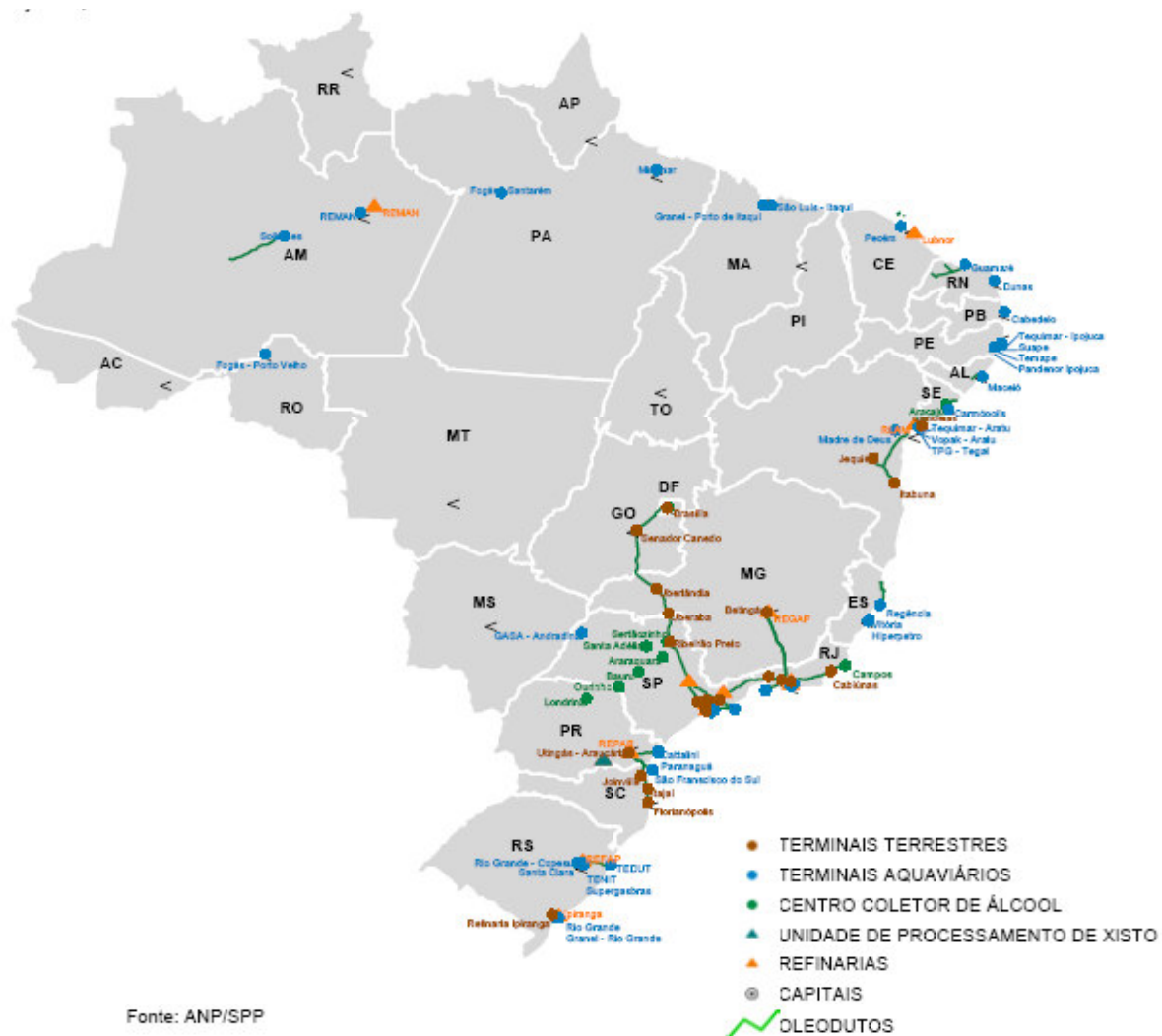


Figura 5.2-1 – Infra-estrutura de coletores e dutos da Petrobrás

O duto mais importante do ponto de vista do escoamento da produção de álcool é o que liga a refinaria de Paulínia com o Terminal de Guararema. Entretanto, tanto esse duto quanto o restante do sistema de transporte que liga esse terminal com o porto de Santos, assim como o próprio porto de Santos, não dispõe capacidade adicional de escoamento para o álcool, embora esforços de empresas particulares estejam sendo realizados.

Em decorrência, a solução proposta pela Transpetro para resolver esse gargalo consiste na construção de alcoolduto de Paulínia (Replan) até o Terminal de Guararema com a extensão de 150 km. Esta é a denominada fase I da Petrobrás, que deverá ser concluída até 2008 (figura 5.2-2).

**ESCOAMENTO DE ALCOOL (2006-2015)
PROJETO TRANSPETRO/BR**

REGIÃO CENTRO-SUL



Figura 5.2-2 – Sistemas de dutos da Petrobrás

Fonte: Petrobras/Transpetro, 2005.

O projeto da Petrobrás prevê também a construção de dois alcooldutos, fases II e III, a serem realizadas entre 2008 e 2010. O primeiro duto, com 200 km de extensão, ligará Ribeirão Preto e Sertãozinho, principal região produtora de álcool do país, ao Terminal de Paulínia. Nesse mesmo período inicia-se a fase III com o segundo alcoolduto, com diâmetro de 16" e extensão de 90 km, entre o Terminal das Conchas e Paulínia, interligando o sistema de dutos da Petrobrás com a Hidrovia Tietê-Paraná, figura 5.2-3, hidrovia importante por atravessar uma das principais zonas de expansão do álcool no país, o Oeste Paulista e alcançar os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

A fase IV deverá ser implementada após 2010, com a construção de um duto de 90 quilômetros de extensão, ligando o Terminal de Guararema ao Terminal Marítimo de São Sebastião, ambos em São Paulo.

A partir desse ponto o álcool seria encaminhado através da malha de dutos existentes até o Terminal de Madre de Deus (RJ) ou para o porto de São Sebastião (SP). O volume de álcool que poderia ser exportado dessa forma, na região sudeste, passaria dos atuais 1,2 milhões de m³ para 8 milhões de m³.

Com os investimentos previstos, o país passaria a ter uma capacidade total de escoamento de álcool de 9,4 milhões de m³ ao ano, após 2010.

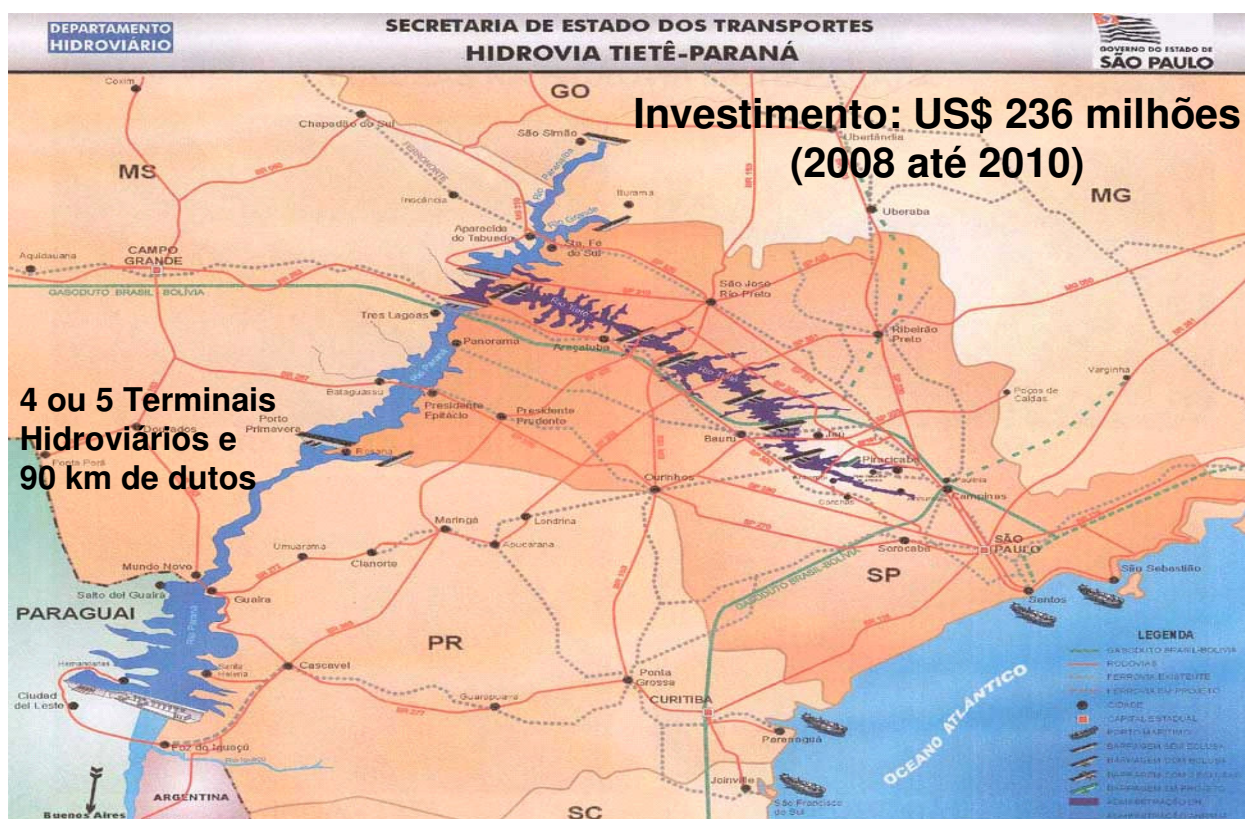


Figura 5.2-3: Projeto na Hidrovia Tietê-Paraná (2008-2010).
 Fonte: Petrobras/Transpetro

O plano de investimentos, de acordo com a Petrobrás, totaliza US\$ 520 milhões, detalhados na tabela 5.2-2, e apresenta os investimentos até 2015, incluindo o montante relacionado ao investimento na Hidrovia Tietê-Paraná.

Adicionalmente, os terminais de Paranaguá (PR) e Maceió (AL) receberão, juntos, US\$ 11 milhões, passando para uma capacidade de tancagem individual de 700 mil m³/ano.

Tabela 5.2-2: Resumo de investimentos 2005-2015

PROJECT	CAPACITY	INVESTIMENT	
Ribeirão Preto / REPLAN* (beginning with 3,5 million m ³ /year - 2008)	4,000,000 m ³ / ano	US\$ 100 million	2015
Replan / Tietê Parana Waterway*			2015
Gasoline & Diesel ↔ ethanol	4,000,000 m ³ / ano	US\$ 236 million	
Phase 0: RP18>OSRIO>I.DÁGUA	1,000,000 m ³ / ano	-----	2005
Phase 1: + Replan Pump + Guararema tanks	4,000,000 m ³ / ano	US\$ 30 million	2007
Phase 2: Replan Pipeline - Guararema	8,000,000 m ³ / ano	US\$ 154 million	2010
Phase 2: Gurarema Pipeline – Ilha D'água	4,000,000 m ³ / ano		2010
Phase 2: Gurarema Pipeline - São Sebastião	4,000,000 m ³ / ano		2015
		(Subtotal: US\$ 520 million)	
REPAR / Paranagua			
Present Phase: + 1 tank in Paranaguá	400,000 m ³ / ano	US\$ 1 million	2006
Phase 1: Platform CT and VT + 2 tanks 10	700,000 m ³ / ano	US\$ 7 million	2008
Maceió			
Present Phase: 3 tanks	400,000 m ³ / ano	-----	2005
Phase 1: + 3 tanks	700,000 m ³ / ano	US\$ 4 million	2007
TOTAL CAPACITY	1,200,000 m ³ / ano		
EXPORT	1,900,000 m ³ / ano		
	5,400,000 m ³ / ano	US\$ 532 million	
	9,400,000 m ³ / ano		

Fonte: Petrobras/Transpetro (2005)

Os investimentos necessários para viabilizar o escoamento de 10 bilhões de litros de etanol, em 2015, são da ordem de US\$ 532 milhões, montante bastante modesto face ao volume de álcool a ser transportado e ao investimento realizado pela Petrobras em 2004, de R\$ 16,9 bilhões (US\$ 6,8 bilhões ao câmbio de R\$2,5/US\$).

É relevante notar que, embora significativo o esforço da Petrobras/Transpetro para escoar 10 bilhões de litros de álcool até 2015, essa quantidade representaria cerca de 15% da necessidade de escoamento da região Centro-Sul em 2025, conforme detalhado mais adiante.

Este fato constata a necessidade da criação de uma nova rede duto viária para atender a oferta e exportação de álcool combustível, de 104,5 bilhões de litros até 2025 (tabela 6.1-1, ajustada), sendo que este volume deverá ser distribuído entre as regiões Centro-Sul e Norte-Nordeste do país, com 60% e 40% do volume, respectivamente.

5.3 Transporte Aquaviário⁷

A expansão do álcool passará necessariamente por este meio de transporte e a adequação à coleta e ao transporte do álcool será decisiva para que se atinjam as projeções de exportação desse produto nos próximos vinte anos.

Os portos marítimos são a principal forma de exportação de álcool, e toda a logística instalada e prevista tem como base os portos como o canal de exportação.

As hidrovias, notadamente a Tietê-Paraná, podem entrar como um elemento interessante nesse contexto possibilitando alternativas, com custos menores quando integrado ao transporte rodoviário.

O Brasil conta, segundo o Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transporte, com 42.000 km de vias navegáveis das quais 8.500 km de vias interiores são utilizadas no país, sendo transportadas 23 milhões de toneladas/ano.

Em hidrovias, o transporte de granéis sólidos (mercadoria sem embalagem, marca de identificação, sendo vendida em quantidades fracionadas), onde o principal produto é a soja, é mais favorecido que o de granéis líquidos, como o álcool, isso devido principalmente à baixa calagem nas vias e portos fluviais do país.

5.3.1. Portos

A distribuição dos portos marítimos na costa do Brasil é regular, conforme a figura 5.3.1-1, com uma concentração maior nas regiões Sul e Sudeste, em grande parte devido ao *sentido da colonização*, empregado por Caio Prado, que no caso brasileiro preconizava um abastecimento da metrópole com os diversos produtos produzidos na colônia. Esse movimento comercial demandou o desenvolvimento de um sistema portuário que atendesse aos diversos mercados produtores de matéria-prima. Tal estrutura se manteve, sendo alterada em maior ou menor grau com os desenvolvimentos de novos produtos, alteração das demandas específicas e mudanças nas estruturas socioeconômicas regionais.

⁷ A análise do transporte aquaviário baseia-se nos dados fornecidos pelo Ministério dos Transportes, 2005.



Figura 5.3.1-1: Mapa dos Principais Portos

Fonte: Ministério dos Transportes, 2005

Já os portos fluviais têm uma forte tendência de concentração. A capacidade do transporte de grandes volumes de carga (por isso uma concentração maior próximo aos grandes rios), a inviabilidade da implantação de outros meios de transporte (ferrovias, rodovias), e a dificuldade em interligar as bacias hidrográficas são as principais causas desse fenômeno, ainda que no Brasil, a grande quantidade de rios (figura 5.3.1-2) revela, regionalmente, a importância desse tipo de transporte.

detalhamento do que outros portos, tal como o porto de Forno no Rio de Janeiro que tem um movimento declinante de cargas.

A escolha dos portos segue aquela feita pelo Ministério dos Transportes, disponível no BIT (Banco de informações e mapas de transporte) e descreve os 30 principais portos marítimos do país, dos quais destacam-se, para este estudo, cinco portos que, em 2004, foram responsáveis por praticamente a totalidade da exportação de 2,4 bilhões de litros de etanol:

- Santos (SP): 58%;
- Maceió (AL): 18%;
- Paranaguá (PR): 18%;
- Cabedelo (PB): 5%;
- Suape (PE): 1%.

Esses portos contam com uma estrutura instalada para o transporte de granéis líquidos, podendo essa infra-estrutura ser ampliada e/ou adaptada ao álcool, além de contar com instalações (tanques e dutos) para o álcool.

A tabela 5.3-1 apresenta a relação dos principais portos do país, a partir dos dados do Ministério dos Transportes, base de 2002. Destacam-se, em azul, os portos que apresentaram o maior volume de granéis líquidos por serem de interesse ao tema objeto deste trabalho, o álcool combustível. Em negrito, encontram-se os portos que têm profundidade (calado) igual ou superior a dez metros.

Tabela 5.3-1: Tabela dos Principais Portos do Brasil

Principais portos por Estado	Comprimento Cais (m)	Profundidade Cais (m)	Granel Líquido/Embarque (t)	Subtotal Embarque (GL, GS e CG) (t)	Granel Líquido/Desembarque (t)	Subtotal Desembarque (GL, GS e CG) (t)	Movimentação de Cargas (2002) (t)	Total Movimentação de Granéis Líquidos (2002) (t)
RS								
Rio Grande	3.829	14	1.386.286	10.061.568	2.141.272	6.692.394	16.753.962	3.527.558
Pelotas	500	6,5	0	281.166	0	15.515	296.681	0
Porto Alegre	8.000	6	935.562	1.235.179	8.044.818	9.104.834	10.340.013	8.980.380
SC								
Imbituba	577	9	0	208.390	67.577	759.615	968.005	67.577
Itajaí	750	8	0	2.964.812	95.115	836.858	3.801.670	95.115
S Francisco do Sul	375	10	350.539	4.314.965	9.629.621	10.708.890	15.023.855	9.980.160
PR								
Paranágua	2.106	12	3.316.022	21.533.479	659.574	6.326.400	27.859.879	3.975.596
SP								
Santos	11.350	14	7.494.755	33.822.484	3.840.594	19.651.784	53.474.268	11.335.349
São Sebastião	2.000	18	6.974.439	6.993.075	45.427.037	45.781.181	52.774.256	52.401.476
RJ								
Sepetiba	540	15	0	37.511.446	0	5.293.908	42.805.354	0
Rio de Janeiro	7.420	12	3.797.669	7.027.999	4.245.710	6.366.363	13.394.362	8.043.379
Niterói	431	6	0	0	0	173.230	173.230	0
Forno	230	11	0	0	0	519.947	519.947	0
ES								
Vitória	776	10,6	1.375.795	103.828.333	844.269	16.542.174	120.370.507	2.220.064
Barra do Riacho	230	11,8	19.651	2.322.249	0	94.699	2.416.948	19.651
BA								
Ilhéus	433	10	0	534.049	0	117.773	651.822	0
Aratu	250	11	7.239.159	7.293.459	11.489.148	13.752.211	21.045.670	18.728.307
Salvador	2.092	10	0	1.435.132	0	899.860	2.334.992	0
AL								
Maceió	750	10	1.477.500	2.968.585	296.568	687.125	3.655.710	1.774.068
PE								
Suape	340	15	496.973	981.734	2.489.695	3.244.629	4.226.363	2.986.668
Recife	3.060	10	9.207	583.832	16.580	945.674	1.529.506	25.787
PB								
Cabedelo	602	9	52.986	213.542	351.076	716.722	930.264	404.062
RN								
Natal	540	11,5	4.188.051	4.439.607	146.974	316.706	4.756.313	4.335.025
Areia Branca	166	11	0	2.194.598	0	2.239.758	4.434.356	0
CE								
Fortaleza	1.054	10	95.773	734.540	1.644.409	3.264.966	3.999.506	1.740.182
MA								
Itaqui	710	20	1.612.894	57.529.667	3.757.812	7.412.022	64.941.689	5.370.706
PA								
Belém	1.935	9,2	224.031	11.348.087	1.194.533	1.970.770	13.318.857	1.418.564
Vila do Conde	543	9	362.125	2.280.514	1.117.832	5.665.840	7.946.354	1.479.957
AP								
Macapá	260	10	0	431.467	34.393	44.651	476.118	34.393

Fonte: Ministério dos Transportes (2005), ano base 2002.

Porto de Paranaguá (PR)

O principal porto do sul do Brasil. Sua construção começou em 1926, e foi inaugurado em 1935. Na época atuava, principalmente, na exportação de grãos e era utilizado pelo Paraguai para o transporte de sua carga alfandegária (nos dois sentidos), conforme tratado existente com o Brasil.

A área de influência do porto se estende pelo estado do Paraná e parte dos estados de São Paulo, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul. Inclui também o Paraguai, que dispõe de um entreposto franco no porto.



] Figura 5.3-3: Porto de Paranaguá

O acesso ao porto é feito pelas BR-277, ligando Paranaguá a Curitiba e conectando a BR-116 pelas rodovias PR-408, PR-411 e PR-410, Ferrovia Sul-Atlântico S.A., da Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA).

Em 2000, o porto de Paranaguá movimentou, no cais público, 21 milhões de toneladas de cargas, desse total, 3,6 milhões de toneladas (Mt) foram de granéis líquidos, dois quais 77% saíram do porto com destinos diversos. Os dados de 2002 mostram um aumento de 32% em relação a 2000.

Porto de Santos (SP)

A expansão da cultura do café na província de São Paulo, na segunda metade do século passado, atingiu a Baixada Santista. Esse fato, originou a necessidade de novas instalações portuárias, surgindo a instalação do porto de Santos, em 1888.

O porto localiza-se no centro do litoral do estado de São Paulo, estendendo-se ao longo de um estuário limitado pelas ilhas de São Vicente e de Santo Amaro e dista 2km do oceano Atlântico.

O acesso ao porto se dá por rodovias e ferrovia, respectivamente pelas SP-055 (rodovia Padre Manoel da Nóbrega), SP-150 (via Anchieta) e SP-160 (Rodovia dos Imigrantes), e pela Ferrovia Centro-Atlântica S.A. (FCA).

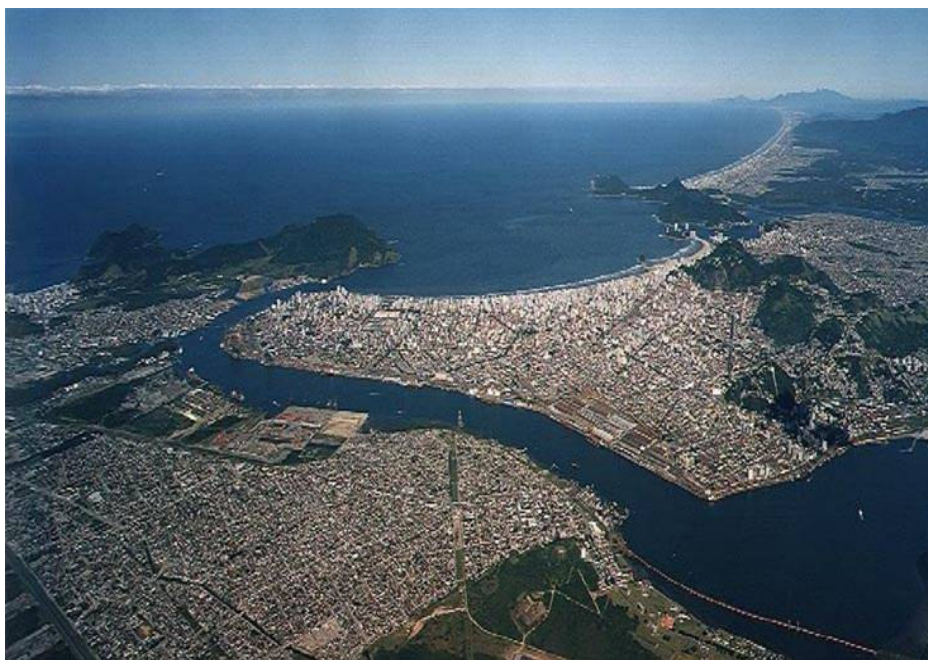


Figura 5.3-4: Vista do Porto de Santos

Segundo o ministério dos transportes Santos movimentou em 2000 um total de 43.084.383t de cargas: 10.663.778t de granéis líquidos. Em 2002 o volume de cargas ultrapassou os 50 milhões de toneladas, um aumento de 24% em relação ao ano 2000.

Em 2004 Santos respondeu por aproximadamente 10% de todo o embarque de granéis líquidos do país e as expectativas, para 2005, eram de uma manutenção da quantidade exportada. Dados mais atuais mostram um crescimento de 40,77% das exportações desse tipo produto nesse ano, impulsionado em especial pelo tratado de *Kyoto*.

Diversos portos brasileiros enfrentam hoje problemas com a falta de infraestrutura. Em Santos esse problema é agravado devido ao grande volume de cargas que transitam pelo porto.

Estudo feito pela Crystasev, empresa que possui um terminal no porto e uma das maiores exportadoras de álcool do país, aponta problemas de logística para a exportação do produto, em especial com relação à competição deste com outras cargas líquidas a granel, como químicos, óleos vegetais e outros combustíveis.

Questiona-se então a capacidade do porto de atender a demanda projetada para o álcool nos próximos anos, já que além da infra-estrutura saturada, acima mencionada, o porto tem uma profundidade que impossibilita o atraque de navios de grande calado, restringindo a atracação de embarcações com 45.000 tpb, enquanto outros portos (São Sebastião é um exemplo) teriam capacidade de receber navios de 300.000 tpb.

Porto de São Sebastião (SP)

Localizado na cidade de São Sebastião, em frente à Ilha de São Sebastião (Ilhabela), no litoral norte do estado de São Paulo, o porto tem recebido diversos investimentos. Segundo a Abracex (Associação Brasileira de Comércio Exterior) o objetivo do governo do estado de São Paulo é integrar o porto ao corredor de exportação Campinas – Vale do Paraíba – Litoral Norte, com o intuito futuro de privatizá-lo. Nos últimos dois anos o governo do estado já investiu mais de R\$ 259,1 milhões nesse corredor, sendo R\$ 7,3 milhões destinados ao porto. Há uma projeção de investimentos na ordem de R\$ 155 milhões destinados para uma ampliação da estrutura e melhorias dos terminais, permitindo assim o atraque de navios de grande calado.



Porto de São Sebastião

Figura 5.3-5: Porto de São Sebastião

O acesso ao porto pode ser feito por rodovias: SP-055, BR-101 que encontram a SP-099 dando acesso ao Vale do Paraíba e a rodovia Presidente Dutra. A área de influência do porto é representada por um trecho do Vale do Paraíba, destacando-se os municípios paulistas de São José dos Campos, Taubaté, Pindamonhangaba, Guaratinguetá e Cruzeiro, e por parte da região do ABC, Moji das Cruzes, Sorocaba, Campinas, Piracicaba e estado de Goiás.

Os dados disponíveis no Ministério dos Transportes (do ano 2002) ainda não refletem inteiramente os significativos investimentos feitos no porto, incluindo a mudança da profundidade (que passou de 8,5m para 14m) e o aumento substancial no movimento de cargas no porto. Porém, a comparação de 2002 ao ano de 2000 mostra um aumento significativo na movimentação de cargas, na ordem de 15%, passando de 45,7 Mt para 52,8 Mt em dois anos. No caso dos graneis líquidos, o porto de São Sebastião é responsável pela movimentação de 37,7% do volume movimentado no país.

Por apresentar uma densa rede de dutos de escoamento e um terminal da Petrobrás para óleo bruto e derivados, o porto de São Sebastião deverá receber os

maiores investimentos projetados por essa empresa, ficando apto a escoar quatro bilhões de litros de álcool, em 2015, conforme citado na seção 5.2 deste relatório.

Porto de Sepetiba (RJ)

Localizado no Rio de Janeiro, no município de Itaguaí, na costa norte da Baía de Sepetiba, o acesso ao porto de Sepetiba pode ser feito tanto pela ferrovia FCA quanto pela rodovia BR-101. Seu raio de influência inclui o próprio Rio de Janeiro, bem como Minas Gerais e o sudoeste de Goiás.



Figura 5.3-6: Porto de Sepetiba

Investimentos na ordem de 300 milhões de reais permitiram a modernização do porto com a instalação 210m de cais, 200.000 m² de pátios para movimentação de cargas containerizadas, veículos em regime *roll-on/roll-off*, e concluir 70% do novo canal de acesso.

Apesar do aumento da capacidade, o porto continua não manuseando grãos líquidos, tal atribuição sendo dada ao porto do Rio de Janeiro, único no estado a fazê-lo.

Porto do Rio de Janeiro (RJ)

O porto do RJ é o segundo em movimento de cargas do estado, tendo movimentado, em 2002, um total de 13,4 milhões de toneladas.



Figura 5.3-7: Porto do Rio de Janeiro

O acesso ao porto pode ser feito por rodovias e ferrovias, respectivamente: as rodovias BR-040, BR-101, BR-116, RJ-071 e RJ-083; e ferrovias MRS Logística S.A., Malha Sudeste, antigas Superintendências Regionais Belo Horizonte (SR 2), Juiz de Fora (SR 3) e Campos (SR 8), da Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA), compreendendo a Estrada de Ferro Central do Brasil (EFCB) e a Estrada de Ferro Leopoldina (EFL).

A área de influência do porto abrange além do Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo e as áreas do sudoeste de Goiás e do sul da Bahia. Dos três maiores portos do estado, o porto do Rio de Janeiro é o responsável por todo ingresso e egresso de granéis líquidos, de pouco mais de oito milhões de toneladas em 2002.

Portos de Forno e Niterói (RJ)

O agrupamento desses dois portos faz sentido devido à semelhança da natureza das cargas que transportam (em ambos não houve embarque de algum em 2002, e os desembarques foram principalmente de granéis sólidos, sem que houvesse qualquer movimentação de granéis líquidos), e pela baixa quantidade de cargas movimentadas (juntos os portos movimentaram em 2002 um total de 693 mil toneladas).

Os portos estão localizados no estado do Rio de Janeiro. O porto de Forno situa-se no município de Arraial do Cabo e o de Niterói na cidade de Niterói. O segundo tem sua área de influência restrita a cidade de Niterói e o primeiro à região dos lagos do estado de RJ, bem como a Companhia Nacional de Álcalis, a Refinaria Nacional de Sal e as Salinas Perynas que estão instaladas na retro área do porto.

Porto de Vitória (ES)

O porto de Vitória é um dos mais importantes no transporte de granéis sólidos do país, com destaque especial para o minério de ferro. Em 2002, embarcaram (saíram) do porto 90 Mt em granéis sólidos, representando mais de 97% do total embarcado nesse ano.



Figura 5.3-8: Porto de Vitória

Os acessos ao porto são feitos pelas rodovias ES-080, BR-262 e BR-101, bem como pelas ferrovias Estrada de Ferro Vitória a Minas e Centro-Atlântica S.A. (FCA). A área de influência do porto abrange estado do Espírito Santo, bem como as áreas leste e oeste de Minas Gerais, leste de Goiás, norte fluminense, sul da Bahia e de Mato Grosso do Sul.

Entre os anos de 2000 e 2002, o porto expandiu em 10% suas movimentações totais de cargas, tendo em 2002 movimentados 120 Mt. A movimentação de granéis líquidos aumentou 14%, num total movimentado de 2 milhões de toneladas, o que representou cerca de 2% do total.

No terminal de granéis líquidos de São Torquato é onde ocorre a movimentação de derivados de petróleo e álcool no porto. Operado pela Frannel e TA Distribuidora de Petróleo, ele é equipado para bombear 500m³/h de combustível, com tanques para armazenamento de até 50.000m³.

Porto de Tubarão

É um porto privado pertencente à Companhia Vale do Rio Doce e por ela operado. O Porto de Tubarão está localizado no município de Vitória, sendo o maior porto marítimo de transporte de minério de ferro e *pellets*¹⁰ do mundo. O porto está equipado com dois berços capazes de receber navios de até 300 mil TPB. Movimenta atualmente 65 milhões de toneladas de minério de ferro e *pellets* por

¹⁰ Pequenos grãos de plástico e alumínio que podem ser utilizados como matéria-prima nos processos de fabricação de peças por injeção, roto moldagem ou sopro. Os produtos finais são canetas, paletes, banquetas, vassouras e coletores, por exemplo.

ano e tem capacidade para movimentar 80 milhões de toneladas. Tubarão também movimenta cerca de 1,5 milhão de toneladas de grãos por ano. Essa movimentação levou o porto a expandir-se, originando o terminal de Produtos Diversos – TPD.

O *Terminal de Produtos Diversos de Tubarão – TPD*, uma extensão do Porto de Tubarão, constitui-se de três berços, que, juntos, têm capacidade para 6 milhões de toneladas. São eles: um berço de granéis líquidos, com capacidade de 2 milhões de metros cúbicos, utilizado pela Petrobras; um berço exclusivo para grãos, com capacidade para 3 milhões de toneladas/ano; e, por último, um de cargas gerais, que, tendo como prioridade a movimentação de contêineres e fertilizantes, com capacidade de movimentar até 40 contêineres por hora.

Porto Barra do Riacho (ES)

Localizado no Espírito Santo, no município de Aracruz, tem acesso pela rodovia ES-010 - dista cerca de 30km da BR-101 - e pelo Ramal 46, a partir da estação de Piraqueaçu. Nesse ponto é feita uma conexão com a ferrovia EFVM/CVRD. O Porto tem como principais cargas: a celulose, madeira em toras no embarque (saída do porto) e o peróxido de hidrogênio e sal no desembarque.



Figura 5.3-9: Barra do Riacho

O porto movimentou 2,5 milhões de toneladas de cargas em 2002, um aumento de 10% em relação a 2000, sendo que desse total os granéis líquidos participam apenas de 1%. No entanto, houve, nesse período, um crescimento substancial no transporte dessa mercadoria, na ordem 393%, o que representa 20 mil toneladas, volume que apesar de ainda pequeno, afirma sua capacidade de expansão para granéis líquidos.

Porto de Ilhéus (BA)

Localizado em Ponta do Malhado, na cidade de Ilhéus, tendo como área de influência as regiões sudeste e oeste do estado da Bahia, bem como o pólo de informática de Ilhéus, o porto tem como principais cargas embarcadas: soja, cacau, produtos químicos, sisal, grafite, fumo, peles, cobre, celulose e equipamento; enquanto as importadas (que chegam ao porto) são: trigo, amêndoas, chapa de aço.



Figura 5.3-10: Porto de Ilhéus

Segundo o CODEBA (Companhia das Docas do Estado da Bahia) o porto movimentou no ano passado 1,2 milhão de toneladas, significando um aumento de 60% em relação a 2002 quando o porto movimentou 651.822t. Os dados do Ministério dos Transportes indicam que em 2002 não houve qualquer movimentação de granéis líquidos no porto.

Ainda segundo o CODEBA, estão previstos investimentos para o porto tendo como meta atingir 2,4 milhões de toneladas, o total dos investimentos seria de 50 milhões de reais nos três portos baianos (Ilhéus, Salvador e Aratu). Está previsto, ainda em parceria com o grupo chinês Xinwen Mining, a ampliação da estrutura do porto com o objetivo de instalar equipamentos que possibilitem o transporte de minério de ferro e manganês.

Porto de Aratu (BA)

O porto de Aratu é o maior do estado da Bahia em movimento. Em 2004 circularam pelo porto 6,6 milhões de toneladas de cargas e até outubro desse ano o acumulado foi de 5 milhões (aumento de 22% em relação ao mesmo período do ano anterior). Apesar do otimismo do CODEBA, quando comparado com os dados do Ministério dos Transportes em 2002, o movimento de cargas teve um declínio de cerca de 68%.

O porto de Aratu, em 2002, foi onde aconteceu a movimentação de granéis líquidos no estado: mais de 18 milhões de toneladas naquele ano (crescimento de 14% em relação a 2000) no total entre saída e entrada.



Figura 5.3-11: Porto Aratu

O porto se localiza na cidade de Candeias, com acesso pelas rodovias BR-324, BR-101, BR-110 e pela BR-116, bem como pela ferrovia Centro Atlântica S.A. Suas áreas de influência são os estados da Bahia, de Sergipe e de Alagoas, pelo oeste de Pernambuco e pelo leste de Minas Gerais.

Porto de Salvador (BA)

Localizado na cidade de Salvador, no estado da Bahia, o acesso pode ser pelas rodovias: BR-324, BR-101, BR-110 e BR-116; e pela FCA. Seus principais produtos são: plástico 69.812t, concentrado de cobre 31.259t, sisal 65.835t, produtos siderúrgicos 72.555t, sucos 16.653t, celulose 94.632t, produtos químicos 71.124t, granito 110.084t, cacau 18.306t, alumínio 13.145t, grafite 12.988t, hidrogenados 11.036t no desembarque e no embarque cevada 21.783t, tubos 8.687t, papel 13.940t, equipamentos 31.038t, concentrado de cobre 66.589t, veículos 2.399t, produtos químicos 63.379t, trigo 278.341t, alimentos 49.164t, tara de contêiner 25.191t. Em sua área de influência estão: o estado da Bahia, o sudoeste e o Sul dos estados de Pernambuco e Sergipe.



Figura 5.3-12: Porto de Salvador

O movimento de cargas no período 2000/2002 cresceu 17% atingindo um total de 2,3 milhões de toneladas. Porém, houve no porto um trânsito de apenas 10 mil toneladas de graneis líquidos em 2000, e em 2002 não houve qualquer transporte desse tipo de carga.

Porto de Maceió (AL)

No estado de Alagoas, o porto de Maceió é o grande escoadouro do estado, tendo movimentado em 2002 mais de 3,5 milhões de toneladas de cargas, com grande destaque para os graneis líquidos que responderam por 49% desse total, no volume de 1,8 milhões de toneladas, um crescimento de 1% em relação ao ano 2000. Dados para o ano de 2004 mostram uma ligeira diminuição das cargas movimentadas, na ordem de 10%, passando a 3,3 milhões de toneladas, os graneis líquidos diminuindo a sua participação (eles representaram nesse ano 31,22%), num volume de 1 milhão de toneladas.



Figura 5.3-13: Porto de Maceió

As principais cargas movimentadas foram, no embarque: açúcar demerara, álcool anidro, petróleo, melado, gasolina, óleo diesel, arroz, máquinas, milho, borracha, petróleo bruto, contêiner, gasolina, dicloroetano e soda cáustica, e no desembarque: adubo, trigo, óleo diesel, milho, farelo de algodão, enxofre e contêineres com farelo de trigo.

O álcool anidro e hidratado tiveram, juntos, no ano de 2004, uma participação de mais de 10% do total da carga, somando mais de 216 mil toneladas, com tendência de aumento. Segundo reportagem da Gazeta Mercantil, houve uma associação dos cinco maiores grupos produtores de álcool do estado objetivando a construção de um moderno terminal no porto de Maceió. Essa medida teria como consequência direta à diminuição dos custos, diminuir a dependência de outros portos e otimizar a exportação do álcool no estado.

Os investimentos no terminal devem oscilar entre cinco e sete milhões de dólares, começando a operar de maneira experimental já em outubro de 2005. O açúcar é o principal item na pauta de exportação de Alagoas, o álcool começando a ser exportado apenas no ano passado.

Com capacidade para armazenar 35 milhões de litros de álcool, o novo terminal também terá atividades voltadas para a importação de derivados do petróleo, além de servir como base para as exportações das indústrias locais.

Uma das principais características do novo terminal é que a estrutura terá capacidade para receber álcoois especiais, que necessitam de uma tecnologia mais sofisticada para armazenamento e transporte. Atualmente, os exportadores de álcool de Alagoas dependem do terminal da Transpetro, que possui uma capacidade de 30 mil m³.

Uma das limitações, além da questão do espaço para armazenagem - pois a estrutura também é utilizada pela Petrobrás (geralmente os tanques nunca estão 100% disponíveis) - é justamente a falta de tecnologia capaz de receber um produto mais delicado como o álcool neutro ou para bebidas. De acordo com o diretor comercial do Grupo João Lyra, Ricardo Moura, esse é um nicho que está se abrindo com grandes possibilidades para os produtores de álcool de Alagoas, que ainda não investiram na fabricação de novos tipos do destilado por falta de uma estrutura adequada para estocagem. "O terminal da Transpetro foi projetado para receber álcool e gasolina e gasolina e não álcoois finos, que é o mercado que queremos entrar. A intenção é fazer com que Alagoas se qualifique e atenda a essa nova demanda de mercado", explica Moura.

Segundo o gerente de comércio externo do Grupo Santo Antonio, Ernesto Maranhão, a economia de frete e custos que será conquistada com a disponibilidade de uma estrutura própria será de 30% a 40%. Segundo o coordenador do terminal aquaviário da Transpetro em Maceió, Paulo Roberto Pimentel, de janeiro a março deste ano foram exportados por meio do terminal 43 mil m³ de álcool. Além do álcool carburante, que é reprocessado no Caribe e enviado para os Estados Unidos, Alagoas começou a exportar no ano passado um produto mais refinado para fins industriais, que tem como principais importadores a Coreia e o Japão. O volume é de aproximadamente 30 mil m³.

O porto localiza-se na área leste da cidade de Maceió (AL), entre as praias de Pajuçara e Jaraguá, e tem em sua área de influência todo o estado de Alagoas.

Porto de Suape (PE)



Figura 5.3-14: Porto de Suape

Principal porto do estado do Recife, Suape é um dos portos que mais movimentam grãos líquidos, com destaque para o álcool. Os dados do SUAPE - Complexo Industrial Portuário Governador Eraldo Gueiros apontam para um movimento total de cargas em 2004 de 3,9 milhões de toneladas, uma diminuição de 8% em relação a 2002. Os grãos líquidos no ano de 2002 representaram cerca 71% do total movimentado. A estrutura de grãos líquidos no porto consiste em:

PGL L-1 (Pier de Granéis Líquidos)

Atende navios de até 45.000 tpb (toneladas de porte bruto). Tem 84m de comprimento e 25m de largura na sua plataforma de operação, com profundidades de 14m tanto no Berço Leste como no Berço Oeste. Dispõe de 4 *dolphins* (berços de atracação) laterais, ficando ligado ao molhe através de uma ponte de acesso, sobre a qual estão assentadas as tubulações destinadas ao transporte de granéis líquidos, com origem ou destino no parque de tancagem localizado no retro porto.



Figura 5.3-15: Porto Suape – PGL L-1

São 10 braços mecânicos para embarque e desembarque de granéis líquidos, sendo 5 em cada berço, com capacidade de 1.000m³/hora/cada. Toda a operação portuária é atualmente realizada pela Petrobrás e por operadores qualificados, vinculados a terminais de gases e álcool.

PGL-2

O segundo Pier de Granéis Líquidos, construído no Porto Externo de Suape, permite a operação de dois navios simultaneamente, com as seguintes características:

- Porte Bruto: 90.000 tpb
- Calado máximo: 14,50 metros
- Comprimento total: 266 metros
- Boca máxima: 39 metros

O PGL-2 foi desenvolvido em eixo ortogonal ao molhe do Porto Externo, contando com ponte rodoviária de acesso, plataforma de operação e *dolphins* de atracação e amarração, com as seguintes características:

- Ponte: 213m de extensão, pista de rolamento com 4,20m e passeio lateral de 1,20m de largura;
- Plataforma: 45m de comprimento e 32m de largura;
- Dolphins: em número de 10, sendo 4 de atracação e 6 de amarração;
- Comprimento total: 386m, incluindo as passarelas entre *dolphins*.

Estrutura da instalação:

Fundação em estacas cilíndricas (219 unidades) de concreto protendido de 0,80 m de diâmetro. Obra orçada em R\$ 9.827.417.



Figura 5.3-16: Suape – Área Portuária

A tancagem flutuante de 41.000 toneladas de GLP (gás de cozinha), implantada a partir de julho de 1993, junto ao Molhe de Abrigo, contribuiu para ampliar a movimentação anual de granéis líquidos de 1,2 milhões de toneladas em 1991 para mais de 3,6 milhões de toneladas em 1998, atendendo, através de transbordo *ship to ship*, o abastecimento de todo o Nordeste/Norte do Brasil, até Manaus.

O porto localiza-se no litoral Sul do estado de Pernambuco, próximo à foz dos rios Tatuoca e Masangana, entre o Cabo de Santo Agostinho e o Pontal do Cupê, distando 40km ao Sul da cidade de Recife, tendo por área de influência o estado de Pernambuco e parte dos estados de Alagoas e da Paraíba e o acesso pode ser feito a partir da rodovia estadual PE-060, que encontra a federal BR-101 no município do Cabo (PE), e da AL-101, na divisa dos estados de Pernambuco e Alagoas, e pelo ramal de 23km da Companhia Ferroviária do Nordeste, malha nordeste, integrado às linhas da antiga Superintendência Regional Recife (SR 1), da Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA).

Porto de Recife (PE)

Localizado na cidade de Recife, com acesso pelas rodovias BR-101, BR-232 e BR-408 e pela ferrovia Companhia Ferroviária do Nordeste. As principais cargas embarcadas são: açúcar, granito e contêiner. Cargas desembarcadas: trigo, adubo, milho, cevada, papel-jornal e contêiner. Em sua área de influência estão os estados

de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, parte de Alagoas, a faixa litorânea de Sergipe, o sudeste do Piauí, o Sul do Ceará e o noroeste da Bahia.



Figura 5.3-17: Porto de Recife

Os dados de 2004 mostram um crescimento de 46% em relação a 2002, o que representa um movimento de cargas da ordem de 2,2Mt em 2004. No entanto, os grãos líquidos representaram não mais de 2% do total movimentado, ou seja, 48.659t.

Porto de Cabedelo (PB)

Localizado na cidade de João Pessoa na Paraíba, o porto tem acesso pela rodovia BR-230 integrada à BR-101 e pela Companhia Ferroviária do Nordeste, tendo em sua área de influência os estados da Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte.

As principais cargas transportadas foram, no embarque: vermiculite, álcool, açúcar, bentonita, cordão de sisal e contêiner, e no desembarque: malte de cevada, *petcoke*, óleo vegetal, milho, algodão, contêiner, bentonita, farelo de algodão e *clínquer*.



Figura 5.3-18: Porto de Cabedelo

A movimentação do porto em 2002 foi de 930.264t, o que significou um aumento de 9% em relação ao ano 2000. Desse total os granéis líquidos representaram cerca de 43%, num total de 404.062t. O álcool é um dos principais produtos movimentados e deve ter sua participação ampliada com o projeto de investimento de 20 milhões de reais para a instalação de sete tanques de armazenagem de álcool. Atualmente, a capacidade de estocagem do produto é de 15 milhões de litros e com a conclusão do projeto esse volume deverá passar a ser de 45 milhões de litros. Em 2005 os tanques estariam operacionais, atendendo à projeção do aumento da demanda do combustível, de 300 milhões de litros.

Porto de Natal (RN)

O porto de Natal é um dos que mais movimentou granéis líquidos no Nordeste do país, num total de 4,3 milhões de toneladas em 2002, o que representou 91% de todo o movimento de cargas no porto. Os granéis líquidos somaram nesse ano 4,7 milhões de toneladas, o que significou uma diminuição de 11% em relação ao ano de 2000.

O Porto tem como principais cargas movimentadas, no embarque: melão, manga, melancia, uva, mamão, abacaxi, açúcar, sal, óleo diesel, gasolina, petróleo cru e tubos AFA, e no desembarque: algodão, caixaria/papelão e contêiner vazio.



Figura 5.3-19: Porto de Natal

O porto está localizado na capital do estado, Natal e tem acesso pelas rodovias BR-101 e BR-226 e pela Companhia Ferroviária do Nordeste. A área de influência do porto inclui todo o estado do Rio Grande do Norte, especialmente os municípios de Mossoró, Pau dos Ferros, Areia Branca, Macau e Ceará-Mirim, além dos estados da Paraíba, Pernambuco e Ceará.

Porto de Areia Branca (RN)

Localiza-se no município de Areia Branca, no Rio Grande do Norte, com acesso pelas rodovias RN-012, RN-013 e BR-304. Em sua área de influência está todo o sal movimentado no porto-ilha oriundo das salinas do Rio Grande do Norte, principalmente as de Macau, Mossoró e Areia Branca.

O porto tem como objetivo o embarque de sal. Movimentou em 2002 um total de 4,4 milhões de toneladas.



Figura 5.3-20: Porto de Areia Branca

Porto de Fortaleza (CE)

Localizado na capital do estado do Ceará o porto de Fortaleza tem um grande afluxo de granéis líquidos, pelos dados de 2002, desembarcou no porto 1,6 milhão de toneladas desse tipo de carga, o que representa 94% de toda a movimentação de granéis líquidos.



Figura 5.3-21: Porto de Fortaleza

As principais cargas movimentadas, no embarque, foram: gasóleo, gasolina comum, petróleo cru, lubrificante, tubos de aço, farinha de trigo e sal; e no desembarque, foram: trigo, milho, coque de petróleo, farelo de soja, óleo diesel, petróleo cru, querosene de aviação, óleo combustível, algodão em pluma, arroz, bobina de aço, farinha de trigo, bobina de papel e chapas de aço.

Nesse ano o porto movimentou um total de pouco menos de quatro milhões de toneladas de cargas, uma variação de 10% em relação ao ano de 2000.

O porto tem acesso pelas rodovias CE-060, CE-0665, BR-020 e BR-116, e também pelo ramal da Companhia Ferroviária do Nordeste. Sua área de influência abrange todo o estado do Ceará, além do oeste do Rio Grande do Norte.

Porto de Pecém (CE)

O porto foi inaugurado em março de 2002, tendo funcionado de maneira experimental desde novembro de 2001, movimentando nesse período cerca 49 mil toneladas de cargas.

A construção do porto custou R\$ 396 milhões, dos quais R\$ 360 milhões do Governo Federal e o restante (36 milhões) do Governo do Estado do Ceará.

Localizado no município de São Gonçalo do Amarante, o porto de Pecém foi concebido para ser um complexo industrial e portuário integrado que vai possibilitar operações eficientes e tarifas competitivas.

O complexo possui além da área industrial (com previsão de instalação de siderúrgica, petroquímica, termelétrica e tanques de armazenamento), acessos rodoviários e ferroviários livres, independentes de confinamentos provocados por centros urbanos.

A localização do tipo *off shore* (afastado da praia) facilita sua ampliação, o escoamento de cargas e possibilita que o cais tenha profundidade em torno de 15m, permitindo a atracação de navios de grande porte. O Porto possui extensão de 350m com dois berços (lado interno e externo) com largura da plataforma de operações de 45m.



Figura 5.3-22: Porto de Pecém

O lado interno (sudoeste) servirá para desembarque de insumos siderúrgicos (finos de minério de ferro, gusa e sucata) em navios "Panamax" de até 65 mil toneladas.

O lado externo (nordeste) será utilizado para manuseio de produtos siderúrgicos e cargas containerizadas e paletizadas em navios do tipo *Cape Size* de até 125 mil toneladas. O acesso ao píer é feito através de ponte pavimentada com largura de 7,20m que permite a passagem de veículos de carga de até 45 toneladas.

O porto é atualmente alvo de diversos investimentos. Somente o BNDES investirá mais de R\$150 milhões para ampliação do porto, e está prevista a instalação do Terminal Marítimo do Pecém, a 50km de Fortaleza. Esta unidade terá como objetivo facilitar o escoamento da produção de derivados de petróleo, gás liquefeito de petróleo (GLP) e álcool para a Petrobras Distribuidora e demais empresas do setor, que deverão transferir suas atividades operacionais para o Complexo Industrial e Portuário de Pecém.

O terminal ocupará um terreno de 100ha, a 10km do píer de granéis líquidos do Porto do Pecém. A área foi cedida pelo governo do Ceará, que já construiu braços de carregamento nos píeres e tubovias que farão a ligação com o terminal, permitindo maior segurança e rapidez na distribuição dos produtos.

Os investimentos da companhia no terminal, que será operado pela Transpetro, e na base de distribuição da Petrobras Distribuidora serão de US\$ 51 milhões. Com isso, a capacidade total de estocagem será de 110 mil metros cúbicos de derivados, álcool e biodiesel e de 9.600 metros cúbicos de gás liquefeito de petróleo (GLP).

O acesso ao porto pode ser feito através das rodovias: BR-222, BR-116 e CE-422, bem como pela Companhia Ferroviária do Nordeste-CFN.

Porto de Itaqui (MA)

O porto é o segundo do país em volume de cargas, tendo movimentado em 2002 um total de 65 milhões de toneladas, o que representa um aumento de 11% em relação ao ano de 2000.

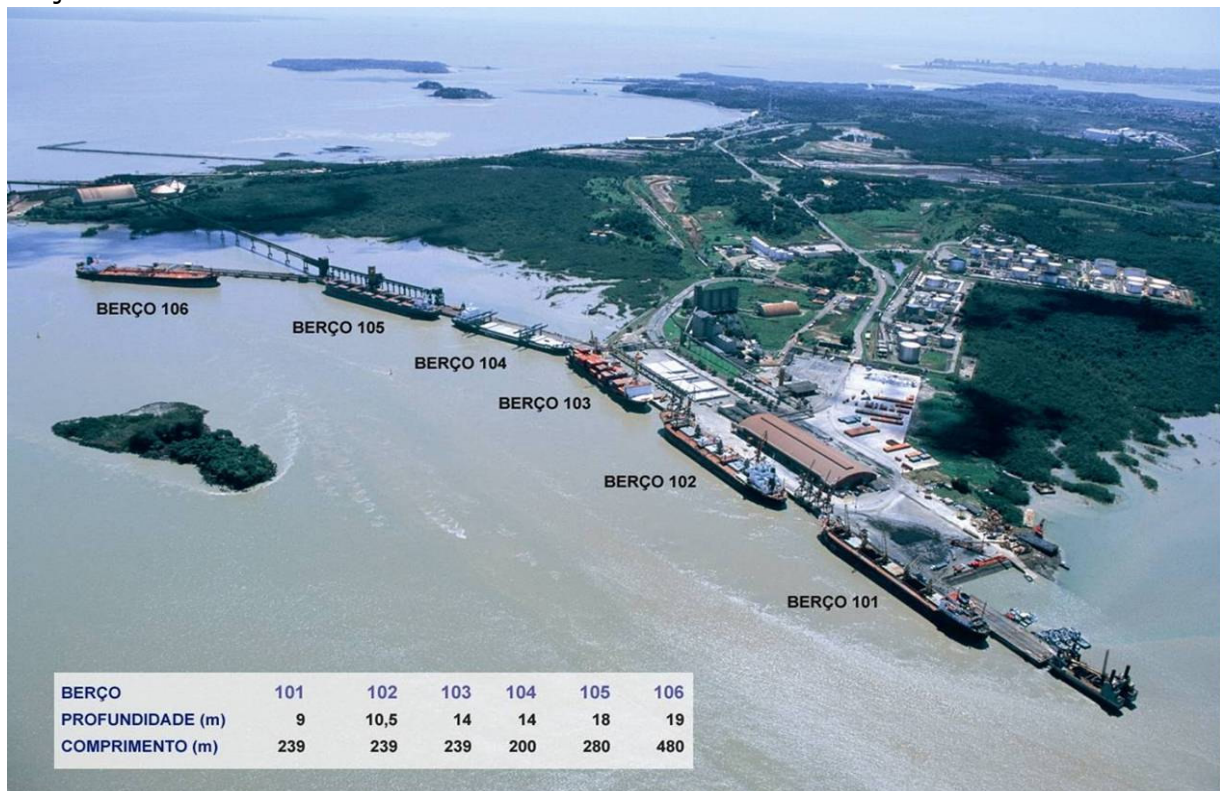


Figura 5.3-23: Porto de Itaqui

Os granéis líquidos representaram 8% do volume total, ou 5,4 milhões de toneladas. Os principais produtos movimentados no porto foram minério de ferro, minério de manganês, ferro gusa, soja, criolita, silício, derivados de petróleo, alumínio e alumina no embarque, e derivados de petróleo, fertilizantes, trigo, carvão/coque e piche no desembarque.

Há projetos para a ampliação da logística e da infra-estrutura em relação ao álcool, impulsionado pelas previsões do aumento da produção do produto no estado. Segundo notícia publicada no Valor Econômico e transcrita no sítio do Grupo

Coimex, existe um plano de investimentos na ordem de 150 milhões de reais para a infra-estrutura portuária, recursos que viriam da União e do estado do Maranhão. Esse investimento faria parte do plano de ação que prevê a instalação de até 20 usinas no estado, demandando do porto uma adequação ao transporte do álcool.

O porto localiza-se no município de São Luis no estado do Maranhão, com acesso por rodovias, ferrovias e hidrovias, respectivamente: BR-135; ramal ferroviário Piçarra – Itaqui; e pelos rios Mearim, Pindaré e Grajaú. Sua área de influência abrange os estados do Maranhão e Tocantins, Sudoeste do Pará, Norte de Goiás e Nordeste de Mato Grosso.

Um grande investimento vem sendo aplicado na infra-estrutura do porto, na ampliação de três berços do porto, e também em instalações industriais:

- Berço 101 - Cargas: geral e granel líquido. Investimento a realizar R\$ 21,5 milhões.
- Berço 105-TGS – Cargas: Minério de ferro e ferro gusa. Investimento de R\$ 50 milhões de reais.
- Berço 105-TGS – Carga: Granéis Sólidos. Investimento previsto de R\$12 milhões
- Berço 104 – Carga: Derivados de petróleo. Foi realizado investimento de R\$ 8,4 milhões, e estão previstos mais R\$ 6 milhões.
- Berço 104 – Carga: Geral e derivados de petróleo. Investimentos de R\$ 10 milhões.
- Instalações Industriais - Projeto de extração de óleo de soja. Investimento realizado de R\$ 25 milhões e R\$35 milhões previstos.

Porto de Belém (PA)

Localizado em Belém do Pará, no estado do Pará, o porto movimentou em 2002 um total de 13,3 milhões de toneladas de cargas, sendo que desse total 11% foram de granéis líquidos, num montante de 1,4 milhões.

As principais cargas movimentadas pelo porto são gêneros alimentícios, hortifrutigranjeiros, gasolina, querosene de avião, óleo diesel, álcool hidratado, soda cáustica, bauxita, óxido de cálcio, veículos e celulose no embarque, e trigo, toras de madeira, cevada, juta, bobinas de papel, cimento, peças de máquinas, querosene de avião, óleo Diesel, enxofre, soda cáustica e óxido de cálcio no desembarque.



Figura 5.3-24: Porto de Belém

O porto tem acesso pelas rodovias BR-010, BR-316 e pela baía de Marajó.

Porto de Vila Conde (PA)

O porto tem como principais cargas transportadas alumina, caulim e óleo combustível, no embarque, e coque, piche, soda cáustica, fluoreto de alumínio, tijolo refratário e blocos catódicos no desembarque. Está localizado no município de Barcarena no estado do Pará, e sua área de influência é representada pelos municípios de Barcarena, onde estão localizadas as indústrias Albras e Alunorte, razão de ser do porto, de Oriximiná e Paragominas, também no Pará.



Figura 5.3-25: Porto de Vila Conde

As cargas movimentadas pelo porto no embarque e desembarque, são respectivamente: alumina, caulim e óleo combustível e coque, piche, soda cáustica, fluoreto de alumínio, tijolo refratário e blocos catódicos.

Em 2002 o porto movimentou 8 milhões de toneladas, uma diminuição de 3% em relação a 2000. Desse total 19% foi de granéis líquidos, 1,5 milhão de toneladas, que tiveram uma diminuição de 21% em relação a 2000.

Porto de Macapá (AP)

Em 2002 o porto movimentou cerca de 476 mil toneladas de cargas, o que representa apenas 59% do volume movimentado em 2000. Os graneis líquidos são pouco importantes entre as cargas, representando 7% do total.

As principais cargas movimentadas foram a casca de pinus e adubos, no embarque e no desembarque respectivamente.



Figura 5.3-26: Porto de Macapá

A área de influencia do porto compreende o estado do Amapá e os municípios paraenses de Afuá e Chaves, situados na foz do rio Amazonas, a noroeste da ilha de Marajó.

O porto está localizado na capital do estado do Amapá, Macapá tem acesso pelas rodovias AP-010 e BR-210 que distam 20km do município. O acesso é possível também através do rio Amazonas.

A tabela 5.3-2 apresenta a relação de graneis líquidos no país, dos principais portos, por estado da Federação, para o ano de 2002.

Por sua vez, a tabela 5.3-3, faz uma comparação da movimentação dos graneis líquidos, em 2002.

Tabela 5.3-2: Relação de importação e exportação de graneis líquidos em relação ao movimento total para o ano de 2002.

Principais portos por estado	Granel Líquido/Embarque (t)	Granel Líquido/Desembarque (t)	Movimentação Total de Graneis Líquidos (t)	% de Embarque	% de Desembarque
Rio Grande	1.386.286	2.141.272	3.527.558	39%	61%
Pelotas	0	0	0		
Porto Alegre	935.562	8.044.818	8.980.380	10%	90%
Imbituba	0	67.577	67.577	0%	100%
Itajaí	0	95.115	95.115	0%	100%
S Francisco do Sul	350.539	9.629.621	9.980.160	4%	96%
Paranágua	3.316.022	659.574	3.975.596	83%	17%
Santos	7.494.755	3.840.594	11.335.349	66%	34%
São Sebastião	6.974.439	45.427.037	52.401.476	13%	87%
Sepetiba	0	0	0		
Rio de Janeiro	3.797.669	4.245.710	8.043.379	47%	53%
Niterói	0	0	0		
Forno	0	0	0		
Vitória	1.375.795	844.269	2.220.064	62%	38%
Barra do Riacho	19.651	0	19.651	100%	0%
Ilhéus	0	0	0		
Aratu	7.239.159	11.489.148	18.728.307	39%	61%
Salvador	0	0	0		
Maceió	1.477.500	296.568	1.774.068	83%	17%
Suaape	496.973	2.489.695	2.986.668	17%	83%
Recife	9.207	16.580	25.787	36%	64%
Cabedelo	52.986	351.076	404.062	13%	87%
Natal	4.188.051	146.974	4.335.025	97%	3%
Areia Branca	0	0	0		
Fortaleza	95.773	1.644.409	1.740.182	6%	94%
Itaqui	1.612.894	3.757.812	5.370.706	30%	70%
Belém	224.031	1.194.533	1.418.564	16%	84%
Vila do Conde	362.125	1.117.832	1.479.957	24%	76%
Macapá	0	34.393	34.393	0%	100%
Total	41.409.417	97.534.607	138.944.024	30%	70%

Tabela 5.3-3: Tabela comparativa das movimentações de cargas nos anos 2000 e 2002 – em toneladas e percentual.

Relação dos Principais Portos por Estado	Movimentação Cargas (2000) (t)	Movimentação Cargas (2002) (t)	Variação Bianual Movimento Total de Cargas	Total Movimentado Granéis Líquidos (2000)	Total Movimentado Granéis Líquidos (2002)	Variação Bianual Granéis Líquidos	Participação dos Granéis Líquidos no Total Movimentado (2002)
RS							
Rio Grande	13.872.474	16.753.962	21%	3.737.237	3.527.558	-6%	21%
SC							
Imbituba	1.156.047	968.005	-16%	70.380	67.577	-4%	7%
Itajaí	2.235.617	3.801.670	70%	72.501	95.115	31%	3%
S Francisco do Sul	14.404.543	15.023.855	4%	9.930.818	9.980.160	0%	66%
PR							
Paranáguá	21.107.518	27.859.879	32%	3.619.776	3.975.596	10%	14%
SP							
Santos	43.084.383	53.474.268	24%	10.663.778	11.335.349	6%	21%
São Sebastião	45.695.189	52.774.256	15%	45.227.165	52.401.476	16%	99%
RJ							
Sepetiba	39.830.861	42.805.354	7%	-	-		0%
Rio de Janeiro	13.638.719	13.394.362	-2%	8.942.182	8.043.379	-10%	60%
Niterói	142.944	173.230	21%	-	-		0%
Forno	530.935	519.947	-2%	-	-		0%
ES							
Vitória	109.875.031	120.370.507	10%	1.951.637	2.220.064	14%	2%
Barra do Riacho	2.204.807	2.416.948	10%	5.001	19.651	293%	1%
BA							
Ilhéus	748.791	651.822	-13%	-	-		0%
Arutu	18.943.990	21.045.670	11%	16.397.416	18.728.307	14%	89%
Salvador	1.992.246	2.334.992	17%	10.054	-	-100%	0%
AL							
Maceió	3.009.125	3.655.710	21%	1.748.951	1.774.068	1%	49%
PE							
Suape	3.900.147	4.226.363	8%	3.252.952	2.986.668	-8%	71%
Recife	2.356.223	1.529.506	-35%	186.836	25.787	-86%	2%
PB							
Cabedelo	854.248	930.264	9%	345.247	404.062	17%	43%
RN							
Natal	5.323.432	4.756.313	-11%	4.998.591	4.335.025	-13%	91%
Areia Branca	4.928.895	4.434.356	-10%	-	-		0%
CE							
Fortaleza	3.632.385	3.999.506	10%	1.593.743	1.740.182	9%	44%
MA							
Itaqui	58.551.672	64.941.689	11%	4.939.655	5.370.706	9%	8%
PA							
Belém	13.955.945	13.318.857	-5%	1.343.180	1.418.564	6%	11%
Vila do Conde	8.161.792	7.946.354	-3%	1.878.923	1.479.957	-21%	19%
AP							
Macapá	812.253	476.118	-41%	47.358	34.393	-27%	7%

Fonte: Ministério dos Transportes (2005)

5.3.2. Principais Hidrovias e Rios

Principais Hidrovias¹¹

Hidrovia do Madeira - (Corredor Oeste-Norte)

O rio Madeira é navegável numa extensão de 1.056 km, entre Porto Velho e sua foz, no rio Amazonas, permitindo, mesmo na época de estiagem, a navegação de grandes comboios, com até 18.000t. Os investimentos na hidrovia compreendem dragagens, derrocamentos, balizamento e sinalização. Atualmente, cerca de dois milhões de toneladas anos de cargas já são transportados pelo rio Madeira.

Tabela 5.3-4: Rios Compreendidos na Bacia Amazônica

PRINCIPAIS RIOS NAVEGÁVEIS	Extensão Total (km)	Extensão Navegável (km)	Profundidade Mínima (m)	Carga Principal
RIO ACRE	1.190	200	0,8	Carga geral, derivados de petróleo
RIO AMAZONAS	1.488	1.488	8,5	Carga geral
RIO BRANCO	800	594	9	Granéis líquidos, carga geral
RIO ENVIRA	810	810	1,2	NÃO DISPONÍVEL
RIO GUAMÁ	400	160	NÃO DISPONÍVEL	Seixo e brita
RIO GUAPORÉ	1.364	1.180	0,9	Carga geral
RIO IÇA	1.813	275	0,8	Carga geral
RIO JAPURÁ	2.100	721	1,5	Carga geral
RIO JARI	NÃO DISPONÍVEL	110	2,5	Caulim, casca de madeira
RIO JAVARÍ	1.550	400	0,8	Carga geral, couros de animais
RIO JURUÁ	3.350	3.120	0,5	NÃO DISPONÍVEL
RIO MADEIRA	1.450	1.060	2,1	Carga geral, combustível
RIO MAMORÉ	638	440	0,75	Carga Geral
RIO MOJU	800	NÃO	NÃO DISPONÍVEL	Madeira em toras
RIO NEGRO	1.700	1.070	2,4	Combustível
RIO PURUS	3590	2.840	1,2	Carga geral, granéis líquidos
RIO SOLIMÕES	1.620	1.620	4,5	Carga geral
RIO TAPAJÓS	796	290	1,8	Madeira, granéis líquidos (inflamáveis)
RIO TARAUCÁ	NÃO DISPONÍVEL	570	1,2	NÃO DISPONÍVEL
RIO TELES PIRES	796	290	1,8	Madeira, granéis líquidos (inflamáveis)
RIO TOCANTINS	2.400	712	2	Veículos, cimento, aço, peças, carga geral
RIO TROMBETAS	800	260	2,1	Bauxita, carga geral
RIO XINGU	1.815	220	1,4	Combustível, carga geral
BACIA AMAZÔNICA	31.270	18430	2,3	Carga geral, derivados de petróleo, granéis líquidos, seixo, brita, caulim, casca de madeira, couro de animais, combustíveis, madeiras em toras, veículos, cimento, aço, peça, bauxita

¹¹ Algumas diferenças entre os dados das tabelas e a descrição da hidrovia devem-se a discrepâncias das fontes. As primeiras foram elaboradas a partir de dados do Ministério dos Transportes, e a segunda foi obtida junto ao DNIT, Departamento Nacional de Infra-estrutura do Transporte.

Hidrovia do Guamá-Capim (Corredor Araguaia-Tocantins)

A hidrovia Guamá-Capim é um importante corredor de transporte de minérios provenientes, na sua maioria, das ricas jazidas de caulim e de bauxita. Hoje, observa-se a formação de relevantes pólos agropecuários, especialmente na região de Paragominas.

Tabela 5.3-5: Rios Compreendidos na Bacia do Tocantins e Araguaia

PRINCIPAIS RIOS NAVEGÁVEIS	Extensão Total (km)	Extensão Navegável (km)	Profundidade Mínima (m)	Carga Principal
RIO ARAGUAIA	2.115	1.818	1	NÃO DISPONÍVEL
RIO TOCANTINS	2.400	712	1,6	Veículos, cimento, aço, peças, carga geral
BACIA DO TOCANTINS ARAGUAIA	4.515	2.530	1,3	Veículos, cimento, aço, peças, carga geral

A área de influência da hidrovia abrange vários municípios, destacando-se Paragominas, São Domingos do Capim e São Miguel do Guamá. A hidrovia está sinalizada e dragada, com expectativa de movimentar 2 milhões de toneladas anuais.

Hidrovia do São Francisco (Corredor São Francisco)

O rio São Francisco é totalmente navegável em 1.371 km, entre Pirapora (MG) e Juazeiro (BA)/Petrolina (PE), para a profundidade de projeto de 1,5 m, quando da ocorrência do período crítico de estiagem (agosto a novembro). Sem saída para o Atlântico, o rio São Francisco tem seu aproveitamento integrado ao sistema rodoviário da região.

Tabela 5.3-6: Rios Compreendidos na Bacia do Rio São Francisco

PRINCIPAIS RIOS NAVEGÁVEIS	Extensão Total (km)	Extensão Navegável (km)	Profundidade Mínima (m)	Carga Principal
RIO CORRENTE	162	95	1,8	Animais, trigo, soja, algodão, farinha, sal, cimento, produtos cerâmicos
RIO GRANDE	1.300	59	1	NÃO DISPONÍVEL
RIO SÃO FRANCISCO	2.800	2363	1	Gipsita
BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO	4262	2517	1,3	Gipsita, animais, trigo, soja, algodão, farinha, sal, cimento, produtos cerâmicos

A partir da implantação do sistema multimodal, o escoamento da produção agrícola do oeste da Bahia, com foco na cidade de Barreiras, banhada por um dos seus principais afluentes, o rio Grande, é realizado por rodovia até a cidade de Ibotirama

na margem do São Francisco, descendo o rio pelo transporte hidroviário até Juazeiro/Petrolina, e deste, por ferrovia, para o Porto de Aratú (BA). No quilômetro 42 acima de Juazeiro/Petrolina, situa-se a barragem de Sobradinho, cuja transposição é realizada através de eclusa. A movimentação anual fica em torno de 60.000 toneladas anuais.

Hidrovia Tietê-Paraná (Corredores Transmetropolitano do Mercosul e do Sudoeste)

A hidrovia Tietê-Paraná permite a navegação numa extensão de 1.100 km entre Conchas no rio Tietê (SP) e São Simão (GO), no rio Paranaíba, até Itaipú, atingindo 2.400 km de via navegável.

Tabela 5.3-7: Rios Compreendidos na Bacia Tietê-Paraná

PRINCIPAIS RIOS NAVEGÁVEIS	Extensão Total (km)	Extensão Navegável (km)	Profundidade Mínima (m)	Carga Principal
RIO GRANDE	1.300	59	1	NÃO DISPONÍVEL
RIO PARANÁ	1300	657	2	Soja, farelo e animais
RIO PARANAPANEMA	929	630	1	NÃO DISPONÍVEL
RIO IVAÍ	560	220	2	NÃO DISPONÍVEL
RIO PARANAÍBA	1070	353	1	Soja e Milho
RIO TIETÊ	1010	573	3	Soja, álcool, calcário, milho, adubo, cana, areia
BACIA TIETÊ-PARANÁ	6.169	2492	1,7	Soja, álcool, calcário, milho, adubo, cana, areia, farelo e animais

A hidrovia Tietê-Paraná movimenta mais de um milhão de toneladas de grãos/ano, a uma distância média de 700 km. Se computarmos as cargas de pequena distância como areia, cascalho e cana-de-açúcar, a movimentação no rio Tietê aproxima-se de 2 milhões de toneladas.

Hidrovia do Paraguai (Corredor do Sudoeste)

Essa hidrovia compõe um sistema de transporte fluvial de utilização tradicional que conecta o interior da América do Sul com os portos de águas profundas no curso inferior do rio Paraná e no rio da Prata. Com 3.442 km de extensão, desde Cáceres até o seu final, no estuário do rio da Prata, proporciona acesso e serve como artéria de transporte para grandes áreas no interior do continente. As principais cargas transportadas no trecho brasileiro são: minério de ferro, minério de manganês e soja. Os fluxos de carga na hidrovia vêm crescendo nos últimos anos, respondendo, justamente, à expectativa de interação comercial na região.

No território brasileiro, a hidrovia percorre 1.278 km e tem como principais portos: Cáceres, Corumbá e Ladário, além de três terminais privados com expressiva movimentação de carga. Entre 1998 e 2000 foram movimentadas mais de 6 milhões de toneladas de cargas apenas no trecho brasileiro. O referido trecho da

hidrovia Paraguai/Paraná pode ser dividido em dois segmentos, devido às peculiaridades de calado e formação dos comboios que trafegam na via. No trecho de Cáceres a Corumbá, os comboios, com formação 2x3, trafegam compostos por chatas de 45 m de comprimento e 12 m de largura, com calado assegurado de 1,5 m e que podem transportar até 400 toneladas de carga. Em cerca de 3 meses ao ano, a navegação no trecho sofre limitações, e os comboios têm de operar com menos carga ou, em estiagens rigorosas, deixar de navegar, principalmente, nos 150 km próximos à cidade de Cáceres.

Outro trecho é o que se estende de Corumbá até a foz do rio Apa, onde trafegam comboios com formação 4x4, compostos por chatas de 60 m de comprimento e 12 m de largura, com calado assegurado de 2,6 m, capazes de transportar 20.000 a 25.000 toneladas de cargas.

Fazem parte das Hidrovias do Sul as Lagoas dos Patos e Mirim, o canal de São Gonçalo que liga o rio Jacuí a seu afluente, Taquari, e uma série de rios menores como Caí, Sinos e Gravataí, que constituem o estuário do Guaíba. O rio Jacuí foi canalizado com a construção das barragens eclusadas, compreendendo uma extensão de 300 km, para calado de 2,5 m.

No rio Taquari foi implantada a barragem eclusada de Bom Retiro do Sul, que vence um desnível máximo de 12,50 m, dando acesso ao Porto Fluvial de Estrela, para embarcações de 2,5 m de calado. As embarcações que freqüentam esta hidrovia são automotoras com capacidade de 3 mil toneladas. No porto de Estrela o movimento chega a 650 mil t/ano. No passado, movimentou 1 milhão de toneladas/ano.

Na Lagoa dos Patos a navegação é realizada por embarcações fluviomarítimas de até 5,10 m de calado, numa extensão de 250 km entre Rio Grande e Porto Alegre.

Tabela 5.3-8: Rios Compreendidos na Bacia do Paraguai

PRINCIPAIS RIOS NAVEGÁVEIS	Extensão Total (km)	Extensão Navegável (km)	Profundidade Mínima (m)	Carga Principal
RIO PARAGUAI	1.620	1.320	1,5	Minério de ferro, manganês e soja
RIO PARANÁ	1300	657	2,1	Soja, farelo e animais
BACIA DO PARAGUAI	2.920	1.977	1,8	Soja, farelo, animais, minério de ferro, mangânes e soja

Hidrovias em projeto

A Diretoria de Infra-Estrutura Aquaviária vem adotando medidas de implantação das hidrovias do Tocantins-Araguaia e do Tapajós. Ambas importantes para a viabilização da produção agrícola da região Centro-Oeste, que será encaminhada aos portos do Norte do país visando a redução de custos.

5.3.3. Terminais Portuários

Segundo a Lei nº 10.893, de 13.07.2004, o porto é o atracadouro, o local onde os navios podem ancorar com segurança. O terminal seria o fundeadouro, local donde ocorre o carregamento e descarregamento de cargas. Assim um terminal portuário consiste numa instalação estratégica com alguns atributos de porto (tal como um sistema de estocagem e de carregamento do navio), porém com uma estrutura mais flexível e específica para determinados tipos de cargas.

Alguns terminais são construídos ou montados visando apenas um produto ou a atender a uma empresa, outros são mais complexos atendendo uma gama maior de cargas. Os terminais também funcionam como forma de transposição de mercadorias de um sistema viário para outro, por exemplo, a transposição de cargas oriundas de ferrovias ou rodovias para as embarcações, ou mesmo a transferência de cargas entre navios. Em geral os terminais podem estar instalados em vias fluviais, fazendo a ligação entre sistemas internos de transporte e os portos marítimos, podem funcionar também junto aos portos marítimos, armazenando as cargas antes do embarque, e podem estar situados também em alto-mar.

Os terminais têm recebido grandes investimentos nos últimos anos, exemplo disso é o Terminal Químico de Aratu S.A – Tequimar, que receberá 45,3 milhões de reais do BNDES destinados para a construção de dois parques de tanques para armazenamento. A recepção e expedição terá capacidade para 33.500 metros cúbicos de produtos químicos líquidos a granel, no porto de Santos, em São Paulo.

O terminal também prestará serviço a dois grandes clientes da Tequimar – Comércio e Ind. Brasileiras Coinbra S.A. e Cargill S.A. – na movimentação até o píer de álcool e óleos vegetais para exportação. Outro exemplo do crescimento dos investimentos é do Terminal Emraport, que em 2004 foi um dos maiores exportadores de álcool do Brasil, que prioriza a modernização das instalações com vista no aumento eficiência bem como da capacidade de estocagem.

Em nota o Instituto de Economia Agrícola reforça a importância em aperfeiçoar a logística, bem como o aumento da infra-estrutura para responder à crescente demanda por álcool.

A figura 5.3-27 apresenta uma vista panorâmica com parte da estrutura dos diversos terminais localizados em Santos e o acesso ao porto de Alemoa.



Figura 5.3-27: Vista panorâmica dos terminais em Santos.

Um dos terminais que mais tem investido nesses últimos anos é o da Stolthaven, em Santos, o qual movimentou 700 mil toneladas de granéis líquidos em 2004, 20% da movimentação desse tipo de carga, com tendência para a manutenção desse total em 2005. Segundo informações da diretoria e gerência de Marketing, foram investidos 5 milhões de reais nos últimos cinco anos apenas na área da segurança e controladores (figura 5.3-28). Mais de vinte milhões de reais estão sendo investidos na construção de seis tanques dedicados à estocagem de álcool e mais um desvio férreo de 1500m.



Figura 5.3-28: Controlador de Terminal

A figura 5.3-29 mostra a chegada do caminhão de álcool no terminal para conferir o peso.



Figura 5.3-29: Posto de pesagem de caminhão tanque.

A transferência do combustível do caminhão para os tanques de estocagem é realizada a partir de bombas localizadas nos pontos de transferência (figura 5.3-30)



Figura 5.3-30: Ponto de transferência de combustível dos caminhões para os tanques

Em seguida, o álcool aguarda embarque nos tanques de estocagem (figura 5.3-30).



Figura 5.3-31: Terminal Santos (tanques para estocagem de granéis líquidos)

O terminal conta com 72 tanques somando uma capacidade de armazenamento de 72 mil m³ que estão diretamente ligados ao píer localizado na Alemoa. Quando somados os investimentos previstos a capacidade pula para 104 mil metros cúbicos, um aumento de mais de 40% na capacidade total de armazenamento do terminal¹².

¹² Terminais de líquidos de Santos respondem por 40% do total movimentado no Brasil.

5.4. Conclusão

Ainda que o Estado venha se preocupando mais recentemente com a infraestrutura de transporte, o atraso acumulado no país nestes dois últimos decênios é considerável. No transporte de álcool, observou-se um recuo da modalidade ferroviária e por duto em benefício do transporte rodoviário, que hoje é praticamente hegemônico.

Há uma quase ausência de infra-estrutura de transportes nas regiões mais distantes para a qual deverá se expandir a nova oferta de álcool no país. De forma que a maior deficiência no sistema de transporte se encontra no escoamento do interior até o litoral.

A rede ferroviária está se expandindo em função de importantes financiamentos concedidos pelo Governo Federal, através principalmente do BNDES. Existem importantes projetos de ampliação da malha ferroviária para a região N-NE e C-S. No entanto, o investimento necessário para ampliação da rede ferroviária é muito elevado. De maneira que para levar o álcool das regiões produtoras aos terminais marítimos, o transporte por dutos se constitui na opção mais atrativa.

A infra-estrutura de terminais marítimos é bastante ampla. Existem ao longo do litoral brasileiro um conjunto variado de portos com grande potencial para a exportação de álcool. A Petrobras é a empresa que detém o quase monopólio da rede de dutos e do sistema de terminais marítimos para combustíveis líquidos. Esse sistema pode ser usado para transportar álcool. De forma que a Petrobras tem se interessado em escoar a produção de álcool destinada à exportação e vem realizando investimentos para ampliar a capacidade de exportação de seus terminais. No entanto, existem também empresas, pertencentes ao setor privado, que estão interessadas em investir na ampliação da capacidade de armazenamento de álcool e em terminais de exportação.

Referências bibliográficas

Agência Nacional de Transportes (ANTT)

Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social, BNDES, (2005) **Reunião técnica** com as áreas de Planejamento, Infra-Estrutura, Área Industrial, Departamento de Agro-Indústria, Departamento de Gás, Petróleo, Cogeração e Outras Fontes de energia, Departamento de Meio Ambiente, junho, Rio de Janeiro

----- (2004)
"Álcool: Potencial Gerador de Divisas e Empregos" – Seminário. Agosto 25 e 26, Rio de Janeiro

BR Distribuidora S.A. (2005) – Reunião técnica com a Gerência de Suprimento e Gerência de Aquisição de Álcool. Rio de Janeiro, junho.

Câmara Brasileira de Transporte Ferroviário (CBTF), 2005.

Centro de Tecnologia Canavieira, CTC (2005) – Reunião técnica com Especialistas e Pesquisadores em Tecnologia Agrícola, Piracicaba.

----- (2005) – *Avaliação de Áreas com Potencial para Produção de cana-de-açúcar no Brasil* – Relatório Técnico de Transferência de Tecnologia, Revisão 1, 14p.

Coimex Trading Company (2005) – Informações fornecidas mediante consulta pessoal.

Confederação Nacional do Transporte (CNT), 2005.

Datagro Consultoria (2005) – *V Conferência Internacional da Datagro sobre Açúcar e Álcool*, São Paulo.

Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes (GEIPOT) (2001) – Ministério dos Transportes.

Grupo SGS do Brasil – Inspeções; Testes; Certificações (2005) Reunião técnica. Alemoa, Santos.

Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento, LAPIG (2005) Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (2005). Brasília.

Ministério dos Transportes (2005). Brasília.

Transpetro – Petrobras Transporte S.A. (2005) Reuniões técnicas com a Gerencia Comercial de Dutos e Terminais, Rio de Janeiro.

Petrobrás – Petróleo Brasileiro S.A. (2005) – Reuniões técnicas com a área de Abastecimento-Marketing e Comercialização de Produtos Claros, Rio de Janeiro, São Paulo e Campinas.

Política nacional de Desenvolvimento Regional (2005) – Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional – Secretaria de Programas Regionais, **Ministério da Integração Nacional.** Brasília, agosto.

Produção Agrícola Municipal – Culturas Temporárias e Permanentes (2003)
Volume 30 – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2004. Rio de Janeiro.

Stolthaven Santos Ltda. (2005) – Reunião técnica. Santos.

Sites visitados:

Fonte: <http://www.portos.doparana.com.br/historia/portoparanagua.htm>,
último acesso em: 16/12/2005

Fonte: <http://www.ift.unesp.br/users/tomio/fb18/porto.jpg>,
último acesso em: 16/12/2005

Fonte: http://www.paranaonline.com.br/imagens/imagens/2005/julho/16_07_05/porto160705.jpg, último acesso em: 16/12/2005

Fonte: <http://www.netcomex.com.br/conteudo.php?cod=1169>, último acesso em: 16/12/2005

Fonte: <http://www.transportes.gov.br/bit/PORTOS/ssebastiao/posseb02.jpg>,
último acesso em: 16/12/2005

Fonte: <http://www.comint.com.br/images/logistica/baciaevolucao3.jpg>, último acesso em: 18/12/2005

Fonte: http://www.vitruvius.com.br/minhacidade/mc058/mc058_01.jpg, último acesso em: 18/12/2005

Fonte: <http://www.iaa.com.br/guias/portos.asp>, último acesso em: 18/12/2005

Fonte: <http://www.vitoria.es.gov.br/images/riacho0.jpg>, último acesso em: 18/12/2005

Fonte: http://www.codeba.com.br/noticias.php?cod_noticia=98&link_noticia=in, último acesso em: 18/12/2005

Fonte: http://www.codeba.com.br/postais_form.php?num_postal=04, último acesso em: 18/12/2005

Fonte: http://www.icomos.org.br/patrimonio_brasileiro/salvador/9.jpg, último acesso em: 18/12/2005

Fonte: <http://www.windrose.com.br/l1.htm>, último acesso em: 18/12/2005

Fonte: http://www.pe.gov.br/images/acoes/acao1_suape.jpg, último acesso em: 18/12/2005

Fonte: <http://www.windrose.com.br/l1.htm>, último acesso em 17/12/2005

Fonte: <http://www.docas.pb.gov.br/fotos/porto6.jpg>, último acesso em: 18/12/2005

Fonte: <http://www.agcabobranco.com.br/Foto2.jpg>, último acesso em: 18/12/2005

Fonte: http://www.cdp.com.br/galeria_fotos.aspx, último acesso em: 18/12/2005

Fonte: http://www.cdp.com.br/images/galeria/porto_vila_conde4.jpg, último acesso em: 18/12/2005

Fonte: <http://64.233.161.104/search?q=cache:ILPFz4s4QnAJ:paraiba.pb.gov.br/noticias/novonoticia.jsp%3Fcanal%3D28%26noticia%3D10480+porto+cabedelo+alcool&hl=pt-BR>, último acesso em: 18/12/2005

Fonte: Avanços E Entraves Na Logística De Exportação Do Álcool, disponível em: <http://64.233.161.104/search?q=cache:HSNBMMX26poJ:www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php%3FcodTexto%3D2855+terminais+portu%C3%A1rios+%C3%A1lcool&hl=pt-BR>, último acesso em: 19/12/2005

Fonte: <http://www.dnit.gov.br/hidrovias/principais.htm>, último acesso em: 19/12/2005

Fonte: <http://www.netmarinha.com.br/>, último acesso em: 19/12/2005

Fonte: http://www.grupocoimex.com.br/noticias/noticias_2.asp?IdNoticia=61 último acesso em: 17/12/2005

Fonte: <http://www.vitoria.es.gov.br/negocios/investe6.htm>, último acesso em: 23/12/2005.

Fonte: <http://www.petruscommodities.com.br/infopetrus/08-04/alagoanas.htm>, último acesso em 18/12/2005

Fonte: http://www.gasnet.com.br/artigos/artigos_view2.asp?cod=791, último acesso em: 28/12/2005.

Fonte: http://www.planejamento.gov.br/planejamento_investimento/conteudo/noticias/porto_pecem_inaugurado.htm, último acesso em 28/12/2005

6. Construção de cenários sobre a produção de etanol no Brasil e descrição das transformações do sistema sócio-econômico brasileiro

O objetivo deste capítulo é apresentar uma visão integrada da expansão futura da oferta de álcool no Brasil que venha atender às metas de demanda apresentadas anteriormente. De acordo com as projeções de demanda, existem dois cenários que servem de base para o nosso exercício. O primeiro atenderia a 5% da demanda mundial de gasolina em 2025 (Cenário 1) e o segundo a 10% dessa demanda (Cenário 2).

A elaboração de cenários, nesta etapa do Projeto descreve o avanço realizado pela equipe até o presente momento. A principal restrição para a expansão da oferta consiste na disponibilidade de terras férteis. Nosso exercício de cenarização se apóia na identificação de áreas do território brasileiro onde há terras férteis, ainda não exploradas pela agricultura, disponíveis para a expansão da cultura de cana-de-açúcar. Essas terras, num primeiro exercício, permitiriam alcançar com folga a meta do Cenário 1, porém seriam insuficientes para alcançar a meta produtiva do segundo cenário, para o qual, novas áreas precisariam ser selecionadas.

O presente capítulo está subdividido em duas partes. Na primeira, é feito o cálculo das terras disponíveis e a determinação da localização das áreas produtoras. Na segunda parte, apresenta-se a evolução da oferta de álcool e de alguns de seus desdobramentos econômicos.

6.1. Definição das áreas para expansão da oferta de álcool

A partir do estudo realizado pelo CTC (item 4.2) foram determinadas as áreas nas quais poderá ocorrer expansão do plantio de cana-de-açúcar visando atender, nesta primeira fase do trabalho, o Cenário 1, com produção de 102,5 bilhões de etanol, conforme a seguinte metodologia:

- Estabelecimento da destilaria padrão: produção ano/safra; produtividade;
- Determinação das áreas de reserva indígena, proteção ambiental – além das determinadas previamente pelo CTC – parques, etc.
- Agrupamento das áreas que apresentam produtividade alta e média;
- Levantamento das culturas permanentes e temporárias nas áreas que apresentam produtividade alta e média;

O seguinte passo é o desenho logístico para o escoamento do álcool produzido, visando à exportação. Para uma visualização atual do potencial e escoamento de etanol a partir das áreas definidas para expansão, inseriu-se, no mapa do Brasil, além do levantamento de clima, solo e declividade:

- Reservas ambientais
- Malha ferroviária nacional;
- Rede viária;
- Rede de drenagem
- Dutos

Os dados foram inseridos utilizando-se o software ArcGIS 9.1. Para tal, o Projeto Etanol adquiriu o software ArcEditor e contou com a colaboração de profissional do Laboratório de Processamento de Informações Georeferenciadas (Lapig) do Instituto de Geociências (IG) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) com base nos dados do IBGE (2004).

Destilaria-padrão

A destilaria-padrão foi determinada para atender aos critérios, conforme a Tabela 6.1.-1. Note-se que na primeira fase deste projeto, a ênfase recai sobre o Cenário 1, para substituição de 5% da demanda mundial de gasolina em 2025, ou seja, uma produção de 102,5 bilhões de litros de etanol, conforme os estudos de projeção citados no item 1 deste relatório. Com os ajustes, a produção passa a ser de 104,5 bilhões de litros, mantendo-se a proporção de produção de 60% e 40% nas regiões Centro-Sul de Norte-Nordeste, respectivamente. Essa produção estará utilizando uma área de 21,5 milhões de hectares.

Tabela 6.1-1: Definição da destilaria-padrão e ajustes para o cenário 1

DESTILARIA-PADRÃO PARA A EXPANSÃO DE ÁLCOOL ANIDRO		Cenário 1	
Substituição de 5% da gasolina mundial até		102,5 BiLitros	
CENTRO-SUL (60%)		61,5 BiLitros	
NORTE-NORDESTE:(40%)		41,0 BiLitros	
Moenda/ano safra	2.000.000 ton		
dias moagem/ano safra	167 dias		
Moenda/diária	11.976 ton		
Produtividade	85 litros/tc		
Produção diária	1.017.964 litros/anidro		
Produção safra/usina	170.000.000 litros/anidro		
Área por usina	35.000 hectares		
Área por <i>cluster</i> *	525.000 hectares		
(*) 1 <i>cluster</i> : aproximadamente 15 usinas)			

AJUSTES PARA	Produção	Usinas	Área
CENARIO 1 (5%)	milhões m³	(quantidade)	(milhões ha)
Região C-S (60%)	62,7	369	12,9
Região N-NE (40%)	41,8	246	8,6
Total	104,5	615	21,5

Áreas de Preservação e Reserva Ambiental

Além das restrições ambientais mencionadas no capítulo 4, item 4.2 deste relatório, as áreas entendidas como reservas, conforme a Base Cartográfica do IBGE (2004), compreendem: terras indígenas, reservas indígenas, reservas biológicas, estação ecológica, reserva ecológica, extrativista, reserva florestal, áreas de proteção ambiental, permanente, histórica; área militar, florestas, áreas de relevante interesse ecológico, parques e monumentos.

Estas áreas foram desconsideradas na contabilização das 12 áreas selecionadas para expansão de cana-de-açúcar (figura 6.1-1).

A área prevista para a expansão do canal para cada destilaria-padrão foi de 35.000 hectares, incluindo-se os 20% de área destinada a preservação permanente (APP) na qual será mantida a vegetação natural ou reflorestada com essências nativas.

Definição das áreas para expansão de cana-de-açúcar

Com base no mapa potencial solo e clima, sem irrigação, figura 4.2-7, e a definição das reservas acima citadas, prosseguiu-se para a definição das áreas que apresentaram potencial alto e médio, considerando-se uma desconcentração das áreas que ora detêm a maior participação na produção de cana-de-açúcar e álcool, sabidamente, os estados de São Paulo, Paraná, e zona da mata no Nordeste do país.

Visando ainda uma melhor distribuição para a produção de álcool, considerou-se que a região Centro-Sul contribuirá com 60% da produção para o Cenário 1, e a região Norte-Nordeste, com 40%, visando desenvolver áreas que apresentem potencial médio para a expansão da cana-de-açúcar, além de áreas pouco desenvolvidas, conforme apresentado no mapa da figura 6.1-1.

Definição dos *Clusters*

A definição dos *clusters* é a última etapa na definição da localização das unidades produtivas. Ela está relacionada à forma mais racional de localização dessas unidades que terão de agrupar-se para poupar custos de transporte, que representam aproximadamente 15% do custo FOB do álcool. A escolha da modalidade de transporte por duto só é justificável se a produção fosse agrupada em *clusters* de pelo menos 11 destilarias. Por essa razão escolheu-se a definição do tamanho médio do *cluster* como sendo composto de aproximadamente 15 destilarias-padrão.

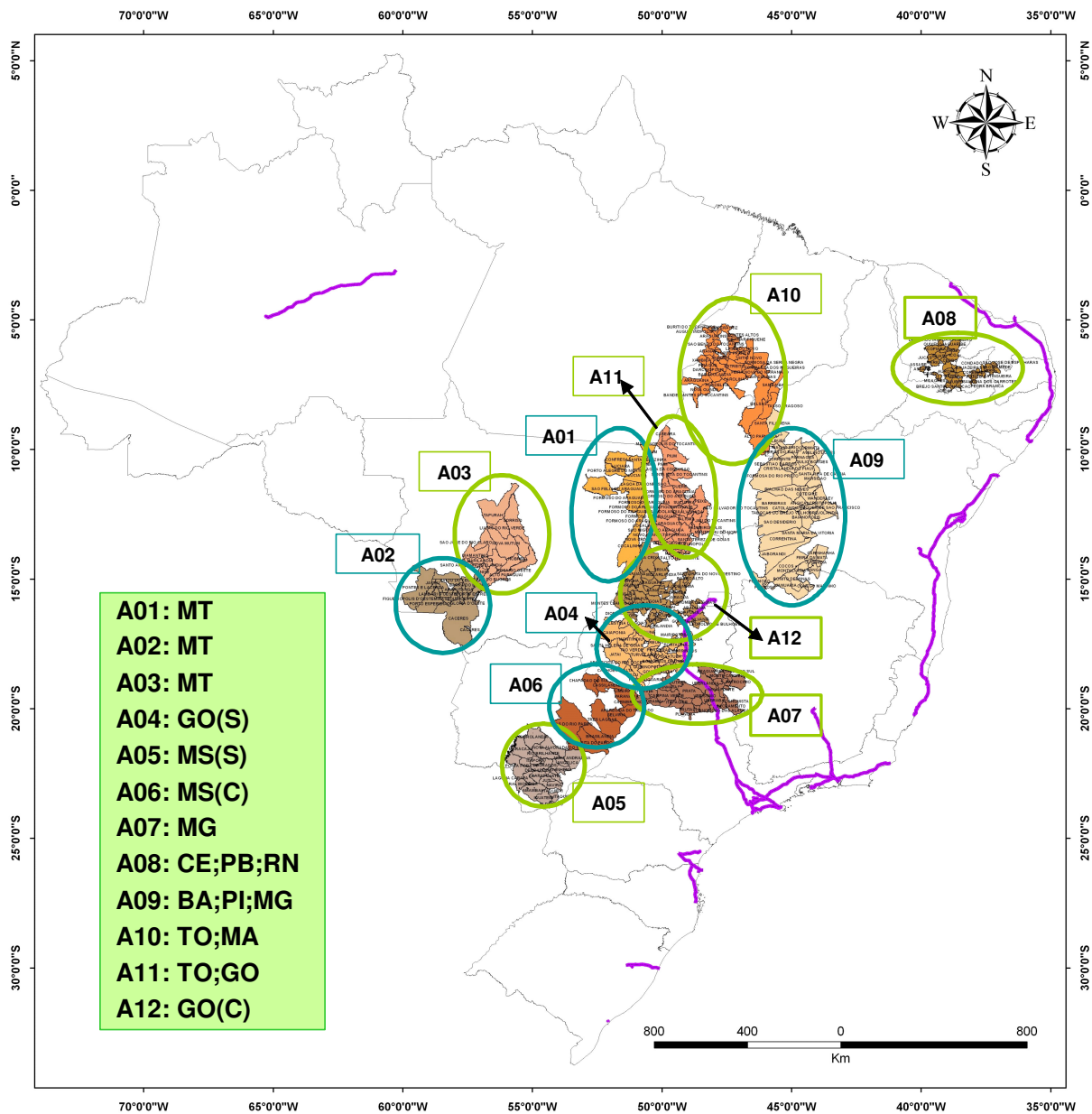


Figura 6.1-1: Cenário 1 - Áreas para expansão da oferta de etanol

As doze áreas estão inseridas em 11 estados nacionais. Os onze estados, por sua vez, somam uma área de 371,8 milhões de hectares, sendo que as 12 áreas definidas ocupam 79,4 milhões de hectares, ou 21,3% do total da área dos onze estados.

Culturas Temporárias e Permanentes

As áreas para expansão da oferta, 79,4 milhões de hectares, estão inseridas em 346 municípios brasileiros, ou 6,3% do total de municípios do país.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na sua publicação **“Produção Agrícola Municipal – Culturas temporárias e permanentes, volume 30, 2004”** base 2003, apresenta as principais culturas do país, sendo 29 temporárias e 33 permanentes, incluindo, além dos principais produtos produzidos, a área plantada (ha), área colhida (ha), quantidade produzida (t), rendimento médio (kg/ha) e valor (1000 R\$).

Para este estudo considerou-se a área plantada (ha) de todas as culturas temporárias e permanentes (tabela 6.1-2) apresentadas pelo IBGE (2004), por município incluído em cada um dos onze estados onde estão localizadas as doze áreas definidas para expansão da oferta de álcool.

Tabela 6.1-2: Áreas ocupadas por culturas temporárias e permanentes nos Municípios definidos para expansão

ESTADO	Culturas Temporárias (Ha)	Culturas Permanentes (Ha)	TOTAL CULT (T+P) (Ha)
BA	1,035,698.00	27,648.00	1,063,346.00
CE	269,344.00	85,131.00	354,475.00
GO	2,100,886.00	12,083.00	2,112,969.00
MA	85,461.00	2,261.00	87,722.00
MG	824,909.00	99,208.00	924,117.00
MS	1,577,698.00	8,528.00	1,586,226.00
MT	3,415,401.00	16,116.00	3,431,517.00
PB	67,291.00	1,456.00	68,747.00
PI	34,990.00	495.00	35,485.00
RN	449.00	31.00	480.00
TO	200,501.00	4,946.00	205,447.00
TOTAL	9,612,628.00	257,903.00	9,870,531.00

De modo bastante conservador, considerou-se que toda a área cultivada, de 9,8 milhões de hectares, nos onze estados, ocuparia as terras de produtividade alta e média.

Note-se que as doze áreas definidas para expansão representam 79,4 milhões de ha, das quais 38,2 milhões de ha apresentam produtividade alta e média. Subtraindo-se as áreas ocupadas com as culturas (9,8 milhões de ha), **restam 28,4 milhões de hectares que são mais do que suficientes atender à meta do Cenário 1 de produção anual de 102,5 bilhões de litros de álcool combustível.**

Total disponível (milhões de ha) nas 12 áreas definidas

	Milhões Ha
Áreas (12)	79.4
Produtividade (alta+média)	38.2
Culturas (T+P)	9.8
Total disponível	28.4

Tabela 6.1-3: Relação das culturas temporárias e permanentes

	Culturas Temporárias	Culturas Permanentes
1	Abacaxi	Abacate
2	Algodão herbáceo (em caroço)	Algodão arbóreo (em caroço)
3	Alho	Azeitona
4	Amendoim (em casca)	Banana
5	Arroz (em casca)	Borracha (látex coagulado)
6	Aveia (em grão)	Cacau (em amêndoa)
7	Batata-doce	Café (beneficiado)
8	Batata-inglesa	Caqui
9	Cana-de-açúcar	Castanha de caju
10	Cebola	Cha-da-Índia (folha verde)
11	Centeio (em grão)	Coco-da-Bahia
12	Cevada (em grão)	Dendê (coco)
13	Ervilha (em grão)	Erva mate (folha verde)
14	Fava (em grão)	Figo
15	Feijão (em grão)	Goiaba
16	Fumo (em folha)	Guaraná (semente)
17	Juta (fibra)	Laranja
18	Linho (semente)	Limão
19	Malva (fibra)	Maca
20	Mamona (baga)	Mamão
21`	Mandioca	Manga
22	Melancia	Maracujá
23	Melão	Marmelo
24	Milho (em grão)	Noz (fruto seco)
25	Rami (fibra)	Palmito
26	Soja (em grão)	Pêra
27	Sorgo granífero (em grão)	Pêssego
28	Tomate	Pimenta-do-reino
29	Trigo (em grão)	Sisal ou agave (fibra)
30		Tangerina
31		Tungue (fruto seco)
32		Urucum (semente)
33		Uva

Fonte: Produção Agrícola Municipal: culturas temporárias e permanentes, volume 30, 2003, Brasil. IBGE (2004).

As oito áreas definidas para expansão na região Centro-Sul do país, responsável por 60% da expansão de álcool, ou 61.500 mil m³ (tabela 6.1-4), podem ser visualizadas na figura 6.1-2.

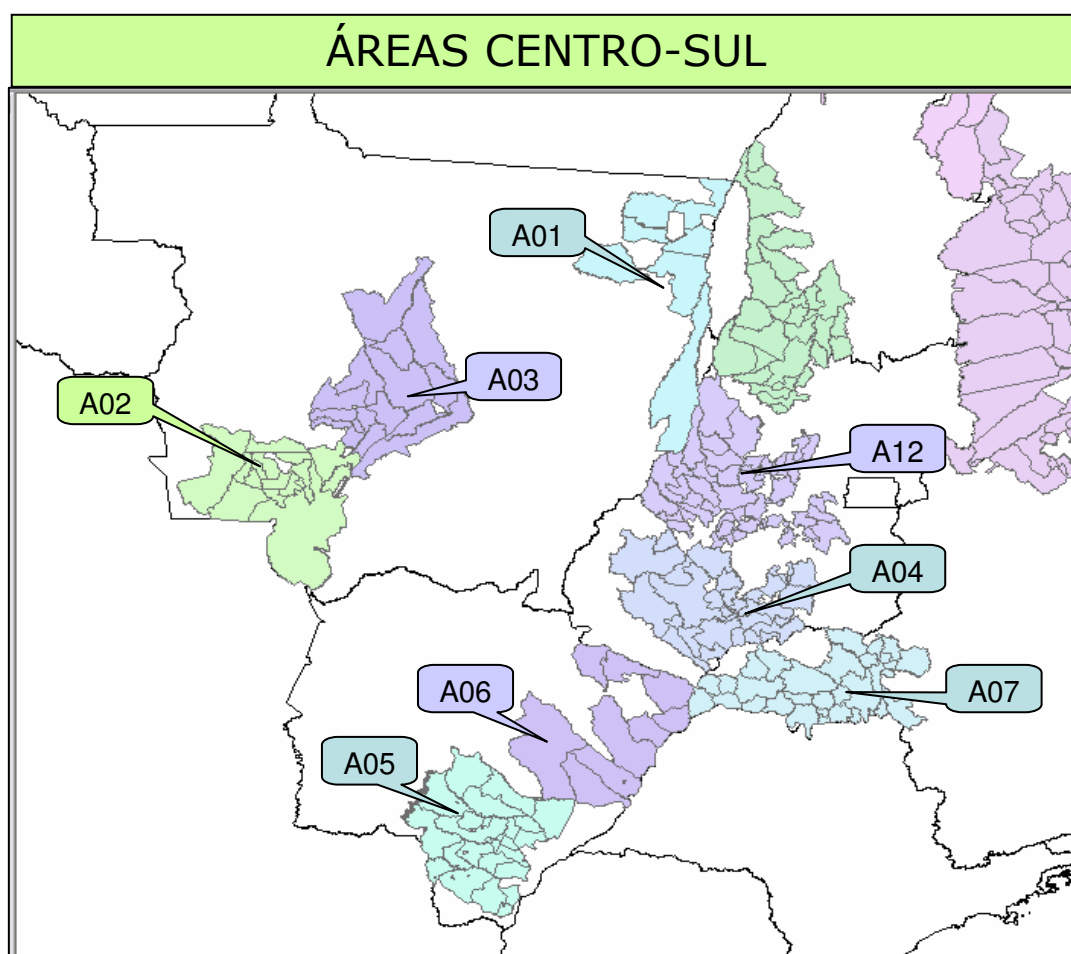


Figura 6.1-2: Áreas para expansão na região Centro-Sul

A tabela 6.1-4 apresenta a produção por área, considerando-se:

- dados da destilaria-padrão, com produção de 170 mil m³/ano safra;
- área ocupada por destilaria: 35.000 ha (inclui os 20% de área de preservação ambiental, conforme Legislação vigente)
- área disponível conforme a definição das doze áreas para expansão;
- o agrupamento de destilarias, os *clusters*, podem ter quinze destilarias, totalizando 525.000 ha por *cluster*;
- Após a área numerada, a próxima linha refere-se ao total da área ocupada pelos municípios no estado;
- A "Area Prod M+A" refere-se à área com produtividade média e alta;
- "C (T+P)" é a área ocupada com culturas temporárias e permanentes;
- O "Total" refere-se à disponibilidade para alocar as destilarias/*clusters*.

Tabela 6.1-4: Áreas Selecionadas e Produção na região Centro-Sul

Cenário 1: Doze Áreas Selecionadas para Expansão da Produção de Etanol						
Região C-S (mil m3)	Área Disponível (mil ha)	No.Cluster	Área Ocupada (mil ha)	no. Usinas	Produção etanol (mil m3)	Prod/Usina/ safra (mil m ³)
61.500		15	525			170
Área 1						
(MT (NE))	4.870,65					
Área Prod M+A	1.136,56					
C(P+T) A1	37,14					
TOTAL	1.099,42	2,1	1.099	31	5.340	8,7%
Cenário 1 (5%)	1.099,42	2,0	1.050	30	5.100	8,3%
Área 2						
(MT (SO))	5.890,65					
Área Prod M+A	2.453,53					
C(P+T) A2	66,59					
TOTAL	2.386,94	4,5	2.387	68	11.594	18,9%
Cenário 1 (5%)	2.386,94	0,0	0	0	0	0,0%
Área 3						
(MT (C))	6.704,84					
Área Prod M+A	2.186,64					
C(P+T) A3	2.152,94					
TOTAL	33,70	0,1		1	164	0,3%
Cenário 1 (5%)	33,70	0,0	0	0	0	0,0%
Área 4						
(GO (S))	6.018,65					
Área Prod M+A	4.554,42					
C(P+T) A4	1.661,07					
TOTAL	2.893,35	5,5		83	14.053	22,9%
Cenário 1 (5%)	2.893,35	5,0	2.625	75	12.750	20,7%
Área 5						
(MS (S))	5.641,70				0	
Área Prod M+A	5.226,21					
C(P+T) A5	1.539,95					
TOTAL	3.686,26	7,0		105	17.905	29,1%
Cenário 1 (5%)	3.686,26	5,0	2.625	75	12.750	20,7%
Área 6						
(MS (E))	5.668,69					
Área Prod M+A	3.365,88					
C(P+T) A6	46,28					
TOTAL	3.319,60	6,3		95	16.124	26,2%
Cenário 1 (5%)	3.319,60	5,0	2.625	75	12.750	20,7%
Área 7						
(MG (S0))	5.147,32					
Área Prod M+A	3.260,71					
C(P+T) A7	887,18					
TOTAL	2.373,54	4,5		68	11.529	18,7%
Cenário 1 (5%)	2.373,54	3,0	1.575	45	7.650	12,4%
Área 12						
(GO (C))	6.187,43					
Área Prod M+A	2.509,26					
C (P+T) A12	256,21					
Total	2.253,05	4,3		64	10.943	17,8%
Cenário 1 (5%)	2.253,05	4,0	2.100	60	10.200	16,6%
Total Região C-S	18.045,86	24,00	12.600	360	61.200	99,5%

A região Norte-Nordeste deverá ser responsável por quarenta por cento da produção necessária para atingir o Cenário 1. As quatro áreas e o potencial produtivo encontram-se nas figuras a seguir.

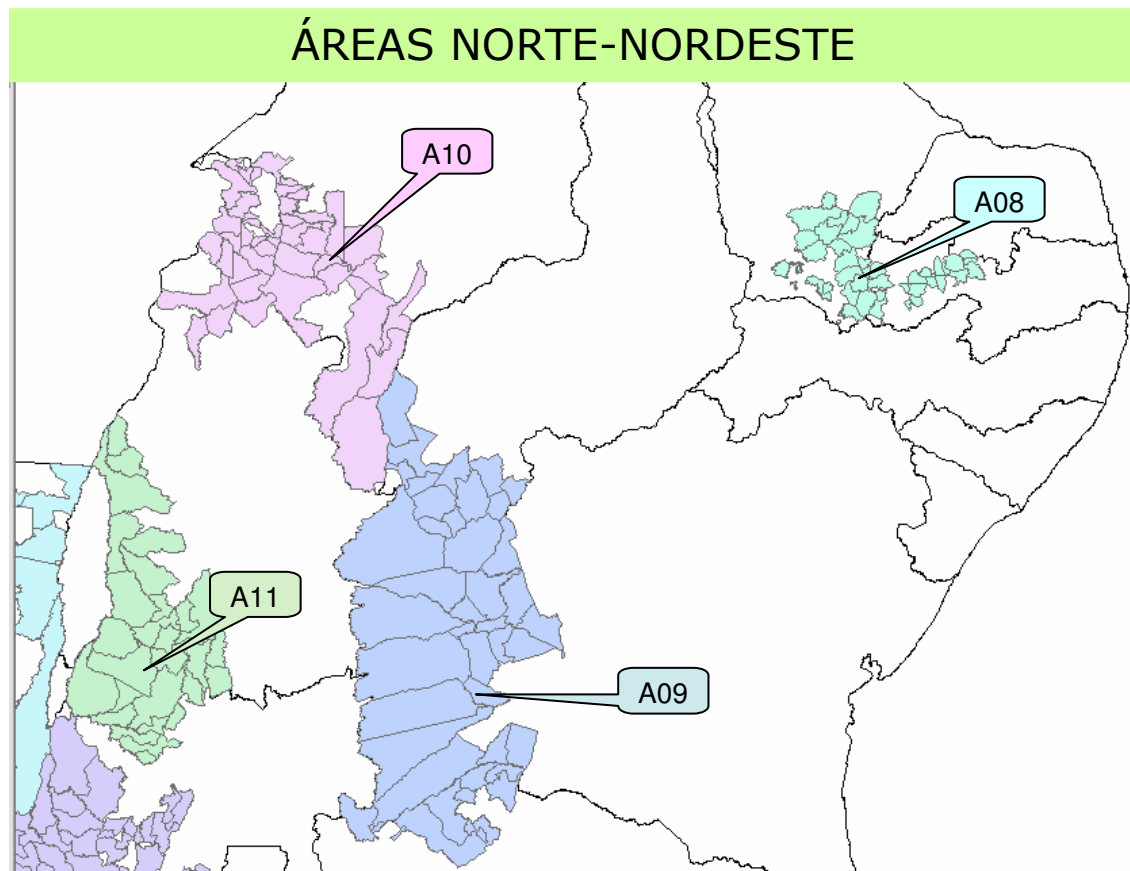


Figura 6.1-3: Áreas para expansão na região N-NE

A tabela 6.1-5 apresenta a distribuição das destilarias em cada área da região N-NE. Para o cenário 1, a área A09, composta, em grande parte pelo noroeste da Bahia, sul do Piauí e norte de Minas Gerais, seria responsável por 56% do total da produção de 41.000 mil m³ da região Norte-Nordeste, seguida pela A10 que representaria 25% desse total, com 10.900 mil m³ de álcool, e compreende o sul do Maranhão e o norte do Tocantins.

Tabela 6.1-5: Áreas Seleccionadas e Produção na região Norte-Nordeste

Cenário 1: Doze Áreas Seleccionadas para Expansão da Produção de Etanol						
Região N-NE (mil m ³)	Área disponível (mil ha)	No.Cluster	Área Ocupada (mil ha)	no. Usinas	Produção etanol (mil m ³)	Prod/Usina/ safra (mil m ³)
41.000		15	525			170
Area 8						
(CE+PB+RN)	2.470					
Area Prod M+A	1.120					
C(P+T) A8	424					
TOTAL	697	1		20	3.383	8,3%
Cenário 1 (5%)	697	1	525	15	2.550	6,2%
Area 9						
(BA+PI+MG)	15.536					
Area Prod M+A	6.876					
C(P+T) A9	1.142					
TOTAL	5.734	11		164	27.851	67,9%
Cenário 1 (5%)	5.734	9	4.725	135	22.950	56,0%
Area 10						
(MA+TO(N))	8.332					
Area Prod M+A	2.460					
C(P+T) A10	135					
TOTAL	2.325	4		66	11.293	27,5%
Cenário 1 (5%)	2.325	4	2.100	60	10.200	24,9%
Area 11						
(TO+GO)	6.898				0	
Area Prod M+A	1.979					
C(P+T) A11	313					
TOTAL	1.666	3		48	8.093	19,7%
Cenário 1 (5%)	1.666	3	1.575	45	7.650	18,7%
Total Região N-NE	10.422	17	8.925	255	43.350	105,7%

Vale lembrar que o potencial de produção total da região Norte-Nordeste é de 50.621 mil m³ (Tabela 6.1-6) havendo sido feita a adequação para suprir a necessidade de acordo com o Cenário 1 (em negrito), para 43.350 mil m³, total a ser suprido pela região, conforme a tabela 6.1-5.

Do mesmo modo, a região Centro-Sul poderia vir a suprir 87.651 mil m³ de álcool, tendo sido adequada para 61.200 mil m³ de álcool.

Tabela 6.1-6: Potencial e Adequação das 12 Áreas Seleccionadas

Potencial e Adequação das 12 Áreas Seleccionadas	Área (mil ha)	No. usinas	Produção (mil m ³ /ano)	Cenário 1 (%)
Total Região C-S	18.046	516	87.651	85,51%
Total Região N-NE	10.422	298	50.621	49,39%
TOTAL	28.468	813	138.272	134,90%
TOTAL COM ADEQUAÇÃO PARA CENÁRIO 1 (5%)				
Total Região C-S	12.600	360	61.200	58,5%
Total Região N-NE	8.925	255	43.350	41,5%
TOTAL	21.525	615	104.550	100,0%

A cenarização e etapas de expansão da oferta de etanol até 2025, para o Cenário 1, deverão ser realizadas considerando um total de 104.550 mil m³ de álcool, em uma área de 21,5 milhões de hectares.

A produtividade das áreas, segundo a região, com potencial alto (azul), médio (verde), baixo (amarelo) e impróprio (vermelho) encontra-se nas figuras 6.1-4 e 6.1-5, regiões Centro-Sul e Norte-Nordeste, respectivamente.

No que diz respeito à área urbana, um índice de aproximadamente 5% da área do município, estimou-se que esta estaria sendo desenvolvida em áreas que incluem uma produtividade baixa ou ainda imprópria.

É conveniente lembrar que as áreas de produtividade “baixa” e “imprópria” referem-se apenas ao aproveitamento para o cultivo da cana-de-açúcar, podendo ser adequada para outras culturas.

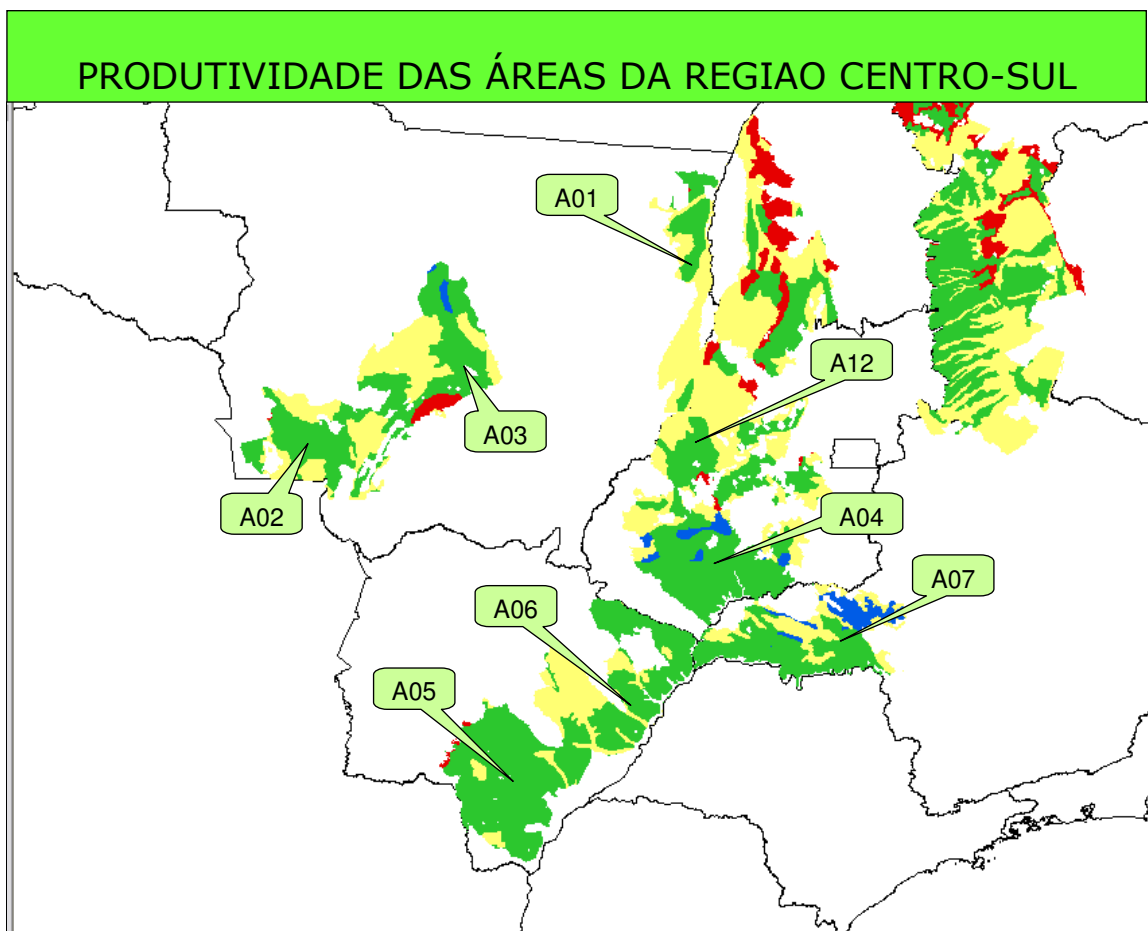


Figura 6.1-4: Potencial de produtividade da região Centro-Sul

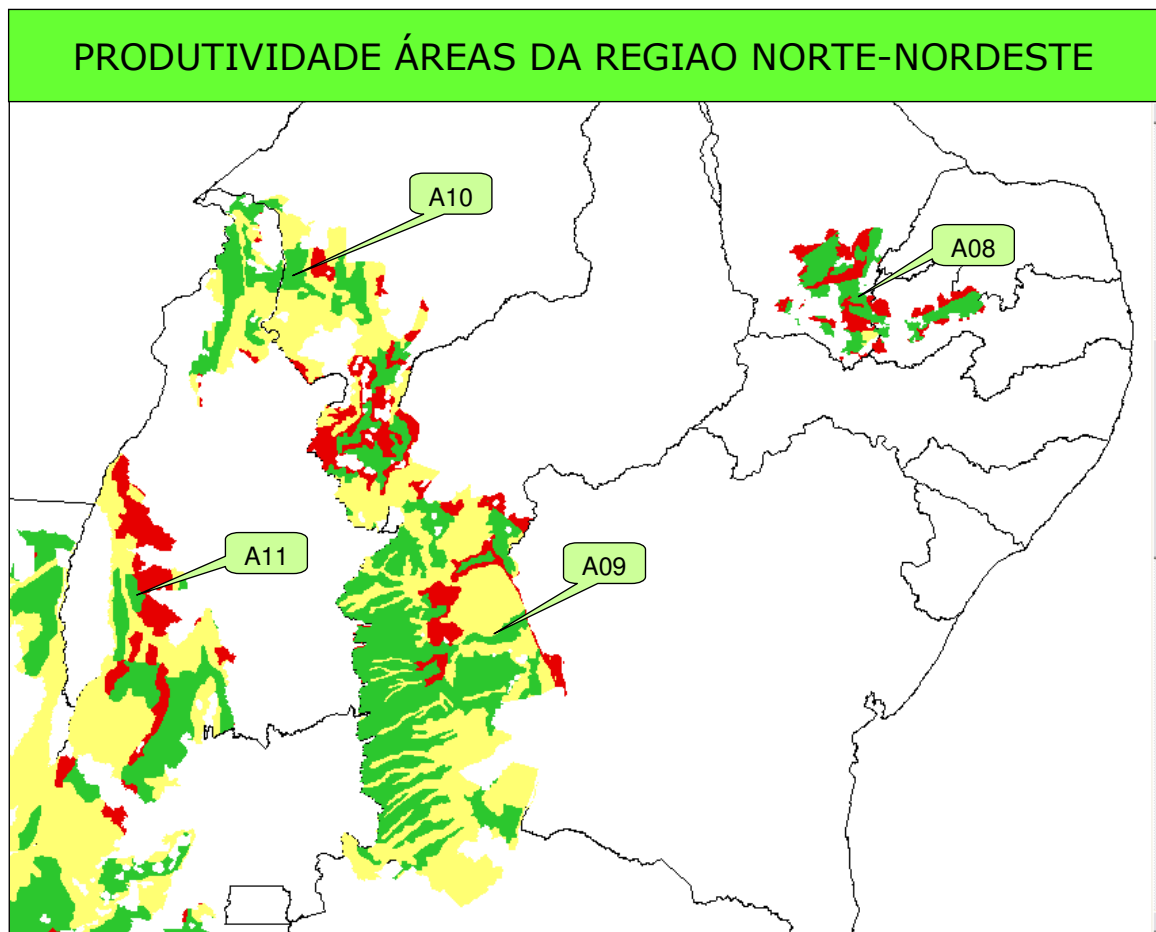


Figura 6.1-5 Potencial de produtividade na região Norte-Nordeste

Definição de *clusters*

A título de exemplo, apresentamos a delimitação dos *clusters* de destilarias em uma das áreas estudadas neste cenário. O estudo da área A10 contempla a distribuição das destilarias, *clusters* e logística para escoamento, visando a exportação do álcool produzido.

A área A10 está distribuída em dois estados brasileiros, no norte do Tocantins e no sul do Maranhão (figura 6.1-6), totalizando 8,3 milhões de hectares. Contempla 43 de um total de 356 municípios, dos quais se considerou, para a expansão e produção de álcool no cenário 1, a área de produtividade alta e média, que soma 2,1 milhões de hectares.

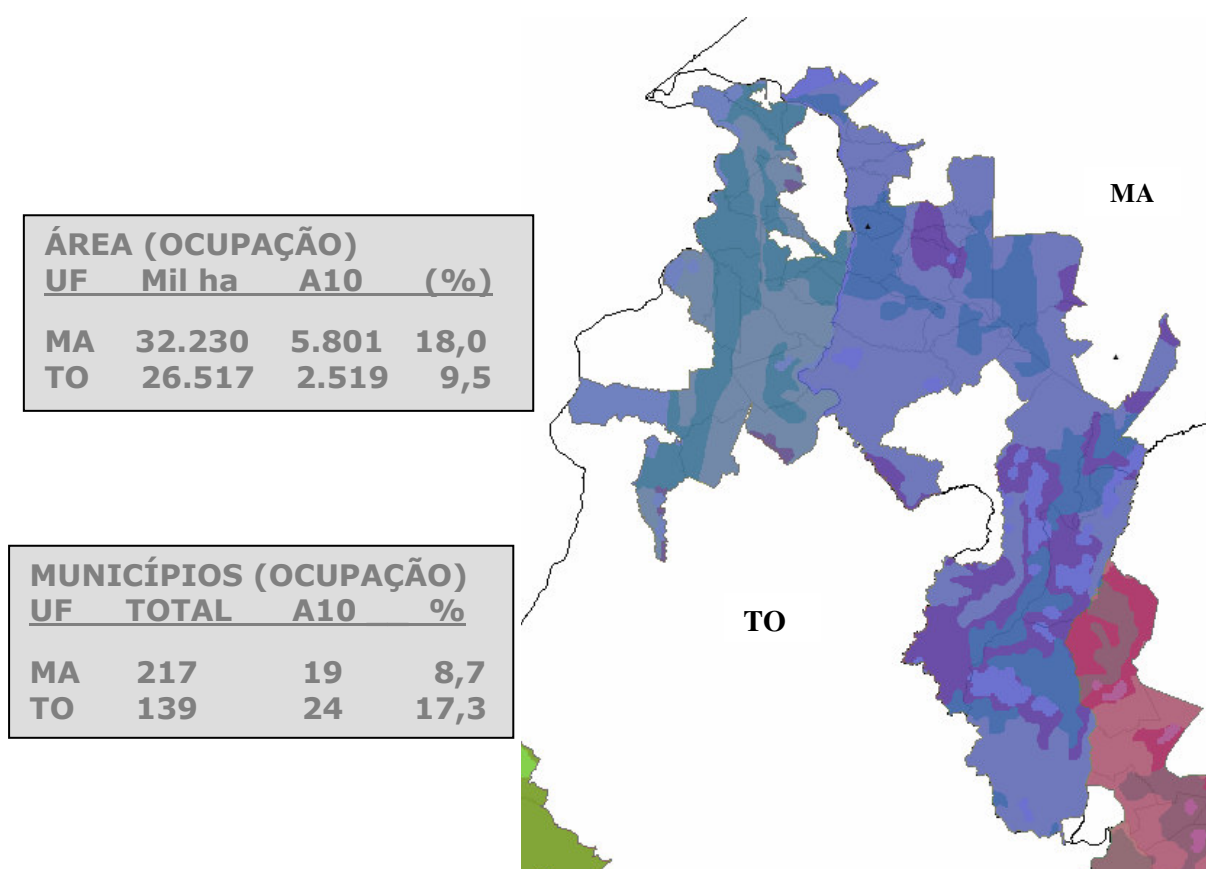


Figura 6.1-6: Áreas contempladas na A10

A tabela 6.1-7 apresenta a distribuição dos *clusters* na área 10 (A10). A partir das áreas que apresentam produtividade média, efetuou-se o agrupamento considerando-se os dados da destilaria-padrão e subtraíram-se as áreas com culturas temporárias e permanentes, por município, obtendo-se a área disponível para expansão da cana-de-açúcar.

Tabela 6.1-7: Disponibilidade de áreas e produção na A10

Municípios	UF	Area	Prod	Área (ha)	Cult.(P+T)	Area Disp. (ha) 2.324,94	Total bi litros 10,90
CLUSTER A10_ C1							
1 ALTO PARNAÍBA	MA	A10	médio	282,20	20,16	262,05	
2 BALSAS	MA	A10	médio	207,18	12,08	195,10	
3 TASSO FRAGOSO	MA	A10	médio	74,67	8,79	65,88	
4 SAMBAIBA	MA	A10	médio	96,28	2,48	93,81	
				660,34	43,50	616,84	
Usinas C1						17,00	
Produção (bi litros)						2,9	0,27
1 SANTA FILOMENA C1A	PI	A09	médio	157,45	9,91	147,54	
Usinas C1A+B45						4,00	
Produção (bi litros)						0,7	0,33
CLUSTER A10_ C2							
1 FEIRA NOVA DO MARANHÃO	MA	A10	médio	40,50	2,74	37,77	
2 FORMOSA DA SERRA NEGRA	MA	A10	médio	157,52	3,05	154,47	
3 FORTALEZA DOS NOGUEIRAS	MA	A10	médio	37,98	3,33	34,64	
4 NOVA COLINAS	MA	A10	médio	21,30	3,98	17,32	
5 SÃO PEDRO DOS CRENTES	MA	A10	médio	21,79	1,12	27,28	
6 SÍTIO NOVO	MA	A10	médio	95,23	2,35	92,87	
				374,32	16,58	357,74	
Usinas C2						10,00	
Produção (bi litros)						1,7	0,16
CLUSTER A10_ C3							
1 CAMPESTRE DO MARANHÃO	MA	A10	médio	53,42	4,88	48,54	
2 MONTES ALTOS	MA	A10	médio	2,31	1,42	0,90	
3 ESTREITO	MA	A10	médio	77,11	5,23	71,88	
4 LAJEADO NOVO	MA	A10	médio	18,88	0,74	18,15	
5 PORTO FRANCO	MA	A10	médio	95,43	1,48	93,95	
6 RIBAMAR FIQUENE	MA	A10	médio	7,06	1,55	5,52	
7 SÃO JOÃO DO PARAÍSO	MA	A10	médio	30,76	3,22	27,54	
8 SÃO PEDRO DOS CRENTES	MA	A10	médio	6,61	1,12	5,49	
				291,60	19,64	271,97	
Usinas C3						7,00	
Produção (bi litros)						1,2	0,11
CLUSTER A10_ C4							
1 IMPERATRIZ	MA	A10	médio	38,39	0,80	37,59	
2 AGUIARNÓPOLIS	TO	A10	médio	21,85	1,04	20,82	
3 ANANÁS	TO	A10	médio	122,86	1,56	121,29	
4 ANGICO	TO	A10	médio	41,34	1,56	39,78	
5 ARAGUAÍNA	TO	A10	médio	120,06	27,61	92,45	
6 ARAGUATINS	TO	A10	médio	87,52	3,85	83,68	
7 AUGUSTINÓPOLIS	TO	A10	médio	38,03	1,75	36,28	
8 BABACULÂNDIA	TO	A10	médio	60,23	1,81	58,41	
9 BANDEIRANTES DO TOCANTINS	TO	A10	médio	79,79	1,08	78,71	
10 BURITI DO TOCANTINS	TO	A10	médio	12,83	1,02	11,81	
11 CACHOEIRINHA	TO	A10	médio	10,90	0,50	10,40	
12 CARRASCO BONITO	TO	A10	médio	7,95	0,00	7,95	
13 DARCIÓPOLIS	TO	A10	médio	15,29	1,69	13,61	
14 FILADELFIA	TO	A10	médio	24,57	2,05	22,52	
15 LUZINÓPOLIS	TO	A10	médio	12,47	0,43	12,04	
16 MOSQUITO	TO	A10	médio	49,94	0,00	49,94	
17 NOVA OLINDA	TO	A10	médio	59,63	1,07	58,56	
18 PIRAQUE	TO	A10	médio	97,98	0,92	97,07	
19 PRAIA NORTE	TO	A10	médio	23,83	0,81	23,02	
20 RIACHINHO	TO	A10	médio	65,39	1,21	64,18	
21 SANTA TEREZINHA DO TOCANTINS	TO	A10	médio	25,76	0,38	25,38	
22 SÃO BENTO DO TOCANTINS	TO	A10	médio	55,83	0,73	55,10	
23 TOCANTINÓPOLIS	TO	A10	médio	29,33	1,01	28,32	
24 WANDERLÂNDIA	TO	A10	médio	24,88	2,73	22,15	
25 XAMBIOA	TO	A10	médio	7,15	0,94	6,21	
				1.133,80	56,53	1.077,27	
Usinas C4						26,00	
Produção (bi litros)						4,4	0,41

Devido à proximidade do município de Santa Filomena, no Piauí, optou-se por incluí-lo na área A10. Com isso, a A10 passa a contar com 2,3 milhões de hectares, com potencial para produzir até 11,3 bilhões de litros de álcool, considerando-se a produtividade de 85 litros por tonelada de cana-de-açúcar, em conformidade com a destilaria-padrão anteriormente definida.

Visando adequar o potencial da área 10 (A10) com a oferta de etanol do Cenário 1, utilizou-se 2,2 milhões de hectares, nos quais pode-se instalar 4 *clusters* com 21; 10; 7 e 26 destilarias/cada, totalizando 64 destilarias, com produção de 10,9 bilhões de litros de álcool, o que representa 25% da produção alvo da região Norte-Nordeste, de 43,35 bilhões de litros, em 2025, conforme a tabela 6.1-6.

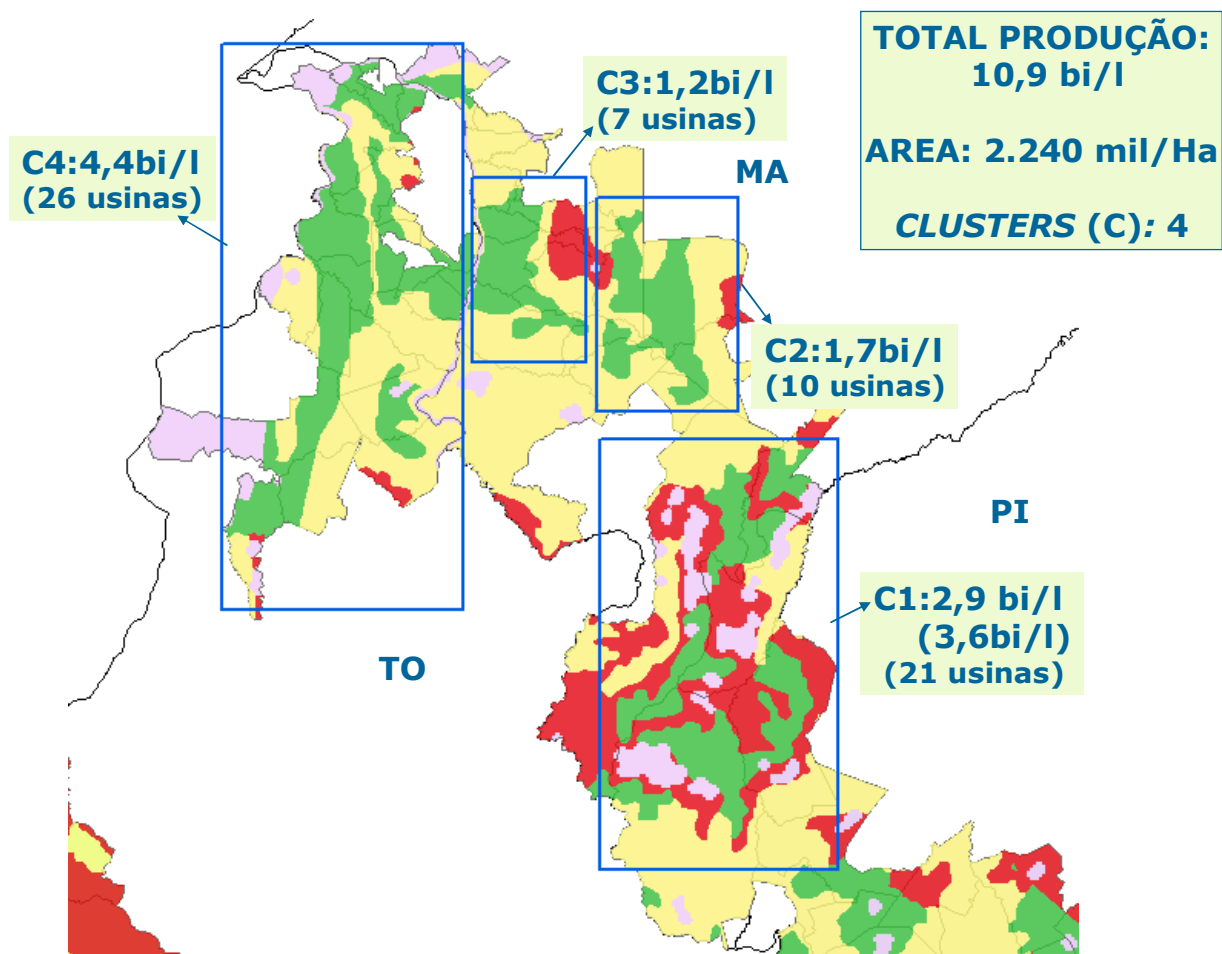


Figura 6.1-7: A10 Alocação de *Clusters*

Uma estimativa, seguindo a metodologia utilizada pela Transpetro, aponta para a necessidade de investimentos da ordem de US\$ 940 milhões para escoar os 10,9 bilhões de litros de álcool, até 2025.

A nova rede dutoviária (figura 6.1-8) contempla, na primeira fase, um duto de 16", saindo do município de Campestre do Maranhão (MA) até o porto de Itaqui (MA), acompanhando o traçado a Estrada de Ferro Norte-Sul e Carajás. Na fase II, no mesmo traçado anterior, seria construído um duto de 14". Dois dutos de 12", sendo um a partir do município de Piraquê (TO), com 150 km, e mais um, a partir de Tasso Fragoso (MA), de 350 km, partem com o mesmo destino, rumo a Campestre do Maranhão, para seguir até o Porto de Itaqui. Nesses municípios, Piraquê, Tasso Fragoso e Campestre do Maranhão seriam construídos os coletores para recebimento do álcool da região.

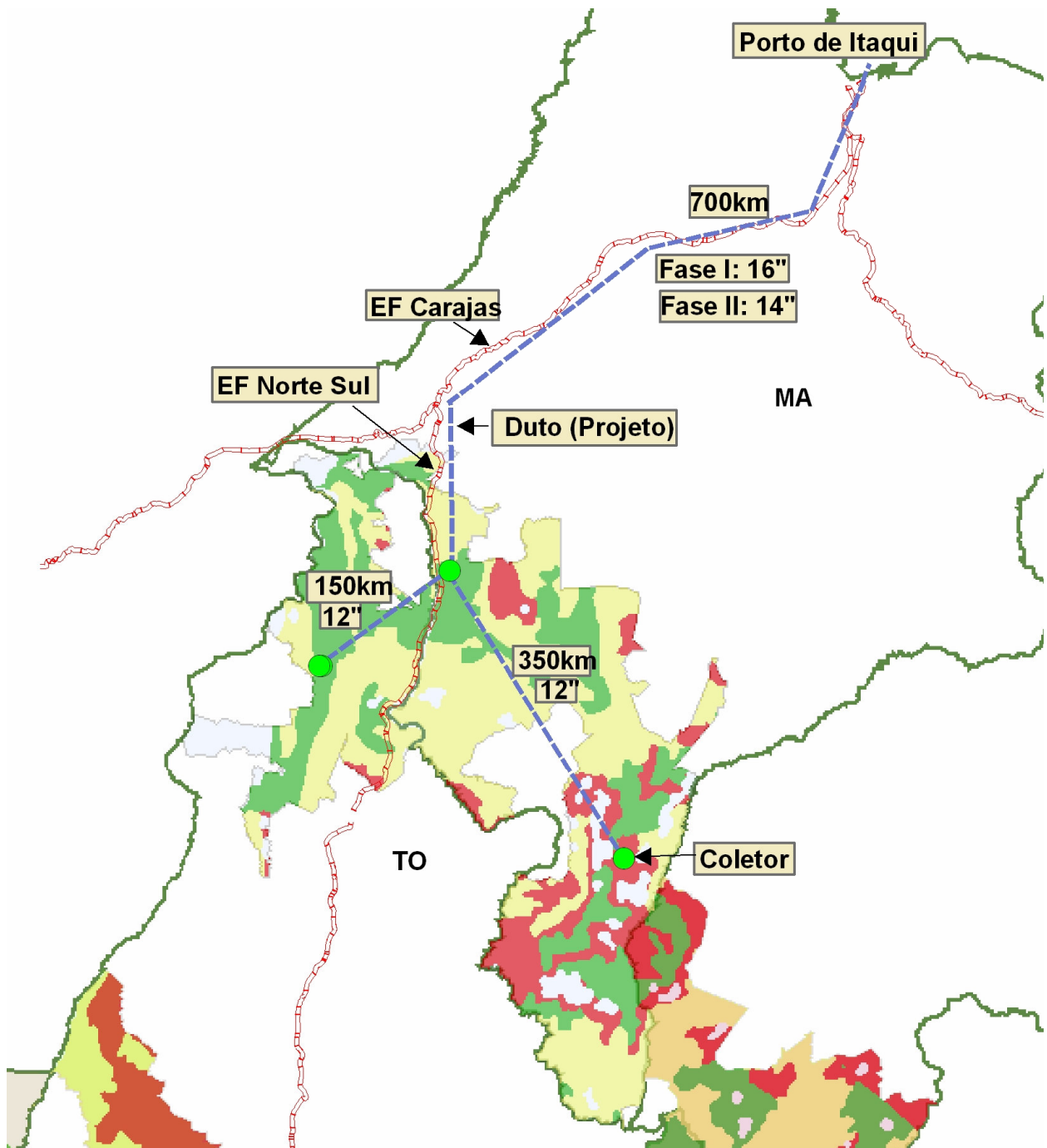


Figura 6.1-8: Logística para escoamento de álcool – Área 10 (A10)

Visando obter informações mais precisas sobre o custo envolvido para um novo traçado logístico, utilizando-se dutos que deverão ser construídos a partir das doze áreas selecionadas, foi solicitado um estudo à Transpetro - Petrobrás.

O estudo preliminar foi realizado pela Transpetro - Petrobrás, com base na definição das áreas apresentadas na figura 6.1-1 e na tabela 6.1-8, a qual considera o potencial de produção das 12 áreas selecionadas, totalizando 138,2 milhões de m³.

Tabela 6.1-8: Potencial de Produção das 12 áreas selecionadas

Produção Alvo (milhões m3)				
AREAS	2010	2015	2025	ESTADO
ÁREA 01	1,6	3,2	5,3	MT
ÁREA 02	3,5	7,0	11,6	MT
ÁREA 03	0,0	0,1	0,2	MT
ÁREA 04	4,2	8,4	14,0	GO
ÁREA 05	5,4	10,8	18,0	MS
ÁREA 06	4,8	9,7	16,1	MS
ÁREA 07	3,5	6,9	11,5	MG
ÁREA 08	1,0	2,0	3,4	CE/PB/RN
ÁREA 09	8,3	16,7	27,8	BA/PI/MG
ÁREA 10	3,4	6,8	11,3	MA/TO
ÁREA 11	2,4	4,8	8,0	TO/GO
ÁREA 12	3,3	6,6	11,0	GO
TOTAL 12 AREAS	41,4	82,9	138,2	

Para este exercício, a Transpetro – Petrobrás selecionou a região Centro-Sul para a realização do traçado logístico e o investimento necessário para escoar o álcool.

A região Centro-Sul inclui 8 das 12 áreas selecionadas, conforme a figura 6.1-2:

- Área 01
- Área 02
- Área 03
- Área 04
- Área 05
- Área 06
- Área 07
- Área 12

A Transpetro – Petrobras considerou as áreas, conforme a tabela 6.1-9, para compor a Região Centro/Sul:

Tabela 6.1-9: Produção Alvo para a Região Centro-Sul

Produção Alvo Região Centro/Sul - (milhões m³)					
ÁREAS	2010	2015	2020	2025	ESTADO
AREA 02	-	-	7,0	11,6	MT
AREA 04	4,2	8,4	8,4	14,0	GO
AREA 05	5,4	10,8	10,8	18,0	MS
AREA 07	3,5	6,9	6,9	11,5	MG
AREA 12	3,3	6,6	6,6	11,0	GO
TOTAL	16,4	32,7	39,7	66,1	

Para um melhor aproveitamento logístico, A área 01 não foi considerada neste exercício por tratar-se de uma área um tanto distante; a área 03 não representa um volume significativo.

É importante notar que foi solicitado à Transpetro-Petrobrás a elaboração de uma estimativa de traçado e custo de logística para escoar 138,2 bilhões de litros de álcool, correspondente ao potencial das 12 áreas definidas para o cenário 1. Esse volume, no entanto, foi adequado para 104,55 bilhões de litros de etanol (tabela 6.1-6).

A solicitação para escoar 138,2 bilhões de litros deveu-se, principalmente, à necessidade de se ter um parâmetro do desenho e necessidade de escoamento de áreas mais distantes dos portos marítimos nacionais, a exemplo do MT.

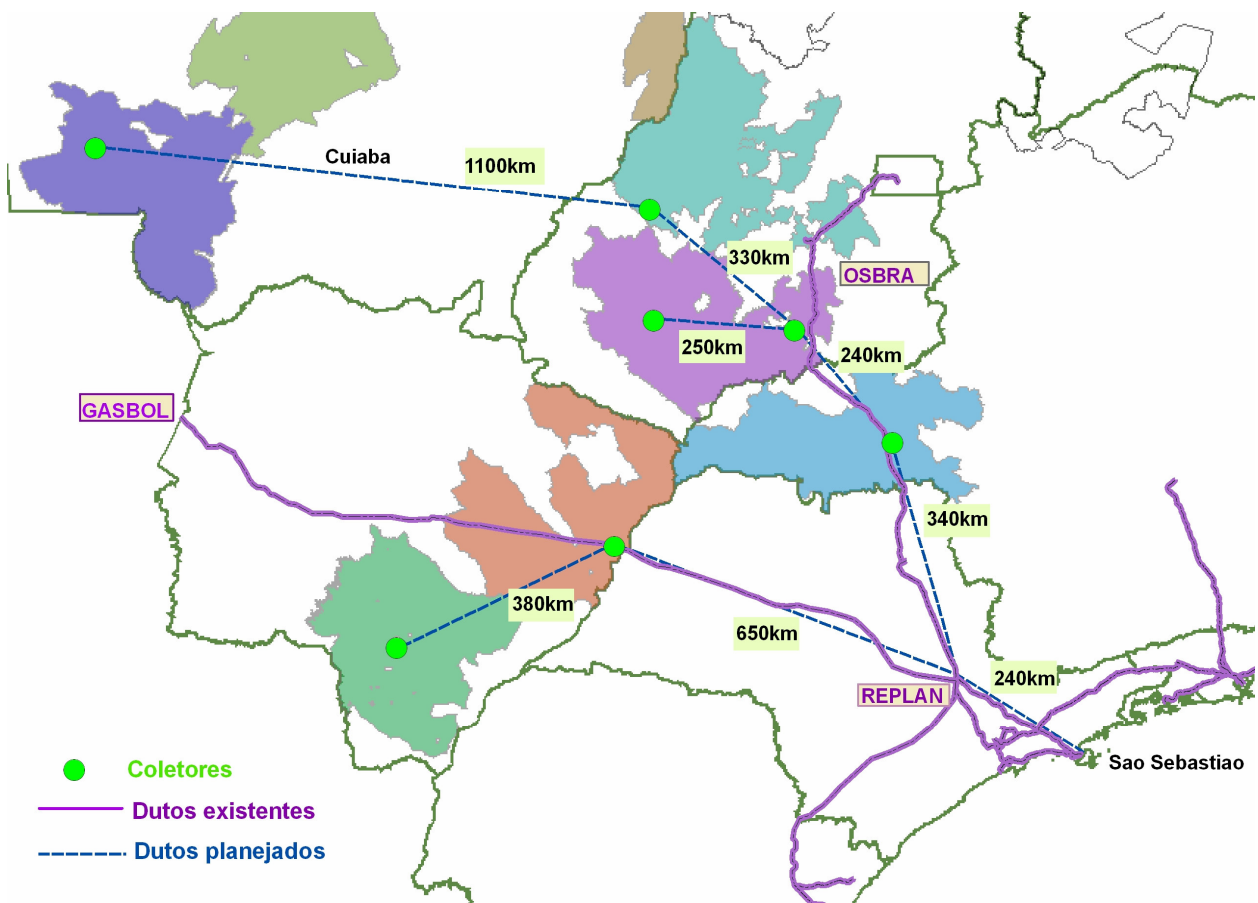
É interessante notar que, de acordo com os cálculos preliminares da Transpetro, os 66,1 bilhões de litros, não consideram a área 06. No entanto, esse volume corresponde praticamente à totalidade da produção estimada para a região Centro-Sul de 61,5 bilhões de litros para o Cenário 1.

A seguir, as premissas adotadas pela Transpetro-Petrobrás:

- A construção do oleoduto para transporte da produção de petróleo da Bacia de Campos para as refinarias de SP esteja construído até 2010 (PDET), de forma a viabilizar tecnicamente a exportação de álcool pelo Terminal de São Sebastião, SP. Desta forma, admi-ti-se a utilização dos tanques existentes, mediante adaptações, para armazenar álcool a ser exportado por aquele Terminal;
- Dimensionamento dos dutos para escoar 5 anos de produção com diâmetro determinado através da velocidade econômica e o custo de investimento com base no índice de 35US\$/pol.m (US\$: 2,30R\$);
- Localização dos Centros Coletores de Álcool com base na região de produção e dimensionamento para armazenar 10 dias de produção;

- A diretriz preliminar do duto adotada como sendo uma reta interligando os Centros Coletores ao Terminal de Exportação, adicionando-se 30% para se obter a extensão total do duto;
- Distribuição do investimento no duto como sendo de 90% do Investimento total para a implantação e os 10% restantes no 5º ano de operação para a ampliação da vazão

Com base na localização das regiões produtoras foram traçadas as seguintes diretrizes dos dutos para exportação pelo Terminal de São Sebastião, SP:



**Figura 6.1-9: Traçado preliminar de dutos para escoamento de álcool
 Região Centro-Sul**

Fonte: elaboração própria (ArqMap) a partir dos dados da Transpetro

Para a construção dos dutos foram adotadas 3 fases de implantação do projeto, conforme o dimensionamento apresentado na figura 6.1-9:

- **FASE 1** – Início da construção das instalações nos anos 2008 e 2009 para o início de operação em 2010, com dutos e terminais dimensionados para a produção de 2015;
- **FASE 2** – Início da construção das instalações nos anos 2013 e 2014 para o início de operação em 2015, com dutos e terminais dimensionados para a produção de 2020.
- **FASE 3** – Início da construção das instalações nos anos 2018 e 2019 para o início de operação em 2020, com dutos e terminais dimensionados para a produção de 2025.

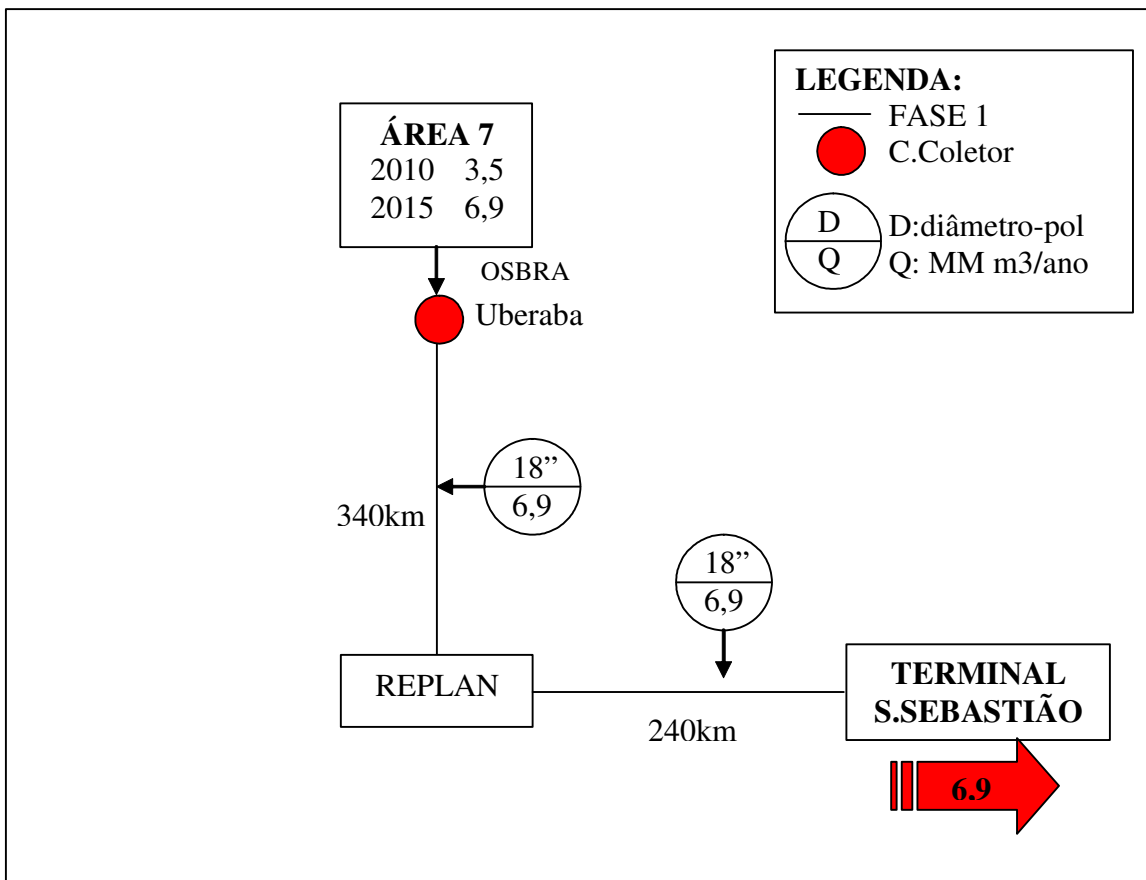


Figura 6.1-10: Dimensionamento Fase 1.

Fonte: Transpetro-Petrobrás, 2005

A estimativa de investimento para a fase 1 encontra-se na tabela

Tabela 6.1-10: Estimativa de Investimento – Fase 1

Até 2010	MMUS\$
Dutos (18")	330
Terminal (Centro Coletor+Adap. Terminal SS)	35
TOTAL	365
Até 2015 (ampliações dutos e tancagem)	55
TOTAL GERAL	420

Fonte: Transpetro-Petrobrás

De acordo com o estudo preliminar da Transpetro-Petrobrás, encontra-se a seguir as figuras de dimensionamento logístico e as tabelas correspondentes ao investimento necessário, para cada uma das fases 2 e 3, para escoar o álcool da região Centro-Sul.

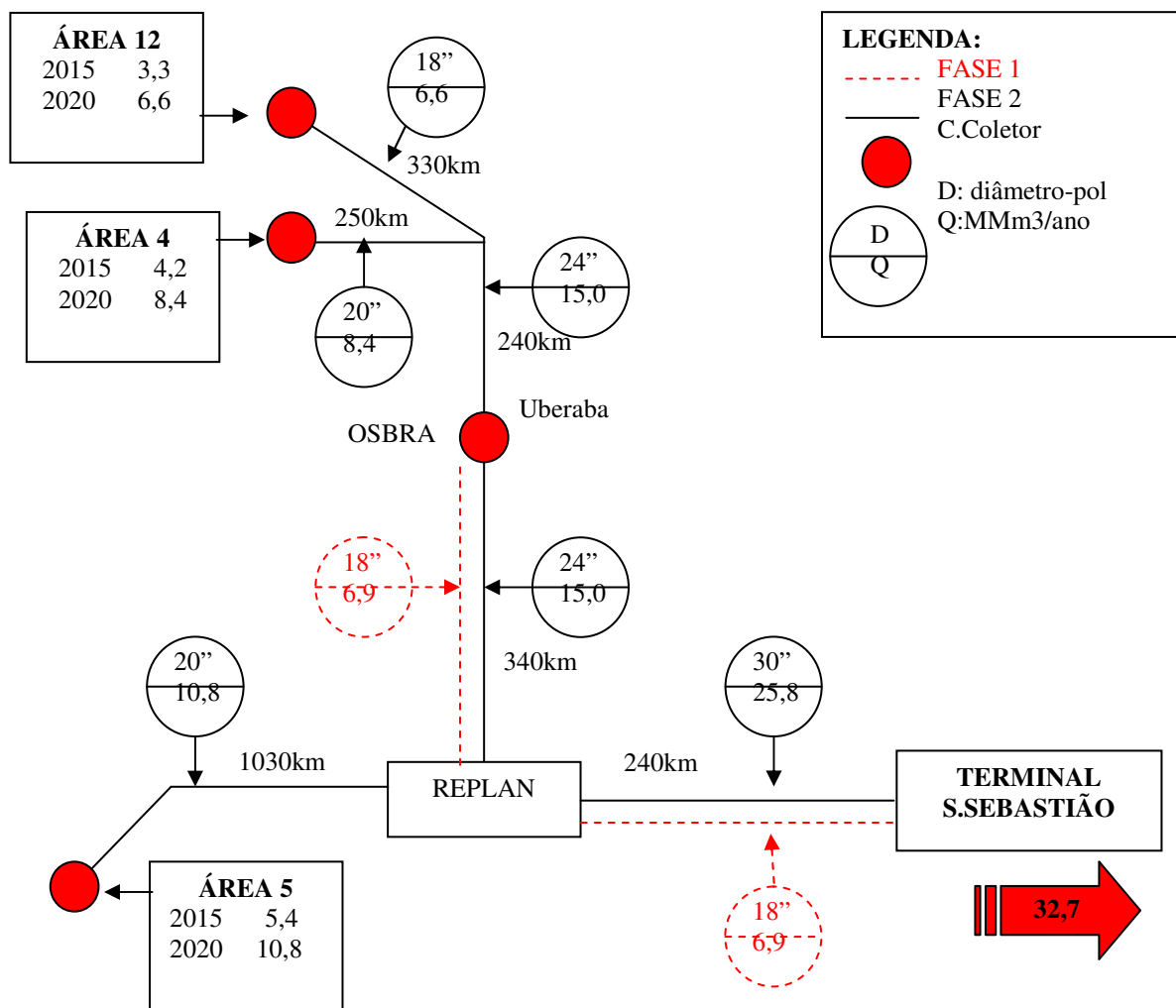


Figura 6.1-11: Dimensionamento Fase 2

Fonte: Transpetro-Petrobrás, 2005

Tabela 6.1-11: Estimativa de investimento da fase 2

Até 2015	MMUS\$
Dutos (18"/20"/24"30")	1665
Terminal (Centro Coletor+Adap. Terminal SS)	110
TOTAL	1775
Até 2020 (ampliações dutos e tancagem)	290
TOTAL GERAL	2065

Fonte: Transpetro-Petrobrás, 2005

A figura 6.1-12 apresenta o dimensionamento da fase 3. A tabela 6.1- traz a respectiva estimativa de investimento.

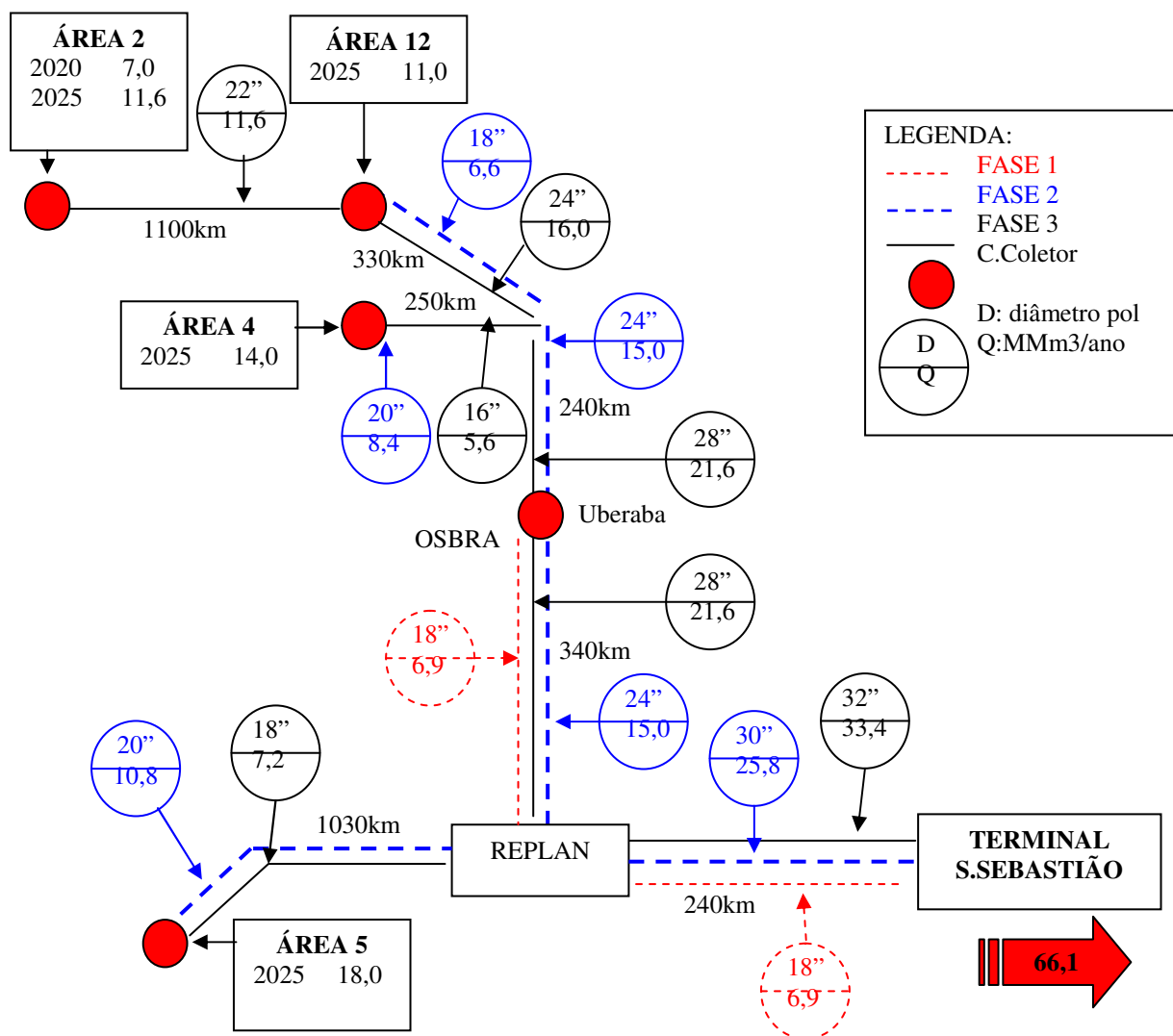


Figura 6.1-12: Dimensionamento da fase 3.
Fonte: Transpetro-Petrobrás, 2005.

Tabela 6.1-12: Estimativa de investimento da fase 3

Até 2020	MMUS\$
Dutos (16"/18"/22"/24"/28"/32")	2470
Terminal (Centro Coletor+Adap. Terminal SS)	50
TOTAL	2520
Até 2025 (ampliações dutos e tancagem)	390
TOTAL GERAL	2910

Fonte: Transpetro-Petrobrás, 2005.

6.2. Construção de cenários sobre a produção de etanol no Brasil e descrição das transformações do sistema sócio-econômico brasileiro.

6.2.1. Detalhamento da Metodologia de Construção de Cenários

A metodologia para construção de cenários é de corte prospectivo e se apóia no pressuposto de que o futuro decorre de decisões tomadas no presente e na constituição de uma trajetória evolutiva que leve aos cenários propostos. Os cenários deste Projeto se estruturam em torno à meta do Brasil vir a suprir completa ou parcialmente a demanda mundial de etanol (álcool anidro) para ser adicionado à gasolina, formando o "gasohol". Essa participação variaria entre 5 e 10% da demanda mundial, denominados de Cenário 1 e 2, respectivamente. Como é pouco provável que o Brasil tenha de imediato condições de atender o enorme volume de demanda de álcool que implicaria a adição de álcool etílico, produzido a partir de biomassa, na gasolina, o estudo fixou o horizonte temporal de 20 anos para que essa meta fosse alcançada.

Para simplificar as hipóteses que precisam ser feitas, os cenários se apóiam, em uma primeira fase de elaboração, sobre o pressuposto de que todo o aumento da oferta interna da cana será canalizado para a produção de álcool e de que todo incremento da produção de álcool destinar-se-á exclusivamente a satisfazer a meta de exportação, na forma de álcool anidro. Numa fase subsequente, o projeto irá incorporar novas hipóteses para adquirir maior aderência com a realidade. Essas hipóteses dizem respeito à expansão da demanda interna de álcool e sobre o aumento das exportações de açúcar. Nessa segunda etapa também serão incorporados outros elementos dinâmicos, sobretudo aqueles relacionados com a evolução tecnológica pelo lado da oferta de álcool e a dinâmica de expansão da agricultura brasileira, contemplando as demais culturas.

A metodologia de construção de cenário segue etapas consecutivas. Em primeiro lugar, deve ser feito um levantamento dos principais parâmetros que nos permitirão projetar a oferta do álcool. Esses parâmetros são:

1. Disponibilidade de terras que possam atender às necessidade da expansão da oferta de álcool. Foi contratado junto ao Centro de Tecnologia Canavieira (CTC) um estudo que fez o levantamento das terras adequadas ao plantio de cana-de-açúcar no país. Essas terras foram selecionadas apoiando-se no pressuposto de que elas sejam de alta ou média produtividade, disponham de um regime pluviométrico adequado para o plantio de cana e que tenham uma baixa declividade para que todas as etapas do cultivo, inclusive a da colheita, sejam mecanizáveis. Deduzindo-se desse montante as terras hoje usadas para a agricultura, obteve-se o quadro das terras disponíveis para plantio de cana-de-açúcar.
2. Para objetivo de construção dos cenários foi contemplada uma destilaria padrão, com capacidade de processamento de 2 milhões de toneladas de cana ao ano. Partiu-se do pressuposto que a tecnologia usada corresponderia a de uma destilaria média no estado de São Paulo, ou seja, que ela teria uma produtividade 71,5 toneladas de cana por hectare cultivada e de 85 litros de álcool anidro por tonelada de cana moída. Cada destilaria teria a capacidade de produzir 170.000 mil litros de álcool anidro por ano. A área ocupada por

essa destilaria, adicionado os 20% reservados para floresta nativa, seria de 35.000 hectares.

3. O investimento necessário tanto na fase agrícola quanto industrial foi estimado em R\$ 280 milhões para uma destilaria de 2 milhões de toneladas de cana por ano, que se apóie exclusivamente na colheita mecanizada. Esse investimento se subdivide entre R\$ 205 milhões para a fase industrial e R\$ 75 milhões para a fase agrícola e corresponde ao de uma destilaria que use uma caldeira de 65 bar com capacidade média de gerar um excedente exportável 40 kWh por tonelada de cana. O custo de produção da fase agrícola foi calculado em R\$ 33,60 por tonelada cana moída com corte mecanizado e de R\$ 15,24 por tonelada de cana moída, na fase industrial, o que resulta em um custo de R\$ 0,575 ou de US\$ 0,23 por litro de álcool anidro¹³.
4. Os recursos alocados para a construção de transporte das regiões produtoras até os portos de exportação são um dos componentes principais dos investimentos a serem efetuados na expansão da oferta de álcool. O investimento necessário em infra-estrutura de transporte do álcool foi estimado em base à construção de dutos necessários para transportar até os terminais marítimos. Esse montante foi calculado extrapolando-se as cifras obtidas para a região Centro-Sul (Anexo 1) ao Norte-Nordeste, elevando-se a US\$ 8,5 bilhões ou então R\$ a 21,333 bilhões. O custo de transporte do álcool nessas condições seria particularmente atrativo. Corresponderia a US\$ 0,04 ou a R\$ 0,10 centavos por litro de etanol. De forma que teríamos um custo do litro álcool fob de R\$ 0,675 ou de US\$ 0,27.

Em base a esses parâmetros foi realizado um exercício de cenarização, no qual a principal restrição consiste na disponibilidade de terras. Esse exercício se apoiou ainda em algumas premissas, a principal sendo que deveria haver uma repartição da produção entre as grandes regiões Centro-Sul e Norte-Nordeste de 60 e 40% da produção nacional no final do período do cenário.

O critério usado para a escolha de áreas disponíveis para cana-de-açúcar foi de que a área não estivesse sendo usada em qualquer outra cultura temporária ou permanente. Entretanto, as áreas atualmente utilizadas para a pecuária foram incluídas dentro das disponíveis. Utilizou-se, também, como critério para a seleção de áreas que elas tivessem uma dimensão mínima que possibilitasse a localização de aproximadamente 15 destilarias, o que equivaleria a um *cluster*. Os levantamentos iniciais permitiram identificar uma área total disponível para a cultura de cana-de-açúcar, correspondente a 28,468 milhões de hectares, localizadas em novas zonas produtoras. Essas áreas ainda são uma primeira aproximação do conjunto de áreas disponíveis. Em decorrência, elas não compreendem o total de áreas disponíveis para a cultura da cana-de-açúcar no país. O conjunto de áreas, que esse primeiro exercício permitiu identificar, não é suficiente para atender às necessidades do Cenário 2, mas preenche, e ainda supera em 35%, as do Cenário 1, correspondente a 5% da demanda mundial estimada de gasolina.

Para simular a expansão da oferta, os cenários ainda incorporaram os investimentos em novas usinas, que são atualmente estimados em 50, todas elas

¹³ Assumiu-se uma taxa de câmbio de 1 US\$ = 2,5 R\$

localizadas na região Centro-Sul do país. Como se trata de usinas com destilarias anexas, a produção foi alocada em 60% para álcool e 40% para açúcar. Toda a produção de álcool dessas usinas foi dirigida a satisfazer o mercado interno.

As metas de exportação de 104,550 milhões de m³ serão atendidas se apoiando em nova capacidade produtiva, ainda não existente. Como há um intervalo de pelo menos dois anos entre o início de implantação dos projetos e o da produção, e que a produção só alcança a plena capacidade 4 anos depois, o exercício foi feito partindo-se de uma produção inicial 12 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, no Centro-Sul e de 8 milhões no Norte-Nordeste. Essa produção corresponderia a uma produção inicial de 24 destilarias no Centro-Sul e 16 no Norte-Nordeste¹⁴. Em menos de 18 anos esse número de destilarias cresceria para 360 no C-S e 255 no N-NE. Essa capacidade produtiva seria 6,8 vezes maior à atual produção de álcool no Brasil. A produção inicial irá crescendo de forma exponencial, até alcançar as metas de 61,2 e 43,35 milhões de m³, nas respectivas regiões, em um horizonte de 20 anos, correspondente à safra 2024/2025.

6.2.2. Cenário de Expansão da Cultura da Cana-de-Açúcar e de Álcool no País

A produção de cana-de-açúcar e de álcool está concentrada na região Centro-Sul. A região mais desenvolvida do país moeu 85,8% da cana e produziu 89,9% do álcool do país. Dentro dessa região, o Estado de São Paulo concentrou parte substancial dessa atividade produtiva, equivalente a 60% do total nacional (tabela 1). As razões que levam à produção de cana-de-açúcar a se concentrar tanto na região mais desenvolvida e rica do país são de um lado as maiores exigências dessa cultura em termos de solos e de tecnologia e por outro a sua maior rentabilidade em relação às demais culturas.

¹⁴ Supõe-se que as destilarias iniciariam processando 25% de sua capacidade produtiva no primeiro ano, 50% no segundo, 75% no terceiro e 100% no quarto ano.

**Tabela 6.2-1: Produção de Cana-de-Açúcar e de Álcool em 2004
(valores e percentuais)**

	Produção de Cana (Toneladas)	em % do Brasil	Produção de Álcool (m3)	em % do Brasil
ESTADOS				
ACRE			0	
RONDONIA			0	
AMAZONAS	267.767	0,07	4.671	0,03
PARÁ	580.999	0,15	48.405	0,32
TOCANTINS			0	0,00
MARANHÃO	1.275.119	0,33	95.905	0,63
PIAUI	349.329	0,09	19.453	0,13
CEARÁ	79.444	0,02	153	0,00
R. G. NORTE	2.886.976	0,75	87.242	0,57
PARAIBA	4.558.014	1,19	259.773	1,70
PERNAMBUCO	15.473.062	4,04	392.910	2,57
ALAGOAS	25.540.156	6,66	663.723	4,35
SERGIPE	1.303.255	0,34	52.900	0,35
BAHIA	2.203.923	0,58	62.273	0,41
NORTE-NORDESTE (*)	54.518.044	14,23	1.687.408	11,05
MINAS GERAIS	21.649.744	5,65	803.575	5,26
ESPIRITO SANTO	3.900.307	1,02	237.774	1,56
RIO DE JANEIRO	5.638.063	1,47	162.874	1,07
SÃO PAULO	230.310.237	60,09	9.103.940	59,60
PARANÁ	28.997.547	7,57	1.209.668	7,92
SANTA CATARINA	0	0,00	0	0,00
R. G. SUL	77.997	0,02	4.823	0,03
MATO GROSSO	14.447.155	3,77	814.667	5,33
MATO GROSSO DO SUL	9.700.048	2,53	533.580	3,49
GOIÁS	14.006.057	3,65	716.937	4,69
CENTRO-SUL	328.727.155	85,77	13.587.838	88,95
BRASIL	383.245.199	100,00	15.275.246	100,00

Fonte: Unica

A expansão da produção de cana e álcool não poderá mais, daqui para frente, repetir o mesmo padrão de concentração espacial que ela veio demonstrando até o momento. Os investimentos mais recentes em 50 novas usinas ainda reproduzem o mesmo padrão de concentração espacial, uma vez que 30 delas se localizam no Oeste do Estado de São Paulo. No entanto, as áreas que serão usadas neste cenário para atender às necessidades de exportação estão todas localizadas em regiões menos densamente ocupadas.

A expansão da oferta de álcool, na dimensão que foi pensada pelo Cenário 1, requererá uma ampliação, da safra de 04-05, de 15,3 para 124,3 milhões de m³, em um prazo de 20 anos. Esse incremento de produção orientar-se-á quase completamente para as exportações, que aumentarão em 104,5 milhões de m³. Uma expansão de tal magnitude implicará em uma completa redefinição da geografia do etanol no país.

As áreas, que serão beneficiadas pela expansão da produção de cana, estão localizadas nos estados do Centro-Sul (MT, MS, MG e GO) e Norte-Nordeste (MA, PI, TO e BA), que dispõe de grandes quantidades de terras férteis ainda inocupadas pela agricultura. A região N-NE, que vem assistindo a um progressivo declínio de sua importância relativa no contexto nacional, deverá voltar a ocupar, a partir de novas bases, o espaço perdido. Espera-se que essa região passe dos atuais 14,2% para aproximar-se dos 40% da produção nacional de álcool. A tabela 6.2-2 mostra como deverá se comportar a produção de cana-de-açúcar e de álcool nos próximos 20 anos, caso se concretize um novo ciclo de expansivo no país. As projeções foram feitas tomando-se como base a meta de exportação de 104,5 milhões de m³.

A meta de exportação pretendida será atendida em 40,3% pela região N-NE e em 59,7% para a região C-S. Como a base produtiva hoje existente na região C-S é muito superior, espera-se que na região N-NE ocorra um aumento relativo da produção muito mais expressivo, o qual irá adquirindo grande ímpeto no último quinquênio do cenário. Os dados da tabela 6.2-2 partem da produção existente e incluem, além dos 104,5 milhões de m³ voltados para exportação, o aumento de 80,43 milhões de toneladas de cana destinado às 50 usinas em construção.

A produção de cana-de-açúcar brasileira deverá ser multiplicada por um fator de quatro em um período de 20 anos, de forma que a taxa de crescimento média dessa produção ficará por volta de 7,7% ao ano. Essa taxa é inferior a que foi observada nos últimos quatro anos (safra 00/01 a 04/05), quando o crescimento médio foi superior a 10% a.a., mas fica bem acima da média dos últimos 14 anos (safra 90/91 a 04/05) quando a média de expansão anual da cana foi 4% a.a.. Na região N-NE, a taxa de crescimento da cultura da cana será de 12,5% a.a., ao passo que no C-S, essa média ficará em um nível inferior de 6,4% a.a.

O aumento da produção de álcool deve ser ainda mais expressivo porque o acréscimo da produção de cana estará praticamente orientado para o aumento da produção de álcool. Assim a produção de álcool deve crescer à significativa taxa anual de 17,9% a.a., ao passo que no C-S essa taxa deve ficar em 9,2% a.a.

Tabela 6.2-2: Evolução da Produção de Cana e de Álcool (*)

Safra	00/01	05/06	09/10	14/15	19/20	24/25
Cana (MT)						
- N-NE	50,5	60,2	76,8	104,5	210,5	570,2
(%)	19,6	15	16,3	18,1	25,2	35,6
- C-S	207,1	340,2	410,9	473,9	625,1	1.128,90
(%)	80,4	85	83,7	81,9	74,8	66,4
Total	257,6	400,4	487,7	578,4	835,6	1.699,10
Álcool (mil m3)						
- N-NE	1.528,7	1.740,1	3.155,8	5.503,7	14.516,0	45.108,7
(%)	14,4	10,9	14,6	19,0	28,5	36,3
-C-S	9.064,3	14.221,8	18.408,7	23.530,5	36.377,4	79.207,6
(%)	85,6	89,1	85,4	81,0	71,5	63,7
Total	10.593,0	15.961,9	21.564,9	29.034,2	50.893,4	124.316,3

(*): safra de 05/06 em diante são projeções

O aumento da oferta deve ser canalizado quase exclusivamente para a produção de álcool anidro conforme pode ser atestado pela tabela 6.2-3. A oferta de álcool hidratado aumentaria apenas na região C-S a partir dos investimentos que estão sendo realizados nas 50 usinas, que destinariam sua produção de álcool apenas para satisfazer a demanda interna por álcool hidratado.

Tabela 6.2-3: Distribuição da produção de Álcool Hidratado e Anidro

Safra	00/01	05/06	09/10	14/15	19/20	24/25
Álcool Anidro (mil m3)						
- N-NE	818,6	911,0	2.353,6	4.701,5	13.713,8	44.306,5
(%)	14,6	11,1	20,8	26,8	34,8	39,3
- C-S	4.802,4	7.331,4	8.982,5	12.835,0	25.683,0	68.513,2
(%)	85,4	89,9	79,2	73,2	65,2	60,7
Total	5.621,0	8.242,4	11.336,1	17.537,5	39.396,8	112.819,7
Álcool Hidratado (mil m3)						
- N-NE	710,1	829,0	802,2	802,2	802,2	802,2
(%)	14,3	10,7	7,8	7,0	7,0	7,0
- C-S	4.262,0	6.890,5	9.426,5	10.964,5	10.964,5	10.964,5
(%)	85,7	89,3	92,2	93,0	93,0	93,0
Total	4.972,1	7.719,5	10.228,7	11.496,7	11.496,7	11.496,7

(*): safra de 05/06 em diante são projeções

Balanco Energético da Produção de Álcool

A expansão da oferta de álcool irá aumentar o consumo interno de combustíveis fósseis. Esse aumento decorre das necessidades energéticas dos tratos culturais, da colheita e transporte da cana de açúcar. O gasto em combustível da colheita mecanizada assumida neste trabalho, que deve ser a forma dominante de expansão da cultura de cana-de-açúcar no cenário em análise, é de 295 litros de óleo Diesel para cada hectare cultivado. Deste montante, 60% seria gasto apenas na colheita da cana. Cada Destilaria com capacidade de moer 2 milhões de toneladas teria um consumo anual de 8.260 mil m3 de óleo Diesel, incluindo-se a fase agrícola e o transporte da cana-de-açúcar até a unidade de processamento.

O cenário de expansão da produção de 104.550 mil m3 de álcool anidro implicaria em um aumento no consumo de óleo Diesel correspondente 4.536 mil m3, que deve ser somado 84,7 mil m3 de lubrificantes. Esse montante, que não é nada desprezível, corresponde a 7%% do álcool a ser exportado, em equivalente energético. Esse montante corresponde a praticamente 80% do consumo de óleo Diesel do setor agrícola em 2003, equivalente a 5.680 mil m3, e a 11,6% do consumo nacional de óleo Diesel nesse mesmo ano.

Em compensação, o cenário contempla uma Destilaria com capacidade de gerar um excedente de energia elétrica de 40 KWh por tonelada de cana processada. O aumento da produção implicaria numa geração adicional de 49.200 mil MWh por ano. Esse montante corresponde a 13.5% da atual produção de energia elétrica no Brasil em 2003.

Se adotarmos apenas uma equivalência térmica de 0,086 TEP = 1 MWh, a energia exportada pelas destilarias corresponderia a 4.989,6 mil m³ de óleo Diesel. No entanto, essa substituição seria ainda maior se considerássemos a equivalência de 0,29 TEP = 1 MWh, que corresponde ao rendimento de uma central térmica segundo o Balanço Energético. Nesse contexto, o volume de energia elétrica excedente gerado equivaleria a 16.825 mil m³ de óleo Diesel. Esses dados demonstram que o custo energético de produção da cana-de-açúcar é mais do que compensado pelo ganho energético advindo da co-geração. A tabela 6.2-4 faz a contabilidade de qual seria o saldo líquido da energia exportada para fora das destilarias pelo Cenário 1, contabilizando-se apenas o equivalente calórico da energia elétrica. Mesmo assim, esse saldo seria ainda superior à produção de álcool.

Tabela 6.2-4 Balanço Energético do Cenário 1

	Volume	Valor Calórico (Gcal)
Custo		
- Óleo Diesel	4.536.139 m ³	38.466.967
- Óleo Lubrificante	84.731 m ³	718.519
Produção para Exportação		
- Álcool	104.550.000 m ³	523.795.550
- Exportação de E. Elétrica(*)	49.200.000Mwh	42.312.000
Saldo		526.922.064

(*) em equivalente calórico 1 MWh = 0,86 Gcal

Investimentos

Para alcançar a meta pretendida de exportação, deverão ser construídas 615 novas destilarias, com capacidade individual de processar 2 milhões de toneladas de cana ao ano. O investimento necessário na fase agrícola e industrial dos projetos é estimado em R\$ 172,2 bilhões. Teríamos que adicionar R\$ 21,333 bilhões em dutos e terminais marítimos para alcançar um investimento total de R\$ 193,533 bilhões. Esse montante é considerável mas representa um volume médio anual de R\$ 9,676 bilhões, que é relativamente modesto quando comparado com as dimensões atuais da economia brasileira. O PIB brasileiro, em 2004, foi R\$ 1.766 bilhões. O montante anual gasto com investimento nas destilarias de álcool corresponderia 0,5% do PIB e a 2,7% do investimento realizado nesse mesmo ano.

Se supusermos que a economia brasileira irá crescer a uma taxa média anual de 3% a.a. e que a taxa de investimento irá se manter estável, o investimento médio

anual cairia para 0,3% e 1,5%, respectivamente no final dos 20 anos. Esse montante ainda é inferior à metade do investimento anual da Petrobrás, que investiu em 2004, R\$ 19,7 bilhões. Deduz-se que a economia brasileira estaria plenamente em condições de realizar esse esforço produtivo se ela tiver mercado suficiente para escoar toda essa produção de álcool e se encontrar os canais de financiamento para esse investimento.

O financiamento e planejamento dos investimentos são passos decisivos para garantir a viabilidade do cenário proposto. O custo de US\$ 0,27 por litro de álcool FOB só será factível se houver uma certa coordenação entre os investimentos a serem realizados em todas etapas do processo agrícola, industrial e de transporte.

Exportações

Quanto ao impacto na Balança Comercial do país das exportações de álcool não deve ser desprezível. Supondo-se que o litro de etanol seja vendido no porto sem o valor de frete a US\$ 0,30, o que equivaleria a um valor de US\$ 48 por barril de petróleo, teríamos uma receita anual referente às vendas de etanol de US\$ 31,4 bilhões em 2025.¹⁵ Atualmente as exportações brasileiras somam, tomando-se os últimos 12 meses até Novembro de 2005, US 116,6 bilhões. De maneira que as exportações de álcool representariam no final de nosso cenário 27% das exportações atuais brasileiras. A evolução do valor das exportações é apresentada na figura 6.2-1.

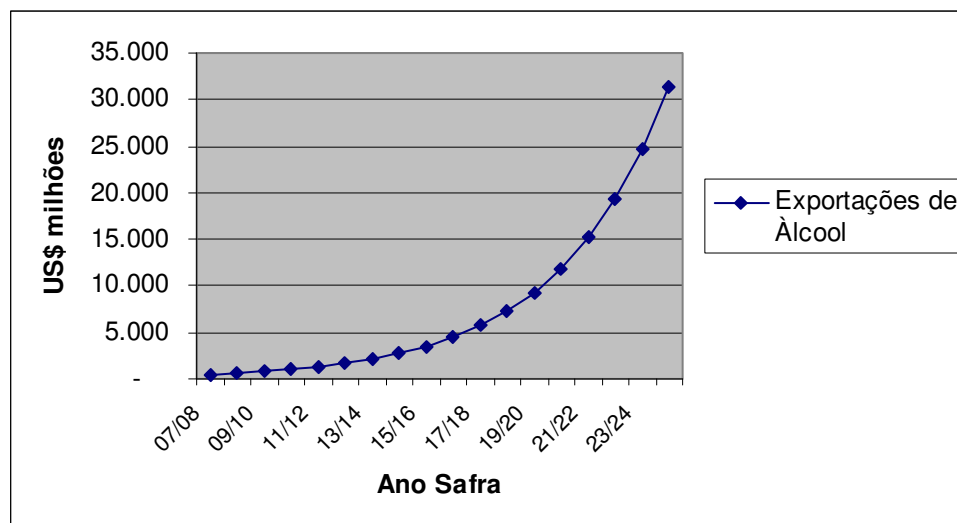


Figura 6.2-1: Projeção do Valor das Exportações de Álcool a partir da Nova Capacidade Produtiva

¹⁵ O litro de gasolina no mercado de Rotterdam foi cotado US\$ 0,44 e o barril de petróleo US\$ 58,5 em outubro de 2005. Adicionado à gasolina, numa proporção de 5%, o rendimento de 1 litro de álcool anidro equivale praticamente ao de 1 litro de gasolina.

6.3 Conclusão

O exercício de cenarização permitiu demonstrar a viabilidade de expandir a oferta de álcool de maneira a atender a meta de 5% da demanda mundial de gasolina em 2025. Esse exercício se apoiou na estimativa da disponibilidade de terras produtivas para a cana-de-açúcar e da forma como irá se comportar a oferta de álcool no país. Foram definidas 12 áreas de expansão da produção da cana-de-açúcar localizadas, em sua grande maioria, em regiões de fronteira de expansão da agricultura. Essas 12 áreas apresentam um potencial de expansão para a cultura de cana-de-açúcar de 28,4 milhões de ha. Esse montante de terras seria suficiente para alcançar, com sobra a meta do Cenário 1, porém seria insuficiente para a meta do Cenário 2, para o qual serão ampliadas ou definidas novas áreas já definidas como potencial para ampliação da cana-de-açúcar. Para efeito do Cenário 1 foram identificadas 21,5 milhões de ha que permitirão obter a produção anual de 104.550 mil m³ estabelecida para o Cenário 1.

Essa meta seria alcançada através de 615 novas destilarias, cuja produção se repartirá entre 42% para a região N-NE e 58% para a região C-S. A localização das unidades produtoras foi prevista para ocorrer em *clusters* de 15 destilarias, de forma a tornar economicamente viável o transporte do álcool até os terminais marítimos de escoamento.

O exercício de cenarização nesta etapa do Projeto foi elaborado ainda de forma estática. Todas as demais variáveis relacionadas ao desenvolvimento da agroindústria foram tomadas como dadas. Não se considerou a expansão da produção de álcool para o mercado interno e nem de açúcar a não ser através dos investimentos atualmente em curso em 50 novas usinas, todas elas localizadas no C-S. A tecnologia também foi considerada como sendo constante, adotando-se os coeficientes da destilaria padrão uniformemente ao longo dos 20 anos do cenário.

A partir dessas premissas, verificou-se que a produção de cana-de-açúcar irá multiplicar-se por um fator de quatro durante um período de 20 anos. Na região N-NE, onde a oferta está em menos de 15% da produção nacional, o crescimento médio anual ficará em 12,5% a.a., ao passo que na região C-S, por ser mais desenvolvida, essa taxa deve ficar em 6,4% a.a. Estima-se que no final do período, a participação do N-NE fique em 35,6% da produção de cana-de-açúcar nacional.

O custo de produção do álcool anidro entregue no porto, FOB, foi estimado em R\$ 0,675 ou US\$ 0,27 por litro. O volume de investimento requerido para exportar os 104,5 milhões de m³ seria de R\$ 193,5 bilhões, incluindo-se o custo da infraestrutura de transporte, que se daria quase exclusivamente por meio de dutos. Esse volume de recursos é compatível com o tamanho da economia brasileira e corresponde a menos da metade do investimento da Petrobrás em 2004. O uso de tecnologia mais eficiente de caldeira nas destilarias permitirá a geração de um excedente de energia elétrica, correspondente a 13% da produção de energia elétrica do país, em 2003. O balanço energético seria extremamente favorável à produção álcool a partir da cana-de-açúcar, uma vez que a geração de excedente elétrico será superior, mesmo adotando-se o equivalente calórico, ao consumo de diesel na etapa agrícola. Estima-se que o país venha a faturar um valor de US\$ 31,4 bilhões a partir das exportações de 104,5 milhões de m³, no ano de 2025.

7 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS

Neste capítulo, é feita a avaliação dos impactos socioeconômicos decorrentes da ampliação em grande escala da produção de etanol no Brasil. Os principais resultados são apresentados e discutidos. São também expostos a metodologia usada – um modelo estendido de insumo-produto – e os detalhes sobre a construção da base de dados – uma matriz de insumo-produto nacional para o ano de 2002.

7.1 Introdução

A energia derivada da biomassa de cana-de-açúcar pode vir a ser a base de um projeto nacional de desenvolvimento? Essa é a questão central abordada aqui. Os resultados obtidos permitem afirmar que, ao aumentar a produção de etanol em pouco mais de 800%, o Brasil obteria um aumento na renda (PIB) que equivale aproximadamente a toda economia da região Nordeste em 2002, com a geração de mais de 5 milhões de empregos. Em média, o PIB por emprego criado seria 54,6% superior ao valor observado em 2002 para todo o país, significando que o crescimento econômico poderia se dar com uma melhoria da distribuição espacial da renda. Assim, ao enfrentar o problema das disparidades regionais, a iniciativa da “cana-de-energia” poderia, de fato, contribuir para a redução da concentração de renda no Brasil.

Nas simulações aqui desenvolvidas, supõe-se que o Brasil irá produzir a quantidade adicional de 104,55 bilhões de litros de etanol, suficiente para substituir 5% do volume consumido de gasolina em escala mundial em 2025. Atingir tal meta significaria multiplicar por 9,3 a produção de álcool de 2002, avaliada em 12,6 bilhões de litros.

O cenário descrito acima não é irrealista. Muitos analistas acreditam que o momento correspondente ao pico da produção mundial de petróleo já tenha passado; para o Brasil, esse evento pode se dar por volta de 2010 (CAMPBELL, 2003; EIA, 2003). Os efeitos trazidos pela escassez em progressão na oferta de petróleo podem incluir descontinuidades capazes de alterar significativamente todo o modo de consumo e produção criado no século passado, o que KURTZ (2004) chama de “cultura da combustão”.

Algumas tendências podem ser observadas atualmente. Países produtores de petróleo – como a Venezuela – já importam quantidades significativas de etanol para misturar à gasolina, buscando gerar maiores excedentes de derivados de petróleo para exportação e, assim, aproveitar a atual conjuntura econômica favorável. Países que cultivam a cana-de-açúcar, como, por exemplo, a Índia, estudam aumentar a produção de álcool. Porém, em quase todos esses países, as áreas agriculturáveis se encontram quase que totalmente aproveitadas e uma maior produção de etanol só poderia se dar em detrimento da fabricação do açúcar. Já os países que são grandes consumidores de energia – como o Japão – vêm dedicando esforço considerável para promover o uso do etanol.

As iniciativas nos diversos países do mundo para o uso de álcool carburante irão contribuir para a formação de um mercado internacional de etanol, ainda incipiente. O Brasil deverá ter participação hegemônica no comércio internacional que se

estabelecerá, desde que não se permita negligenciar o processo de inovação para o setor eletro-sucroalcooleiro¹⁶. O desenvolvimento de tecnologias como a hidrólise enzimática na fabricação de álcool pode vir a trazer uma revolução em escala global na indústria de energia. Infelizmente, o país parece não ter ainda despertado para essa realidade, que pode surgir brevemente, talvez em razão dos enormes ganhos de produtividade nas fases agrícola e industrial que obteve nos últimos 30 anos. Embora ainda haja vastas áreas para o cultivo da cana-de-açúcar, é imperativo que o Brasil busque incessantemente o domínio de tecnologias emergentes em um setor de grande importância estratégica.

A introdução do bioetanol em escala global poderá causar profundas transformações na economia mundial. Haveria perdas para as regiões produtoras de petróleo e expressivos ganhos para países exportadores de produtos agrícolas. O comércio global já experimenta uma transição histórica marcada pela ascensão dos países em desenvolvimento com grandes extensões territoriais: Brasil, Rússia, Índia e China (os chamados BRICs). Porém, apenas o Brasil dispõe de vasta área para o cultivo de culturas energéticas, como discutido em outros capítulos.

As seções 7.2 e 7.3 discutem a metodologia de análise usada. Trata-se de uma inovação na teoria de insumo-produto, sugerida por CUNHA (2005), que representa, certamente, uma contribuição teórica relevante. A construção de uma base de dados é uma tarefa que exigiu esforço considerável, como discutido na seção 7.4. Cabe destacar, ainda, que o modelo estendido de insumo-produto e a base de dados são importantes produtos desenvolvidos especialmente no âmbito deste trabalho; porém, sua importância permanece, uma vez que serão essenciais em qualquer análise econômica envolvendo o setor eletro-sucroalcooleiro. Os impactos socioeconômicos decorrentes de passar a exportar 104,55 bilhões de litros de etanol no Brasil em um prazo de vinte anos seriam expressivos, como será exposto na seção 7.5. Os principais resultados são lá apresentados. Ao final, na seção 7.6, são expostas as principais conclusões e sugestões para futuros estudos. Uma proposta poderia ser um projeto piloto de desenvolvimento regional com base no bioetanol; uma área específica seria selecionada, para se estudar, detalhadamente, de forma transversal, todos os aspectos tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais envolvidos.

7.2 O modelo básico de insumo-produto

O modelo de insumo-produto, formulado por Wassily W. Leontief (1906-1999) na década de 1930, descreve a relação do fluxo circular da renda entre os setores produtivos da economia, e vem sendo largamente usado em todo o mundo, desde sua concepção, nos mais diversos estudos sobre economia aplicada.

Conforme ilustra a figura 7.2-1 abaixo, os setores produtivos (eventualmente chamados de indústrias ou atividades), dispostos como colunas no bloco "setores de destino", dependem em produtos dos outros setores da economia (consumo intermediário, matriz Z) e em bens e serviços importados (I), pagam impostos indiretos líquidos (IIL) e remuneram os fatores primários de produção trabalho e serviços de capital (valor adicionado a preço básico, W)¹⁷. As receitas dos setores ocorrem ao longo das linhas do bloco "setores de origem"; cada indústria recebe

¹⁶ O uso desse termo se justifica pois as usinas vêm se dedicando cada vez mais na produção de energia (álcool e eletricidade excedente).

¹⁷ O valor adicionado a preço básico inclui os impostos diretos (sobre a produção).

dos outros setores pelo fornecimento de insumos (consumo intermediário, matriz Z), como também dos bens e serviços entregues à demanda final (Y), que tem, como componentes principais, o consumo das famílias, os gastos do governo, os investimentos e as exportações. Em equilíbrio, a economia tem de ter as despesas (soma ao longo das colunas do bloco "setores de destino") iguais às respectivas receitas (soma através das linhas do bloco "setores de origem"); essas somas são identificadas pelo vetor X (produção total ou valor da produção).

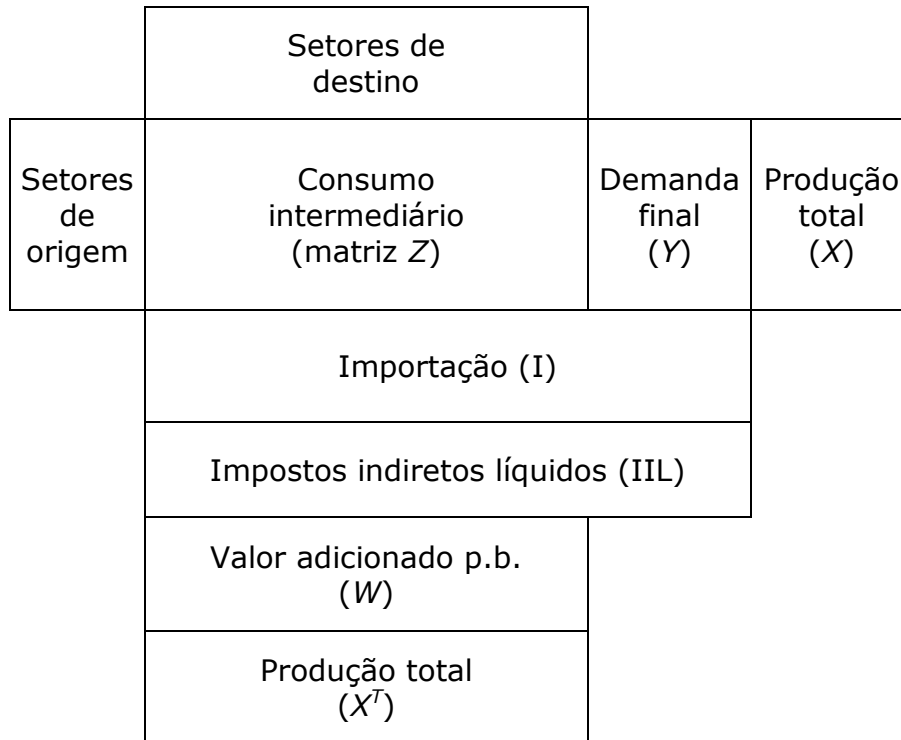


Figura 7.2-1: O modelo de insumo-produto

As equações do modelo básico de insumo-produto são dadas pelas linhas do bloco "setores de origem" mostrado na figura abaixo:

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} + C_i + G_i + I_i + E_i = X_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (7.1)$$

onde

- z_{ij} : valor despendido pela indústria j na compra do insumo-produzido pelo setor i ;
- C_i : valor do produto do setor i consumido pelas famílias;
- G_i : gastos do governo no produto do setor i ;
- I_i : valor do produto do setor i destinado ao investimento (formação bruta de capital fixo);
- E_i : valor do produto do setor i que é exportado; e
- X_i : valor total das receitas do setor i .

A demanda final doméstica do setor i é dada pela soma do consumo das famílias, gastos do governo e investimentos:

$$C_i + G_i + I_i$$

A demanda final pelo produto do i -ésimo setor é obtida acrescentando-se o valor das exportações:

$$Y_i = C_i + G_i + I_i + E_i \quad (7.2)$$

A equação 7.3 define o coeficiente técnico direto de produção, a_{ij} , que é a quantidade de insumo do setor i necessária para a produção de uma unidade de produto total do setor j , onde X_j é a produção total do setor j :

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{X_j} \quad (7.3)$$

Como o modelo de insumo-produto supõe retornos constantes à escala, isto é, as funções de produção são lineares e homogêneas de grau 1, os elementos a_{ij} que formam a matriz de coeficientes técnicos A não dependem do valor da produção X_j .

O destino da produção de um setor i qualquer é dado pelo consumo intermediário somado à demanda final. Combinando-se as equações 7.1, 7.2 e 7.3 resulta

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + Y_i = X_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (7.4)$$

Em forma matricial, a equação 7.4 torna-se

$$AX + Y = X \quad (7.5)$$

em que X e Y são vetores coluna de ordem $n \times 1$ e $A = [a_{ij}]$ ($n \times n$) é a matriz dos coeficientes técnicos diretos.

Resolvendo-se a equação matricial 7.5, obtém-se

$$X = (I - A)^{-1}Y = BY \quad (7.6)$$

onde $B = (I - A)^{-1}$ é a matriz de coeficientes técnicos diretos e indiretos, conhecida como matriz inversa de Leontief.

A partir da equação 7.6, pode-se obter a produção total que é necessária para satisfazer a demanda final (Y), formada exogenamente. Pode-se, também, avaliar o impacto sobre a produção de todos os setores, decorrentes de um choque (diminuição ou aumento) na demanda final (MILLER e BLAIR, 1985).

Como exemplo didático, considere-se a matriz de insumo-produto mostrada na Tabela 7.2-1, agregada em três setores: agropecuária, indústria e serviços. A área sombreada na tabela corresponde ao consumo intermediário (consumo entre os setores produtivos).

Tabela 7.2-1: Economia agregada em três setores

Brasil 2002 [R\$ bilhões]	Agro- pecuária	Indústria	Serviços	Demanda final (Y)	Demanda total (X)
Agropecuária	29,71	90,34	6,19	68,56	194,80
Indústria	37,89	477,83	148,05	578,79	1.242,55
Serviços	13,33	102,31	246,47	743,81	1.105,91
Importação	4,16	86,12	34,71	55,57	
Impostos indiretos	4,81	26,65	35,57	79,86	
Trabalho	12,09	108,49	427,50		
Capital	93,01	292,36	178,95		
Impostos diretos	-0,19	58,47	28,48		
Produção (X^T)	194,80	1.242,55	1.105,91		
Empregos [mil]	12.508,4	13.097,7	40.767,1		

Aplicando-se a equação 7.3, a seguinte matriz de coeficientes técnicos diretos (A) é obtida (tabela 7.2-2).

Tabela 7.2-2: Matriz de coeficientes técnicos diretos A

A	Agro- pecuária	Indústria	Serviços
Agropecuária	0,153	0,073	0,006
Indústria	0,194	0,385	0,134
Serviços	0,068	0,082	0,223

Assim, ao produzir R\$ 1,00, o setor de agropecuária terá que despende R\$ 0,153 em insumos do próprio setor, R\$ 0,194 nos produtos do setor indústria e R\$ 0,068 no produto do setor serviços. O efeito direto decorrente de um aumento da demanda final pelo produto do setor de agropecuária em R\$ 1 é dado pela soma de R\$ 1 (efeito direto inicial), R\$ 0,153, R\$ 0,194 e R\$ 0,068, sendo igual a R\$ 1,415.

Já os efeitos direto e indireto vêm da matriz inversa de Leontief, dada por $B = (I - A)^{-1}$ (equação 7.6). Então, a matriz $I - A$ será como abaixo (tabela 7.2-3).

Tabela 7.2-3: A matriz $I - A$

$I - A$	Agro- pecuária	Indústria	Serviços
Agropecuária	0,847	-0,073	-0,006
Indústria	-0,194	0,615	-0,134
Serviços	-0,068	-0,082	0,777

B é a matriz inversa de $I - A$ (tabela 7.2-4)

Tabela 7.2-4: A matriz inversa de Leontief

$(I - A)^{-1}$	Agro-pecuária	Indústria	Serviços
Agropecuária	1,217	0,148	0,034
Indústria	0,417	1,714	0,298
Serviços	0,151	0,195	1,321

Desse modo, podem-se determinar os impactos diretos e indiretos sobre os níveis de produção dos setores produtivos da economia se qualquer uma das componentes da demanda final – investimento, exportações, gastos do governo ou consumo das famílias – mudar. Por exemplo, se as exportações do produto do setor de agropecuária crescerem em R\$ 1 bilhão, então os níveis de produção aumentam de acordo com a equação 7.6:

$$\begin{bmatrix} 1,217 & 0,148 & 0,034 \\ 0,417 & 1,714 & 0,298 \\ 0,151 & 0,195 & 1,321 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,217 \\ 0,417 \\ 0,151 \end{bmatrix}$$

O resultado acima mostra que para atender a um crescimento de R\$ 1 bilhão na demanda final pelo produto do setor de agropecuária, as produções totais dos setores de agropecuária, indústria e serviços terão de aumentar de R\$ 1,217 bilhões, R\$ 0,417 bilhões e R\$ 0,151 bilhões, respectivamente, somando R\$ 1,785 bilhões. Assim, ao todo, a economia terá de produzir R\$ 1,785 bilhões. A razão entre R\$ 1,785 bilhões (efeito) e R\$ 1 bilhão (causa), igual a 1,785, é chamada multiplicador de produção, correspondente ao setor de agropecuária. Os multiplicadores que captam os efeitos diretos e indiretos envolvidos na cadeia produtiva são chamados multiplicadores tipo I. Analogamente, os multiplicadores de produção dos setores indústria e serviços são 2,057 e 1,653, respectivamente. Pode-se notar que os multiplicadores de produção são dados pela soma das linhas da matriz inversa de Leontief, B .

Alterando-se o modelo básico de insumo-produto, é possível também avaliar o chamado efeito induzido (ou efeito-renda), que corresponde ao acréscimo no nível de produção dos setores devido ao aumento no consumo das famílias propiciado por um ganho da renda resultante da remuneração dos fatores trabalho e capital.

Como visto acima, se as exportações do produto da agropecuária aumentarem em R\$ 1 bilhão, os efeitos direto e indireto sobre os níveis de produção dos setores agropecuária, indústria e serviços são dados pelos multiplicadores de produção, respectivamente R\$ 1,217 bilhões, R\$ 0,417 bilhões e R\$ 0,151 bilhões. Quando acionados, esses setores irão remunerar os fatores primários mão-de-obra e serviços de capital, que constituem a renda das famílias (trabalhadores e capitalistas). As famílias alocam a renda no consumo dos bens e serviços produzidos pela economia, o que leva a um aumento imediato no nível de produção de todos os seus setores. O ciclo, então, se repete, indefinidamente, até que as perturbações resultantes se tornem desprezíveis. Agregando-se as sucessivas alterações no nível de produção de cada um dos setores, chega-se ao chamado efeito induzido ou efeito renda.

Suponha-se, novamente, que as exportações do produto da agropecuária aumentam em R\$ 1 bilhão. Para se calcular matematicamente o efeito-renda, é necessário tornar as famílias endógenas ao modelo de insumo-produto. As famílias

passam a ser tratadas como um setor adicional na economia. Seus gastos serão dados pelo vetor de consumo que consta da demanda final. Suas receitas são calculadas subtraindo-se parte dos pagamentos pelos serviços de capital (resto do capital) da remuneração dos fatores de produção. Os gastos são menores que as despesas na tabela abaixo, pois as famílias poupam um percentual – 5% no exemplo dado – de suas receitas.

Tabela 7.2-5: Tabela de transações agregada para o Brasil em 2002

Brasil 2002 [R\$ bilhões]	Agro- pecuária	Indústria	Serviços	Famílias	Resto da demanda final	Deman- da total (X)
Agropecuária	29,71	90,34	6,19	41,60	26,97	194,80
Indústria	37,89	477,83	148,05	216,92	361,87	1.242,55
Serviços	13,33	102,31	246,47	429,65	314,16	1.105,91
Famílias	57,28	250,55	514,46			
Importação	4,16	86,12	34,71	28,07	27,49	
Impostos indiretos	4,81	26,65	35,57	64,94	14,92	
Resto do capital	47,82	150,30	92,00			
Impostos diretos	-0,19	58,47	28,48			
Produção (X^T)	194,80	1.242,55	1.105,91	781,17		
Empregos [mil]	12.508,4	13.097,7	40.767,1			

Repetindo-se os mesmos passos vistos anteriormente para o cálculo dos multiplicadores do tipo I, pode-se obter a matriz inversa de Leontief correspondente à tabela 7.2-5, levando à tabela 7.2-6.

A equação 7.6 torna-se, agora,

$$\begin{bmatrix} 1,341 & 0,265 & 0,200 & 0,242 \\ 1,076 & 2,331 & 1,178 & 1,285 \\ 0,936 & 0,929 & 2,370 & 1,531 \\ 1,046 & 0,980 & 1,399 & 2,042 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,341 \\ 1,076 \\ 0,936 \\ 1,046 \end{bmatrix}$$

Tabela 7.2-6: Matriz inversa de Leontief para o cálculo dos multiplicadores do tipo II

$(I - A)^{-1}$	Agro- pecuária	Indústria	Serviços	Famílias
Agropecuária	1,341	0,265	0,200	0,242
Indústria	1,076	2,331	1,178	1,285
Serviços	0,936	0,929	2,370	1,531
Famílias	1,046	0,980	1,399	2,042

O resultado acima mostra que, para atender a um aumento de R\$ 1 bilhão no resto da demanda final do produto da agropecuária, as produções totais dos setores de agropecuária, indústria e serviços terão de aumentar, pela ordem, em R\$ 1,341 bilhão, R\$ 1,076 bilhão e R\$ 0,936 bilhão, somando R\$ 3,353 bilhões. O quociente entre R\$ 3,353 bilhões (efeito) e R\$ 1 bilhão (causa), igual a 3,353, é chamado multiplicador de produção do tipo II correspondente ao setor de agropecuária,

captando os efeitos direto, indireto e induzido decorrentes do aumento nas exportações do produto da agropecuária em R\$ 1 bilhão. Analogamente, os multiplicadores do tipo II para os setores da indústria e de serviços são, respectivamente, 3,525 e 3,748.

Além dos efeitos sobre o nível da produção setorial, podem ser quantificados também outros efeitos, como, por exemplo, os impactos sobre empregos e PIB setorial.

Os impactos sobre o pessoal ocupado (empregos) são obtidos multiplicando-se os níveis de produção resultantes de uma dada alteração na demanda final pelos respectivos coeficientes técnicos diretos de empregos, calculados de forma semelhante à equação 7.3. Pode-se mostrar que um aumento de R\$ 1 bilhão nas exportações do produto da agropecuária resulta em um acréscimo de 131.953 postos de trabalho, considerando os efeitos diretos, indiretos e induzidos.

Os impactos sobre o valor adicionado (PIB) são medidos de forma análoga. Basta lembrar que o PIB setorial nada mais é que a soma dos impostos (receitas do governo) com as remunerações dos fatores primários de produção. Por exemplo, o valor adicionado para o setor de agropecuária em 2002 foi de R\$ 109,72 bilhões, que é a soma de R\$ 4,81 bilhões, R\$ 12,09 bilhões, R\$ 93,01 bilhões e R\$ -0,19 bilhão (subsídio). Portanto, o coeficiente técnico direto do PIB para o setor de agropecuária é $109,72/194,80 = 0,563$. Pode-se mostrar que, ao aumentar as exportações do produto do setor agropecuário em R\$ 1 bilhão, o PIB crescerá em R\$ 1,746 bilhão, levando-se em consideração os efeitos diretos, indiretos e induzidos.

Em resumo, embora de concepção simples, o modelo de insumo-produto é capaz de capturar os efeitos direto, indireto e induzido, de alterações na demanda final, nem sempre intuitivos, em toda a estrutura produtiva da economia.

Na seção 7.3, é descrito o método aqui construído para a análise de impactos socioeconômicos, que traz avanços significativos em relação ao modelo básico de insumo-produto.

7.3 O modelo estendido de insumo-produto

Como explicado na seção anterior, os impactos decorrentes de um aumento nas exportações de etanol – objetivo deste capítulo – podem ser avaliados em diferentes métricas: nível de produção setorial, empregos e PIB, entre outras.

O etanol no Brasil é produzido em destilarias anexas (usinas que produzem álcool e açúcar) e autônomas (unidades que produzem somente álcool). De um total de 318 usinas existentes em 2002, 199 tinham destilarias anexas, 104 eram autônomas e apenas 15 produziam somente açúcar.

A cana-de-açúcar pode ser colhida manualmente ou mecanicamente, com o auxílio de máquinas colhedoras. Na safra de 2002-2003, cerca de 27% da cana no Brasil era colhida mecanicamente; estima-se que esse percentual tenha atingido 35% para a safra de 2005-2006.

Um modelo estendido de insumo-produto – capaz de explorar as diferentes configurações tecnológicas sobre o modo de produção do álcool e na forma de

colheita da cana-de-açúcar – foi desenvolvido especialmente para o presente estudo. Em todas as simulações, supõe-se que a colheita da cana-de-açúcar seja totalmente mecanizada e, também, que todo o álcool seja produzido, daqui para a frente, em destilarias autônoma. Essa é a configuração tecnológica esperada para o cenário traçado no estudo.

Como mostrado na seção 7.1, a produção doméstica de álcool será multiplicada por um fator de 9,3 em relação à quantidade observada em 2002 (ano base do estudo), para que o Brasil possa substituir 5% de toda a gasolina consumida no mundo em 2025.

Serão, então, avaliados os impactos socioeconômicos correspondentes às fases de investimento – incluindo, além da instalação da capacidade de produção, a parte agrícola, a infra-estrutura de transporte dutoviário e a ampliação dos terminais portuários – e operação das futuras destilarias autônomas.

No ano base de 2002, 15% da produção de álcool foi feita em destilarias autônomas e 27% da colheita de cana foi colhida mecanicamente. Como já mencionado anteriormente, ambos esses percentuais serão, nas simulações, fixados em 100% ao se expandir a produção de etanol e cana-de-açúcar. Para isso, foi necessário modificar o modelo básico de insumo-produto de forma a permitir que as unidades industriais e agrícolas de diferentes concepções tecnológicas operem simultaneamente.

O construto teórico aqui adotado pode ser entendido usando-se o modelo simplificado, apresentado imediatamente a seguir.

Considere-se uma economia com 7 setores produtivos:

- S_1 : cana-de-açúcar inteiramente colhida por via manual;
- S_2 : cana-de-açúcar com colheita totalmente mecanizada;
- S_3 : etanol produzido em destilaria anexa;
- S_4 : etanol produzido em destilaria autônoma;
- S_5 : cana-de-açúcar total;
- S_6 : etanol total;
- S_7 : resto da economia.

Além dos setores acima, são indicados na tabela também:

- Y : demanda final;
- X : gastos ou receitas dos setores produtivos;
- W : agregado de importações, impostos e remuneração dos fatores primários (trabalho e serviços de capital).

Tabela 7.3-1: Matriz de transações para o modelo estendido de insumo-produto

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	Y	X
S_1					X_1				X_1
S_2					X_2				X_2
S_3						X_3			X_3
S_4						X_4			X_4
S_5	$a_{51}X_1$	$a_{52}X_2$	$a_{53}X_3$	$a_{54}X_4$			$a_{57}X_7$	Y_5	X_5
S_6	$a_{61}X_1$	$a_{62}X_2$	$a_{63}X_3$	$a_{64}X_4$			$a_{67}X_7$	Y_6	X_6
S_7	$a_{71}X_1$	$a_{72}X_2$	$a_{73}X_3$	$a_{74}X_4$			$a_{77}X_7$	Y_7	X_7
W	$a_{W1}X_1$	$a_{W2}X_2$	$a_{W3}X_3$	$a_{W4}X_4$			$a_{W7}X_7$	Y_W	X_W
X^T	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_W	

As transações são mostradas na tabela 7.3-1, acima.

Por construção, o setor agregado correspondente ao resto da economia (S_7) e a demanda final (Y) consomem apenas os produtos dos setores de cana-de-açúcar total (S_5), álcool total (S_6) e resto da economia (S_7). Cabe notar que toda a produção dos setores de cana-de-açúcar inteiramente colhida por via manual (S_1) e cana-de-açúcar com colheita totalmente mecanizada (S_2) é alocada no consumo intermediário do setor de cana-de-açúcar total (S_5). Analogamente, toda a produção dos setores de etanol produzido em destilaria anexa (S_3) e etanol produzido em destilaria autônoma (S_4) é alocada no consumo intermediário do setor de etanol total (S_6). A tecnologia usada nos setores S_5 e S_6 é linear, significando que a produção ali gerada pode usar os insumos necessários em qualquer proporção. A tecnologia empregada nos outros setores é do tipo Leontief, uma característica do modelo de insumo-produto. É esse o artifício que permite que um mesmo bem – no caso cana-de-açúcar ou etanol – possa ser produzido por múltiplos setores com tecnologias distintas, como discutido em CUNHA (2005).

As transações descritas na tabela 7.3-1 podem ser traduzidas em equações matemáticas, como mostrado a seguir.

A tecnologia linear adotada no setor de cana-de-açúcar total (S_5) permite escrever:

$$X_1 = \alpha X_5 \quad (7.7)$$

$$X_2 = \beta X_5 \quad (7.8)$$

$$\alpha + \beta = 1, 0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \beta \leq 1$$

Assim, o produto de S_5 pode ser obtido combinando-se quantidades dos produtos de S_1 e S_2 nas proporções α e β quaisquer. Em outras palavras, para os setores consumidores de cana-de-açúcar, não importa qual tecnologia (S_1 ou S_2) foi empregada em sua produção.

Analogamente, para o setor de álcool total (S_6), têm-se:

$$X_3 = \gamma X_6 \quad (7.9)$$

$$X_4 = \delta X_6 \quad (7.10)$$

$$\gamma + \delta = 1, 0 \leq \gamma \leq 1, 0 \leq \delta \leq 1$$

O modelo básico de insumo-produto se aplica às linhas correspondentes aos setores S_5 , S_6 e S_7 na tabela de transações:

$$\begin{cases} a_{51} X_1 + a_{52} X_2 + a_{53} X_3 + a_{54} X_4 + a_{57} X_7 + Y_5 = X_5 \\ a_{61} X_1 + a_{62} X_2 + a_{63} X_3 + a_{64} X_4 + a_{67} X_7 + Y_6 = X_6 \\ a_{71} X_1 + a_{72} X_2 + a_{73} X_3 + a_{74} X_4 + a_{77} X_7 + Y_7 = X_7 \end{cases} \quad (7.11)$$

Substituindo-se as equações 7.7, 7.8, 7.9 e 7.10 em 7.11 vem:

$$\begin{cases} (a_{51} \alpha + a_{52} \beta) X_5 + (a_{53} \gamma + a_{54} \delta) X_6 + a_{57} X_7 + Y_5 = X_5 \\ (a_{61} \alpha + a_{62} \beta) X_5 + (a_{63} \gamma + a_{64} \delta) X_6 + a_{67} X_7 + Y_6 = X_6 \\ (a_{71} \alpha + a_{72} \beta) X_5 + (a_{73} \gamma + a_{74} \delta) X_6 + a_{77} X_7 + Y_7 = X_7 \end{cases} \quad (7.12)$$

O sistema (7.12) é semelhante ao sistema (7.4), tendo variáveis exógenas Y_5 , Y_6 e Y_7 e variáveis endógenas X_5 , X_6 e X_7 . Os parâmetros α , β , γ e δ servem para determinar a composição setorial de S_5 e S_6 .

Em notação matricial, o sistema de equações 7.12 torna-se:

$$\bar{A} X + \bar{Y} = \bar{X}$$

onde

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} a_{51} \alpha + a_{52} \beta & a_{53} \gamma + a_{54} \delta & a_{57} \\ a_{61} \alpha + a_{62} \beta & a_{63} \gamma + a_{64} \delta & a_{67} \\ a_{71} \alpha + a_{72} \beta & a_{73} \gamma + a_{74} \delta & a_{77} \end{bmatrix}$$

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} X_5 \\ X_6 \\ X_7 \end{bmatrix}$$

$$\bar{Y} = \begin{bmatrix} Y_5 \\ Y_6 \\ Y_7 \end{bmatrix}$$

Portanto, os valores da produção dos setores S_5 , S_6 e S_7 são dados por:

$$\bar{X} = (I - \bar{A})^{-1} \bar{Y} \quad (7.13)$$

Todas as aplicações discutidas na seção 7.2 podem ser feitas usando-se agora o modelo estendido de insumo-produto representado pela equação 7.13.

A matriz de coeficientes técnicos para o modelo estendido (agregado) é dada abaixo (tabela 7.3-2).

Fixando-se os valores para os parâmetros de composição setorial, é possível simular a penetração de tecnologias de produção inexistentes na base de dados inicial. Por exemplo, para se determinar os impactos da mecanização nos empregos do setor de cana-de-açúcar, basta resolver o modelo tomando-se $\alpha = 0$ e $\beta = 1$ e comparar o resultado com o caso base.

Tabela 7.3-2: A tabela 7.3-1 para o Brasil em 2002

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	Y	X
S_1					X_1				X_1
S_2					X_2				X_2
S_3						X_3			X_3
S_4						X_4			X_4
S_5	0,0665	0,0695	0,4608	0,3975			0,0016		X_5
S_6	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000			0,0039		X_6
S_7	0,4064	0,4999	0,1389	0,2013			0,4175		X_7
M	0,0261	0,0228	0,0038	0,0038			0,0489		
PIB	0,5010	0,4078	0,3965	0,3973			0,5281		
PO	0,0622	0,0103	0,0021	0,0030			0,0261		
X^T	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_Y	

Na tabela 7.3-3, é mostrada a matriz \bar{A} para o caso base, caracterizado por $\alpha = 73\%$ (colheita manual), $\beta = 27\%$ (colheita mecânica), $\gamma = 85\%$ (destilaria anexa) e $\delta = 15\%$ (destilaria autônoma).

Tabela 7.3-3: A matriz \bar{A} para a colheita de 2002-2003

	S_5	S_6	S_7	Y	X
S_5	0,0673	0,4070	0,0016		X_5
S_6	0,0000	0,0000	0,0039		X_6
S_7	0,4317	0,1920	0,4175		X_7
M	0,0252	0,0038	0,0489		
PIB	0,4758	0,3972	0,5281		
PO	0,0482	0,0029	0,0261		
X^T	X_5	X_6	X_7	X_Y	

Fazendo-se, agora, um "choque paramétrico", caracterizado por $\alpha = 0\%$ (colheita manual), $\beta = 100\%$ (colheita mecânica), $\gamma = 85\%$ (destilaria anexa) e $\delta = 15\%$ (destilaria autônoma), i.e., supondo-se que a colheita no base de 2002 tenha sido totalmente mecanizada, então \bar{A} torna-se como mostrado na tabela 7.3-4.

Tabela 7.3-4: A matriz \bar{A} com mecanização da colheita de 2002-2003

	S_5	S_6	S_7	Y	X
S_5	0,0695	0,4070	0,0016		X_5
S_6	0,0000	0,0000	0,0039		X_6
S_7	0,4999	0,1920	0,4175		X_7
M	0,0228	0,0038	0,0489		
PIB	0,4078	0,3972	0,5281		
PO	0,0103	0,0029	0,0261		
X^T	X_5	X_6	X_7	X_Y	

Com a alteração nos coeficientes tecnológicos, mudam, em todos os setores, o valor da produção, o PIB e o pessoal ocupado.

A situação existente no ano base e as variações absolutas são mostradas abaixo, nessa ordem (tabela 7.3-5 e 7.3-6).

Tabela 7.3-5: Valor da produção, PIB e pessoal ocupado em 2002

	S_5	S_6	S_7	Total
Valor da produção [R\$ bilhões]	9,41	11,50	2.522,36	2.543,26
PIB [R\$ bilhões]	4,48	4,57	1.332,02	1.341,06
Pessoal ocupado [mil]	453,00	33,07	65.887,13	66.373,2

Tabela 7.3-6: Variações absolutas do valor da produção, PIB e pessoal ocupado como resultado do choque paramétrico aplicado

	S_5	S_6	S_7	Total
Valor da produção [R\$ bilhões]	0,03	0	1,13	1,16
PIB [R\$ bilhões]	-0,63	0	0,59	-0,03
Pessoal ocupado [mil]	-355.853	13	29.402	-326.439

O setor de cana-de-açúcar (S_5) perde 355.853 empregos (cortadores manuais basicamente), uma queda de 79% (!), mas o resto da economia (S_7) tem um ganho de 29.402 postos de trabalho. Ao todo, são perdidos 326.439 empregos.

Como se pode perceber, o modelo estendido de insumo-produto pode ser uma ferramenta valiosa para a análise de impactos socioeconômicos de sistemas tecnologicamente diversificados.

No modelo completo aqui construído, considera-se uma economia formada por 45 setores, supondo-se que as novas unidades produtoras de álcool serão somente destilarias autônomas que usam apenas cana-de-açúcar colhida mecanicamente.

A construção da base de dados para o modelo estendido de insumo-produto é discutida na seção 7.4.

7.4 Base de dados

Teorizar requer inspiração e conhecimento técnico, enquanto o levantamento de dados – particularmente para a implementação de modelos de grande porte – necessita muito sangue, suor e lágrimas. Deparamo-nos freqüentemente com uma superprodução de modelos e um subinvestimento – intelectual e financeiro – na compilação das bases de dados necessárias à sua implementação.

(Leontief, W., "Input-Output Data Base for Analysis of Technological Change", *Economic System Research*, Vol. 1, Nº 3, 1989)

A implementação de modelos de insumo-produto e equilíbrio geral requer, antes de mais nada, uma representação quantitativa da economia em um determinado instante, descrevendo as transações entre os agentes econômicos de interesse. Os dados podem ser dispostos em uma matriz de insumo-produto (CASLER, 2004) ou em uma matriz de contabilidade social (REINERT e ROLAND-HOLST, 1997).

Como indicado pelo próprio Leontief acima, freqüentemente a construção da base de dados acaba sendo a tarefa que mais exige cuidado e dedicação. A estrutura matemática de um modelo de insumo-produto é razoavelmente simples e sua precisão depende sobremaneira do acerto dos dados usados.

O desenvolvimento da base de dados seguiu duas fases distintas.

Inicialmente, foi necessário atualizar a matriz de insumo-produto nacional mais recente publicada pelo IBGE, que se refere ao ano de 1996. Para tal, desenvolveu-se um método que se revelou bastante consistente em testes realizados. Devido à sua fundamental importância, o procedimento em si já poderia ser considerado uma grande contribuição aos métodos de economia aplicada. Usando outras informações do próprio IBGE sobre as contas nacionais do Brasil, foi estimada uma matriz de transações para 2002, como exposto na subseção 7.4.1.

Em seguida, as indústrias de álcool e de cana-de-açúcar tiveram de ser desagregadas dos setores em que aparecem nas tabelas econômicas do IBGE. A abertura desses setores na matriz de transações foi feita usando-se informações detalhadas de engenharia obtidas separadamente de expertos e publicações especializadas. Com o detalhamento da variedade tecnológica existente nos setores de cana-de-açúcar e álcool, fez-se necessário modificar a própria estrutura teórica de insumo-produto, levando ao desenvolvimento do modelo estendido apresentado na seção 7.3, uma outra inovação que decorre do trabalho aqui desenvolvido.

Os detalhes da construção da base de dados nessas duas etapas são descritos nas próximas duas subseções.

7.4.1 Atualização da matriz de insumo-produto

A matriz de insumo-produto divulgada pelo IBGE é composta de quinze tabelas, como apresentado a seguir. Contudo, desde 1997 até aqui, o IBGE vem oferecendo apenas as tabelas 1 e 2 em seu sistema de contas nacionais. O trabalho desenvolvido consistiu em obter a melhor estimativa possível para as outras tabelas no ano de 2002, a partir das tabelas completas para o ano de 1996 e das tabelas 1 e 2 para os anos de 1997 a 2002. As tabelas 1 e 2 passam por revisões sucessivas pelo IBGE, estando consolidadas apenas as referentes até o ano de 2002. Essa é a razão de se ter escolhido 2002 como ano base.

Não há um procedimento único para obter tais estimativas. Em geral, é necessário aplicar um método numérico para ajustar os resultados estimados com as tabelas conhecidas.

Dos métodos pesquisados, cabe destacar:

1. O método biproporcional de ajuste, que implica manter, para a matriz estimada, a mesma estrutura tecnológica das tabelas disponíveis (MILLER e BLAIR, 1985);
2. Método *ad-hoc* de estimação, que consiste em fazer a distribuição proporcional dos valores de importação, impostos e margens, usando como referência os valores transacionados a preço de consumidor (tabela 2), como sugerido por GUILHOTO e SESSO (2005).

Tabela 7.4-1: Tabelas componentes da matriz de insumo-produto

1	Tabela de recursos
2	Tabela de usos a preço de consumidor
3	Tabela de usos doméstica a preço básico
4	Tabela de usos importada a preço básico
5	Tabela de imposto de importação
6	Tabela de ICMS sobre domésticos
7	Tabela de ICMS sobre importados
8	Tabela de IPI/ISS sobre domésticos
9	Tabela de IPI/ISS sobre importados
10	Tabela de margem de comércio sobre domésticos
11	Tabela de margem de comércio sobre importados
12	Tabela de margem de transporte sobre domésticos
13	Tabela de margem de transporte sobre importados
14	Tabela de margem e outros impostos sobre domésticos
15	Tabela de margem e outros impostos sobre importados

A crítica feita ao primeiro método refere-se à hipótese não muito razoável de se manter a mesma estrutura tecnológica de um período para outro. Com relação ao segundo, cabe observar que, muitas vezes, são obtidos valores que carecem de significado econômico – por exemplo, o aparecimento de transações inesperadas para alguns setores, algumas de valor negativo.

Optou-se, assim, por desenvolver um método próprio para obter as estimativas das tabelas mais recentes. Sucintamente, considera-se que a mudança na estrutura tecnológica da matriz estimada será dada pela alteração dos coeficientes técnicos a preço de consumidor da tabela mais recente conhecida. Deste modo, obtém-se matrizes que, quando somadas, não correspondem à matriz conhecida (tabela 2). O método biproporcional de ajuste (também conhecido como método RAS) é então aplicado. Basicamente, o procedimento consiste em estimar as mudanças tecnológicas a partir de dados conhecidos, para, posteriormente, se fazerem os ajustes necessários.

A tabela 3 contém o consumo intermediário a preço básico de 42 setores e 80 produtos (agregação padrão adotada pelo IBGE), sendo a mais importante a ser obtida. Os setores e os produtos constantes nas tabelas do sistema de contas nacionais do IBGE são exibidos nas tabelas 7.4-2 e 7.4-3, respectivamente (note-se que o setor de código 09 não existe).

O método proposto foi testado numericamente para os dados conhecidos de 1990 a 1996, com o intuito de comparar os resultados estimados com os verdadeiros (i.e., divulgados). O critério usado foi comparar os multiplicadores de produção, calculados a partir de duas matrizes de insumo-produto: a estimada pelo método desenvolvido e a publicada pelo IBGE. A diferença mostrou-se bem pequena – cerca de 1,14% em termos do desvio médio simples – e o método de atualização foi assim validado.

Na construção da tabela padrão de insumo-produto, requer-se que cada setor produza um único produto e que cada produto seja produzido por um único setor. Entretanto, os dados disponíveis pelo IBGE (tabela 1) mostram muitos dos 42 setores da economia produzindo mais de um produto entre os 80 relacionados.

Fez-se necessário, portanto, a partir dos dados existentes, obter uma matriz normalizada – necessariamente de dimensão quadrada – de consumo intermediário

entre os setores. Diversos enfoques podem ser usados para tal. Optou-se aqui pela abordagem setor *versus* setor e tecnologia baseada na indústria.¹⁸ Pela hipótese da tecnologia da indústria, os produtos secundários requerem, em proporção, a mesma composição dos mesmos insumos usados naquela indústria em que são produzidos. Por exemplo, se o setor de açúcar gera eletricidade como produto secundário e se a eletricidade corresponde a 5% do valor da produção da indústria de açúcar, então exatamente 5% de cada insumo usado na indústria do açúcar são alocados na produção de eletricidade¹⁹. Do ponto de vista matemático, essa hipótese implica na normalização da tabela de transações por colunas (REINERT e ROLAND-HOLST, 1997).

7.4.2 Desagregação setorial

Após a obtenção da matriz de insumo-produto nacional normalizada para o ano base de 2002, com as 42 atividades econômicas indicadas na tabela 7.4-2, os subsetores de cana-de-açúcar, álcool e gasoálcool (terminologia adotada pelo IBGE para a chamada gasolina C) foram desagregados dos setores de agropecuária, elementos químicos não-petroquímicos e comércio, respectivamente.

O trabalho da desagregação desses três setores foi facilitado, em parte, em razão de os *produtos* cana-de-açúcar, álcool e gasoálcool constarem das tabelas de recursos e usos publicadas pelo IBGE (pode-se notar que eles estão incluídos entre os produtos exibidos na tabela 7.4-3).

Na prática, desagregar esses três setores significa introduzir mais três linhas e três colunas na tabela de transações normalizada – de dimensão 42 × 42.

Na inclusão das linhas, foi admitido que, para cada um dos 42 setores, o consumo dos insumos fornecidos pelos *setores* cana-de-açúcar, álcool e gasoálcool têm exatamente os mesmos valores dos dispêndios pelos respectivos *produtos* na matriz estimada de transações não-normalizada – de dimensão 42 × 80. Tendo sido feita essa desagregação (ou abertura setorial), o setor de agropecuária inicial passou a ser designado como resto da agropecuária; na linha, seus valores passaram a ser os valores de toda a agropecuária inicialmente existentes subtraídos dos dispêndios com o produto do (novo) setor de cana-de-açúcar. Situação idêntica acontece com os setores de elementos químicos não-petroquímicos e comércio, que incluem os subsetores de álcool e gasoálcool, respectivamente.

Um procedimento de abertura setorial confiável e bastante comum consiste em identificar os principais insumos usados pelo setor a ser desagregado e obter estimativas de engenharia – consultando expertos e publicações especializadas – a respeito das proporções do valor de cada um em relação ao custo total (coeficientes técnicos), o que dá uma estimativa inicial da coluna de consumo intermediário. O passo seguinte é subtrair essa coluna do setor de origem, verificando se nenhuma componente resulta negativa, o que pode acontecer eventualmente. Se isso não ocorrer, a desagregação estará concluída; caso contrário, é necessário reavaliar os coeficientes técnicos que produziram os valores negativos, e assim sucessivamente.

¹⁸ Miller e Blair (1985) descrevem as oito combinações possíveis.

¹⁹ Pela hipótese de tecnologia do produto, por outro lado, a composição dos insumos necessária na produção de um bem permanece a mesma, qualquer que seja o setor em que é produzido. CASLER (2004) discute as situações em que é mais apropriado adotar uma ou outra hipótese sobre a tecnologia de produção.

Todo o procedimento de inserção do tipo ascendente (*bottom-up*) acima descrito não exige ajustes numéricos subseqüentes, pois a desagregação – tanto das linhas quanto das colunas – foi obtida por subtração, mantendo, assim, a matriz equilibrada.

Tabela 7.4-2: Classificação padrão de setores do IBGE

Código	Setor
01	Agropecuária
02	Extrativa mineral
03	Extração de petróleo e gás
04	Minerais não-metálicos
05	Siderurgia
06	Metalurgia não-ferrosos
07	Outros metalúrgicos
08	Máquinas e tratores
10	Material elétrico
11	Equipamentos eletrônicos
12	Automóveis, caminhões e ônibus
13	Outros veículos e peças
14	Madeira e mobiliário
15	Papel e gráfica
16	Indústria da borracha
17	Elementos químicos
18	Refino do petróleo
19	Químicos diversos
20	Farmacêutica e de perfumaria
21	Artigos de plástico
22	Indústria têxtil
23	Artigos do vestuário
24	Fabricação de calçados
25	Indústria do café
26	Beneficiamento de produtos vegetais
27	Abate de animais
28	Indústria de laticínios
29	Indústria de açúcar
30	Fabricação de óleos vegetais
31	Outros produtos alimentares
32	Indústria diversas
33	Serviços industriais de utilidade pública
34	Construção civil
35	Comércio
36	Transportes
37	Comunicações
38	Instituições financeiras
39	Serviços prestados às famílias
40	Serviços prestados às empresas
41	Aluguel de imóveis
42	Administração pública
43	Serviços privados não-mercantis

Tabela 7.4-3: Classificação padrão de produtos do IBGE (tabela CNAE nível 80)

Código	Produto	Código	Produto
0101	Café em coco	2001	Produtos farmacêuticos e de perfumaria
0102	Cana-de-açúcar	2101	Artigos de plástico
0103	Arroz em casca	2201	Fios têxteis naturais
0104	Trigo em grão	2202	Tecidos naturais
0105	Soja em grão	2203	Fios têxteis artificiais
0106	Algodão em caroço	2204	Tecidos artificiais
0107	Milho em grão	2205	Outros produtos têxteis
0108	Bovinos e suínos	2301	Artigos do vestuário
0109	Leite natural	2401	Produtos de couro e calçados
0110	Aves vivas	2501	Produtos do café
0199	Outros produtos agropecuários	2601	Arroz beneficiado
0201	Minério de ferro	2602	Farinha de trigo
0202	Outros minerais	2603	Outros produtos vegetais beneficiados
0301	Petróleo e gás	2701	Carne bovina
0302	Carvão e outros	2702	Carne de aves abatidas
0401	Produtos minerais não-metálicos	2801	Leite beneficiado
0501	Produtos siderúrgicos básicos	2802	Outros laticínios
0502	Laminados de aço	2901	Açúcar
0601	Produtos metalúrgicos não-ferrosos	3001	Óleos vegetais em bruto
0701	Outros produtos metalúrgicos	3002	Óleos vegetais refinados
0801	Fabricação e manutenção de máquinas e equipamentos	3101	Outros produtos alimentícios e rações
0802	Tratores e máquinas de terraplanagem	3102	Bebidas
1001	Material elétrico	3201	Produtos diversos
1101	Equipamentos eletrônicos	3301	Serviços industriais de utilidade pública
1201	Automóveis, caminhões e ônibus	3401	Produtos da construção civil
1301	Outros veículos e peças	3501	Margem de comércio
1401	Madeira e mobiliário	3601	Margem de transporte
1501	Papel, celulose, papelão e artefatos	3701	Comunicações
1601	Produtos derivados da borracha	3801	Seguros
1701	Elementos químicos não-petroquímicos	3802	Serviços financeiros
1702	Alcool de cana e de cereais	3901	Alojamento e alimentação
1801	Gasolina pura	3902	Outros serviços
1802	Óleos combustíveis	3903	Saúde e educação mercantis
1803	Outros produtos do refino	4001	Serviços prestados às empresas
1804	Produtos petroquímicos básicos	4101	Aluguel de imóveis
1805	Resinas	4102	Aluguel imputado
1806	Gasoálcool	4201	Administração pública
1901	Adubos	4202	Saúde pública
1902	Tintas	4203	Educação pública
1903	Outros produtos químicos	4301	Serviços privados não-mercantis

A desagregação dos setores produtores de cana-de-açúcar e álcool foi feita exatamente dessa forma. Foram consideradas duas tecnologias para a colheita de cana-de-açúcar: por corte manual ou com o uso de máquinas colhedoras. Já a produção de álcool pode se dar em destilarias anexas ou autônomas.

Estimativas preliminares a respeito dos coeficientes tecnológicos foram obtidas consultando-se especialistas do setor. Informações sobre os custos de produção de cana-de-açúcar com colheita manual e mecânica foram obtidas com pesquisadores da Faculdade de Engenharia Agrícola (Feagri) da Unicamp. Por sua vez, a empresa Chaves Planejamento e Consultoria forneceu um detalhamento da estrutura de custos para destilarias de álcool, autônomas e anexas. Porém, o modelo de insumo-produto exige o valor do consumo intermediário doméstico avaliado a preço básico e, portanto, foi necessário deduzir os valores correspondentes a importações, impostos indiretos e as margens de comércio e transporte.

A desagregação do setor gasoálcool foi baseada em informações encontradas em CUNHA (2005).

Finalmente, foi necessário fazer uma calibragem do modelo estendido de insumo-produto. Dando a seus parâmetros de composição tecnológica (seção 7.3) os valores observados em 2002, verificou-se a aderência do resultado com indicadores socioeconômicos importantes conhecidos no ano base, como, por exemplo, o número de empregos e o rendimento médio de cada trabalhador.²⁰ Observadas algumas inconsistências, fez-se necessário verificar com os especialistas consultados a exatidão das informações prestadas; em alguns casos, erros foram, de fato, identificados. Muito tempo foi despendido nessa tarefa. Dessa forma, o procedimento de calibragem também serviu para ajudar os experts a produzirem sistematicamente informações mais confiáveis.

Para a calibragem do modelo, foram usados os seguintes parâmetros que se supôs válidos para 2002:

- Modo de colheita da cana-de-açúcar: 27% mecanizada e 73% manual;
- Produção de cana-de-açúcar no Brasil: 320,65 milhões de toneladas, sendo 15,7% na região Norte-Nordeste e 84,3% na região Centro-Sul (UNICA);
- Pessoal ocupado na produção de cana-de-açúcar: 58,7% na região Norte-Nordeste e 41,3% na região Centro-Sul (PNAD, 2003);
- Rendimento médio obtido por trabalhador na produção de cana-de-açúcar: o da região Norte-Nordeste é 41,7% do correspondente à região Centro-Sul (PNAD, 2003);
- Destilarias de álcool: 15% autônomas e 85% anexas (em volume de produção).

A tabela 7.4-4 mostra os coeficientes técnicos obtidos para os modos de produção de cana-de-açúcar e álcool considerados no estudo. Os coeficientes de importações, impostos, fatores primários e pessoal ocupado são exibidos na tabela 7.4-5.

²⁰ Levou-se em consideração que a produção de cana-de-açúcar nas regiões Norte e Nordeste emprega mais e remunera menos comparativamente à região Centro-Sul do país.

Tabela 7.4-4: Coeficientes técnicos diretos dos setores desagregados

Setor	Colheita manual	Colheita mecanizada	Destilaria anexa	Destilaria autônoma
Cana-de-açúcar	0,0665	0,0695	0,3975	0,4608
Álcool	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Gasoálcool	0,0062	0,0062	0,0003	0,0003
Elementos químicos não-petroquímicos	0,0020	0,0020	0,0000	0,0000
Resto da agropecuária	0,0142	0,0124	0,0000	0,0000
Indústria de açúcar	0,0000	0,0000	0,0700	0,0000
Extrativa mineral	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Extração de petróleo e gás	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Minerais não-metálicos	0,0042	0,0037	0,0000	0,0000
Siderurgia	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Metalurgia não-ferrosos	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Outros metalúrgicos	0,0014	0,0014	0,0000	0,0000
Máquinas e tratores	0,0133	0,0327	0,0258	0,0248
Material elétrico	0,0001	0,0001	0,0018	0,0018
Equipamentos eletrônicos	0,0001	0,0001	0,0006	0,0006
Automóveis, caminhões e ônibus	0,0001	0,0001	0,0005	0,0005
Outros veículos e peças	0,0000	0,0000	0,0008	0,0008
Madeira e mobiliário	0,0011	0,0011	0,0002	0,0002
Papel e gráfica	0,0005	0,0005	0,0025	0,0025
Indústria da borracha	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Refino do petróleo	0,1581	0,1880	0,0036	0,0040
Químicos diversos	0,1080	0,0941	0,0174	0,0255
Farmacêutica e de perfumaria	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Artigos de plástico	0,0022	0,0022	0,0012	0,0012
Indústria têxtil	0,0014	0,0014	0,0004	0,0004
Artigos do vestuário	0,0000	0,0000	0,0001	0,0001
Fabricação de calçados	0,0002	0,0002	0,0000	0,0000
Indústria do café	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Beneficiamento de produtos vegetais	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Abate de animais	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Indústria de laticínios	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Fabricação de óleos vegetais	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Outros produtos alimentares	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Indústria diversas	0,0006	0,0006	0,0034	0,0034
Serviços industriais de utilidade pública	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Construção civil	0,0000	0,0000	0,0023	0,0023
Comércio	0,0250	0,0250	0,0154	0,0154
Transportes	0,0179	0,0179	0,0285	0,0285
Comunicações	0,0005	0,0005	0,0062	0,0062
Instituições financeiras	0,0043	0,0043	0,0112	0,0112
Serviços prestados às famílias	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002
Serviços prestados às empresas	0,0412	0,1015	0,0070	0,0070
Aluguel de imóveis	0,0001	0,0001	0,0009	0,0009
Administração pública	0,0035	0,0035	0,0010	0,0010
Serviços privados não-mercantis	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabela 7.4-5: Coeficientes de importações, impostos, fatores primários e pessoal ocupado

Setor	Colheita manual	Colheita mecanizada	Destilaria anexa	Destilaria autônoma
Importação	0,0261	0,0228	0,0038	0,0038
Impostos indiretos líquidos	0,0239	0,0239	0,0043	0,0043
Mão-de-obra	0,2905	0,0835	0,0462	0,0462
Serviços de capital	0,1866	0,3005	0,3069	0,3060
Impostos diretos	0,0000	0,0000	0,0400	0,0400
Pessoal ocupado [1/R\$ 1.000]	0,0622	0,0103	0,0030	0,0021

Deve-se observar na tabela 7.4-5 que a razão entre os coeficientes de emprego para as colheitas manual e mecanizada é da ordem de 6. Produzir R\$ 100.000 de cana-de-açúcar requer seis trabalhadores no modo manual ou apenas um, se a colheita for mecanizada.

7.5 Impactos socioeconômicos

Os impactos socioeconômicos decorrentes da ampliação da produção de álcool são avaliados para cada uma das etapas em que aparecem: (i) a de instalação da capacidade de produção e logística – avaliada em R\$ 195, 81 bilhões – e (ii) a de operação das destilarias construídas.

O modelo estendido de insumo-produto e a base de dados de 45 setores apresentados nas seções 7.3 e 7.4, respectivamente, são usados para se simular os efeitos diretos, indiretos e induzidos de o Brasil passar a produzir, em 2025, mais 104,55 bilhões de litros de etanol. Os impactos são medidos usando-se três métricas: valor da produção, valor adicionado (PIB) e postos de trabalho (empregos).

A base de dados e todos os resultados apresentados referem-se ao ano 2002. Os valores atribuídos a anos mais recentes foram deflacionados de acordo com o deflator implícito do PIB (DI) e o IPCA, ambos do IBGE, mostrados na tabela 7.5-1. Assim, o fator de conversão monetária de 2002 a setembro de 2005 é 1,2921.

Tabela 7.5-1: Índices de preços

Índice de preços	2003	2004	2005
DI	14,99%	8,10%	-
IPCA (janeiro a setembro)	-	-	3,95%

A produção de álcool no Brasil na safra 2002-2003 foi de 12,623 bilhões de litros, sendo 15% em destilarias autônomas e 85% em destilarias anexas (UNICA). Como está se supondo que a expansão da produção se dá apenas com a construção de destilarias autônomas, em 2025 elas responderiam por 90,85% do total (em volume de produção), sendo que o restante, 9,15%, corresponderiam a destilarias anexas. Além disso, toda a colheita de cana-de-açúcar será mecanizada. Em termos do parâmetros descritos na seção 7.3, $\alpha = 0\%$ (colheita manual), $\beta = 100\%$ (colheita mecânica), $\gamma = 9,15\%$ (destilaria anexa) e $\delta = 90,85\%$ (destilaria autônoma). Esses são os valores adotados no modelo estendido de insumo-produto.

Por conveniência, os resultados são também exibidos de maneira agregada, para doze macro-setores de interesse. A tabela 7.5-2 mostra a correspondência (concordância) entre as duas agregações.

Tabela 7.5-2: Correspondência setorial

Agregação em 12 setores	Agregação em 45 setores
Cana-de-açúcar	Cana-de-açúcar
Álcool	Álcool
Resto da agropecuária	Resto da agropecuária
Extrativa mineral	Extrativa mineral
Siderurgia, mineração e metalurgia	Minerais não-metálicos; siderurgia; metalurgia não-ferrosos; outros metalúrgicos
Máquinas, veículos e peças	Máquinas e tratores, automóveis, caminhões e ônibus; outros veículos e peças
Setor do petróleo e SIUP	Extração de petróleo e gás; refino do petróleo; serviços industriais de utilidade pública (SIUP)
Setor químico	Elementos químicos não-petroquímicos; químicos diversos; farmacêutica e de perfumaria
Alimentos	Indústria do açúcar; indústria do café; beneficiamento de produtos vegetais; abate de animais; indústria de laticínios; fabricação de óleos vegetais; outros produtos alimentares
Construção civil	Construção civil
Resto da transformação	Material elétrico; equipamentos eletrônicos; madeira e mobiliário; papel e gráfica; indústria da borracha; artigos de plástico; indústria têxtil; artigos do vestuário; fabricação de calçados; indústrias diversas
Serviços	Gasoolcool; comércio; transportes; comunicações; instituições financeiras; serviços prestados às famílias; serviços prestados às empresas; aluguel de imóveis; administração pública; serviços privados não-mercantis

Os impactos socioeconômicos decorrentes do aumento da produção de álcool para exportação seriam expressivos, como será exposto aqui (seção 7.5.1). A tabela 7.5-3, abaixo, mostra os efeitos direto, indireto e induzido na renda (PIB) e empregos.

Tabela 7.5-3: Resumo dos impactos socioeconômicos sobre o PIB [R\$ bilhões] e pessoal ocupado [mil]

	Efeito total	Valores em 2002	Crescimento
PIB	153,75	1.346,03	11,4%
Pessoal ocupado	5.342,85	66.373,20	8,0%

Como se pode observar, se implementado, o projeto de expansão da produção de álcool em 104,55 bilhões de litros traria como benefício um aumento de 11,4% no PIB e 8,0% no pessoal ocupado (empregos formais e informais).

Vale dizer que em 2003, a participação do estado do Rio de Janeiro no PIB nacional foi de 12,7% – o que corresponde aproximadamente ao que seria adicionado na renda do país.

Em análises de impactos socioeconômicos, é importante distinguir entre os efeitos locais e distantes. Uma destilaria de álcool instalada no sudoeste do Maranhão, por

exemplo, irá trazer benefícios para a região (efeito local) e, também, para outros estados (efeitos distantes). Por meio do efeito indireto, os caminhões em operação na colheita de cana-de-açúcar irão usar óleo diesel produzido na Bahia e em outros estados. Através do efeito induzido, a renda obtida localmente irá permitir consumir bens que são produzidos em outras regiões – automóveis feitos em São Paulo, por exemplo. O método comumente usado para se estudar os fluxos de comércio é a análise inter-regional de insumo-produto, que não foi prevista nesta primeira fase do estudo.

Entretanto, foi feita aqui uma análise preliminar para se extrair da base de dados setores de ação tipicamente local, como comércio, aluguel de imóveis, serviços prestados às famílias (educação, saúde, etc.), entre outros (seção 7.5.3). Considerou-se a operação de um *cluster* de 15 destilarias, cada uma delas moendo 2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar e produzindo 170 milhões de litros de etanol ao ano. Os resultados são resumidos na tabela 7.5-4, a seguir.

Tabela 7.5-4: Resumo dos impactos socioeconômicos em um cluster de 15 destilarias sobre o PIB [R\$ milhões] e pessoal ocupado [mil]

	Efeito total local
PIB	2.342,67
Pessoal ocupado	74,70

Supondo-se que cada emprego corresponda a 2,6 habitantes (relação observada em 2002), o funcionamento de um *cluster* de destilarias irá trazer uma população de cerca de 200.000 para a região onde for instalado.

O PIB médio mensal por emprego vem diretamente da tabela acima: R\$ 2.613. O valor é 54,6% superior à média nacional observada em 2002, R\$ 1.689,97, significando que poderia haver uma redução nas desigualdades regionais. O resultado sugere que o agronegócio da cana-de-açúcar pode servir, de fato, como vetor de desenvolvimento. Entretanto, seria necessário desenvolver um estudo mais aprofundado para se avaliar mais precisamente como o processo de crescimento econômico iria se dar.

Os impactos socioeconômicos devidos aos investimentos resultam da instalação de 615 novas destilarias autônomas – cada uma com capacidade para produzir 170 milhões de litros de álcool a partir de 2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar ao ano – da construção da infra-estrutura de transporte dutoviário e, também, da ampliação dos terminais portuários. Os investimentos, estimados em R\$ 195,81 bilhões (valores em setembro de 2005), promoveriam, em média, durante 20 anos, 487 mil e 300 empregos e um aumento do PIB de R\$ 12,47 bilhões (seção 7.5.2).

7.5.1 Impactos socioeconômicos da etapa de operação

Para simular os impactos decorrentes de se estar exportando anualmente mais 104,55 bilhões de litros de etanol em 2025, foi feito um choque na demanda final por álcool. A razão entre a produção adicional a se realizar em 2025 (104,55 bilhões de litros) e a quantidade produzida em 2002 (12,623 bilhões de litros) é 8,283. Multiplicando-se o valor da produção do setor álcool em 2002 (R\$ 11,50 bilhões) por 8,283 resulta em R\$ 95,21 bilhões, que é o incremento que deve ser

aplicado à demanda final por álcool. Ou seja, a produção de etanol aumentaria de 828,3% em 20 anos.

A tabela 7.5-5 apresenta os impactos no valor da produção para a agregação simplificada de 12 setores; o efeito total – direto, indireto e induzido – é usado para classificá-los em ordem decrescente. O valor da produção de toda economia aumenta R\$ 324,72 bilhões em relação a 2002. Os setores que mais respondem são: álcool (29,7%), serviços (22,7%) e cana-de-açúcar (14,6%).²¹

Com a inclusão dos efeitos induzidos no modelo de insumo-produto, as famílias podem passar a ter, em alguns casos, importância maior que os setores presentes na cadeia produtiva na determinação do impacto. Um exemplo típico é o setor de serviços; o efeito induzido nele (71,3%) é significativamente maior que os impactos direto e indireto juntos (28,7%), como mostrado na figura 7.5-1.

Para o conjunto da economia, 35,6% do aumento no valor da produção são explicados pelo efeito renda. Já para os setores de álcool e cana-de-açúcar, diretamente envolvidos no choque de exportação de etanol, os impactos são formados quase que totalmente pelos efeitos direto e indireto (mais de 98% em ambos os casos).

Se a análise se restringisse apenas aos efeitos diretos e indiretos sobre os setores de álcool (R\$ 95,36 bilhões) e cana-de-açúcar (R\$ 46,82 bilhões), o impacto total seria de R\$ 142,18 bilhões, i.e. 43,8% do total.

Uma simples inspeção da tabela 7.5-5 torna evidente a importância de se considerar o efeito renda na análise de impactos. Em setores como o de alimentos e resto da agropecuária – que produzem bens e serviços importantes no consumo das famílias –, o efeito induzido responde por mais de 90% dos impactos totais, como exibido na Figura 7.5-1.

Os impactos da ampliação de etanol no valor da produção de cada um dos 45 setores considerados podem ser vistos na tabela 7.5-6. Na comparação com os valores apresentados na tabela 7.5-5, para setores comuns a ambas as agregações apresentadas, os resultados se mostram idênticos, como se poderia esperar.

²¹ Os percentuais em parêntesis referem-se à fração do efeito direto, indireto e induzido experimentado por cada setor como fração do efeito total aplicado a toda economia (R\$ 324,72 bilhões).

Tabela 7.5-5: Impactos sobre o valor da produção [R\$ bilhões]

Setor	Direto e indireto	Total	Fração
Álcool	95,36	96,29	29,7%
Serviços	21,10	73,57	22,7%
Cana-de-açúcar	46,82	47,48	14,6%
Setor do petróleo e SIUP	21,75	37,12	11,4%
Alimentos	1,18	14,42	4,4%
Resto da transformação	3,84	13,64	4,2%
Setor químico	9,01	13,26	4,1%
Resto da agropecuária	1,09	12,04	3,7%
Máquinas, veículos e peças	5,22	8,92	2,7%
Siderurgia, mineração e metalurgia	3,12	6,52	2,0%
Construção civil	0,39	1,15	0,4%
Extrativa mineral	0,14	0,30	0,1%
Total	209,03	324,72	100%

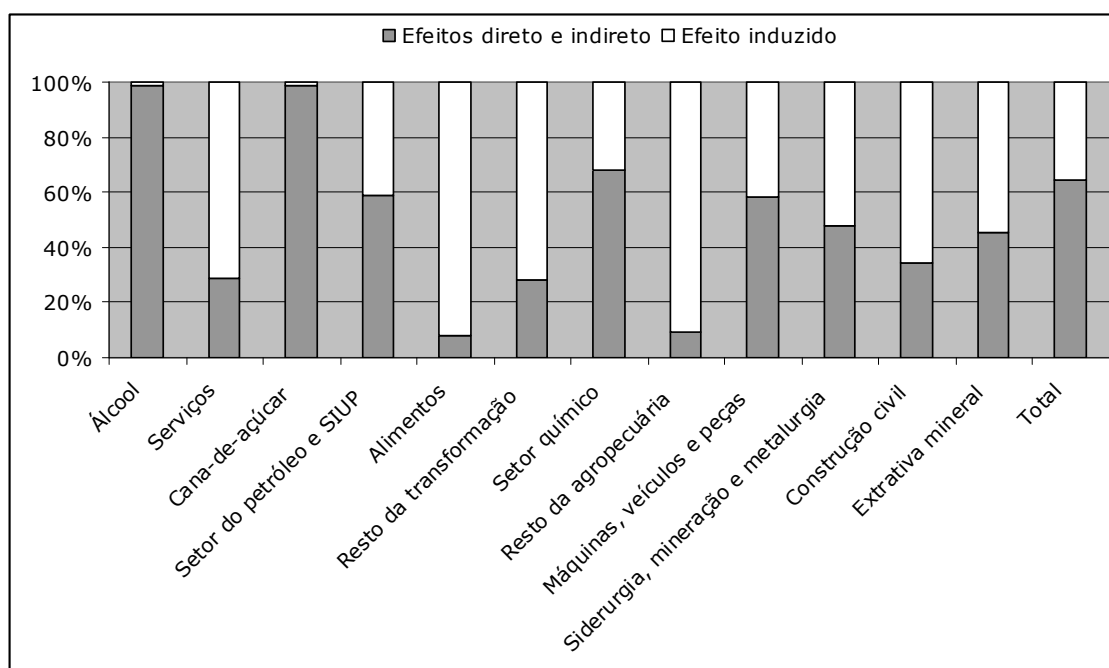


Figura 7.5-1: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o valor da produção

Tabela 7.5-6: Impactos sobre o valor da produção [R\$ bilhões]

Setor	Direto e indireto	Total	Fração
Cana-de-açúcar	46,82	47,48	14,6%
Álcool	95,36	96,29	29,7%
Gasoálcool	0,47	3,84	1,2%
Elementos químicos não-petroquímicos	1,09	1,65	0,5%
Resto da agropecuária	1,09	12,04	3,7%
Indústria de açúcar	0,80	1,46	0,4%
Extrativa mineral	0,14	0,30	0,1%
Extração de petróleo e gás	3,96	5,89	1,8%
Minerais não-metálicos	0,45	1,00	0,3%
Siderurgia	1,26	2,41	0,7%
Metalurgia não-ferrosos	0,42	0,93	0,3%
Outros metalúrgicos	0,99	2,18	0,7%
Máquinas e tratores	4,71	5,93	1,8%
Material elétrico	0,36	1,15	0,4%
Equipamentos eletrônicos	0,10	0,70	0,2%
Automóveis, caminhões e ônibus	0,08	1,48	0,5%
Outros veículos e peças	0,44	1,51	0,5%
Madeira e mobiliário	0,17	0,94	0,3%
Papel e gráfica	1,41	3,32	1,0%
Indústria da borracha	0,28	0,89	0,3%
Refino do petróleo	16,37	24,28	7,5%
Químicos diversos	7,88	9,74	3,0%
Farmacêutica e de perfumaria	0,04	1,86	0,6%
Artigos de plástico	0,51	1,17	0,4%
Indústria têxtil	0,33	1,95	0,6%
Artigos do vestuário	0,02	1,94	0,6%
Fabricação de calçados	0,02	0,28	0,1%
Indústria do café	0,00	0,33	0,1%
Beneficiamento de produtos vegetais	0,04	2,60	0,8%
Abate de animais	0,02	3,02	0,9%
Indústria de laticínios	0,01	1,14	0,3%
Fabricação de óleos vegetais	0,20	1,75	0,5%
Outros produtos alimentares	0,11	4,12	1,3%
Indústria diversas	0,64	1,30	0,4%
Serviços industriais de utilidade pública	1,42	6,95	2,1%
Construção civil	0,39	1,15	0,4%
Comércio	3,94	13,17	4,1%
Transportes	5,06	10,62	3,3%
Comunicações	1,52	5,86	1,8%
Instituições financeiras	2,04	5,51	1,7%
Serviços prestados às famílias	0,17	9,24	2,8%
Serviços prestados às empresas	6,86	9,39	2,9%
Aluguel de imóveis	0,48	13,23	4,1%
Administração pública	0,55	1,24	0,4%
Serviços privados não-mercantis	0,00	1,49	0,5%
Total	209,03	324,72	100%

Tabela 7.5-7: Crescimento setorial

Setor	Direto e indireto	Total
Cana-de-açúcar	497,70%	504,64%
Álcool	829,54%	837,70%
Gasoálcool	1,18%	9,55%
Elementos químicos não-petroquímicos	7,63%	11,60%
Resto da agropecuária	0,59%	6,50%
Indústria de açúcar	4,94%	8,98%
Extrativa mineral	0,96%	2,11%
Extração de petróleo e gás	9,48%	14,07%
Minerais não-metálicos	1,51%	3,33%
Siderurgia	2,25%	4,29%
Metalurgia não-ferrosos	1,77%	3,92%
Outros metalúrgicos	2,41%	5,29%
Máquinas e tratores	8,23%	10,37%
Material elétrico	1,64%	5,23%
Equipamentos eletrônicos	0,61%	4,34%
Automóveis, caminhões e ônibus	0,25%	4,68%
Outros veículos e peças	1,09%	3,78%
Madeira e mobiliário	0,75%	4,25%
Papel e gráfica	3,13%	7,37%
Indústria da borracha	1,89%	6,05%
Refino do petróleo	11,38%	<u>16,89%</u>
Químicos diversos	20,51%	<u>25,34%</u>
Farmacêutica e de perfumaria	0,20%	8,62%
Artigos de plástico	3,39%	7,73%
Indústria têxtil	1,23%	7,36%
Artigos do vestuário	0,11%	9,12%
Fabricação de calçados	0,22%	2,56%
Indústria do café	0,02%	2,66%
Beneficiamento de produtos vegetais	0,11%	7,22%
Abate de animais	0,04%	6,95%
Indústria de laticínios	0,05%	8,27%
Fabricação de óleos vegetais	0,67%	5,78%
Outros produtos alimentares	0,21%	7,95%
Indústria diversas	4,22%	8,59%
Serviços industriais de utilidade pública	1,62%	7,91%
Construção civil	0,22%	0,65%
Comércio	2,74%	9,17%
Transportes	5,74%	12,06%
Comunicações	2,49%	9,60%
Instituições financeiras	1,60%	4,31%
Serviços prestados às famílias	0,15%	7,77%
Serviços prestados às empresas	8,55%	11,69%
Aluguel de imóveis	0,34%	9,25%
Administração pública	0,19%	0,43%
Serviços privados não-mercantis	0,00%	9,40%
Total	8,22%	12,78%

Como se pode notar, um aumento da produção de álcool no Brasil em 828,3% leva toda a economia a se expandir, embora de forma desigual. A tabela 7.5-7 apresenta o aumento percentual no valor da produção para cada um dos 45 setores. A produção de químicos diversos teria de crescer em cerca de 25%.²² Já o setor de refino do petróleo teria sua produção aumentada em aproximadamente 17%. Tudo isso indica a necessidade de se pensar também em investimentos para se ampliar a capacidade de produção em setores mais exigidos, evitando-se, assim, "gargalos" que poderiam comprometer o cumprimento de metas preestabelecidas. Dessa forma, a análise aplicada de insumo-produto confirma-se como ferramenta valiosa no exercício de planejamento.

Os impactos sobre o nível de empregos em cada setor são indicados nas tabelas 7.5-8 e 7.5-9.

A tabela 7.5-8 apresenta os valores para a economia agregada em 12 setores. Seriam gerados cerca de 5,3 milhões de empregos diretos, indiretos e induzidos. Para se ter uma idéia comparativa, o pessoal ocupado na construção civil em 2002 era de 4,06 milhões.

Embora expressivo, o número de empregos criados seria maior, caso parte da colheita fosse manual. De fato, como mostrado na seção 7.3, se a colheita da cana-de-açúcar na safra 2002-2003 tivesse sido totalmente mecanizada, haveria uma queda de 326.439 no número de empregos (diretos e indiretos, nesse caso) na economia como um todo.

Percebe-se pela tabela 7.5-8 que os setores que mais contribuem para o aumento de empregos são, pela ordem, o de serviços (59,7%), resto da agropecuária (14,7%), cana-de-açúcar (9,1%), resto da transformação (5,9) e álcool (4,0%). Portanto, os setores produtores de álcool e cana-de-açúcar são responsáveis por apenas 13,1% dos empregos gerados; devido aos efeitos diretos e indiretos, 86,9% dos postos de trabalho seriam criados em outros setores.

Para ser bem-sucedido, um plano de expansão em larga escala na produção de etanol teria de prever investimentos – em infra-estrutura, na capacidade de produção em todos os setores envolvidos na cadeia produtiva e também na formação de mão-de-obra. Cerca de 60% de todos os empregos seriam criados em apenas um setor: o de serviços (tabela 7.5-8); sua produção, porém, aumentaria em 22,7% (tabela 7.5-5). Ao examinar a implementação de alguma política, o tomador de decisões deve considerar não apenas seus efeitos na produção, mas também aqueles sobre outros indicadores, como o nível de empregos. Mais uma vez, o modelo de insumo-produto pode auxiliá-lo nisso.

A participação de cada efeito na geração de empregos pode ser imediatamente avaliada observando-se a figura 7.5-2. O setor do petróleo e SIUP – representativo de grande parte do setor energético – teria 57,0% de seus empregos gerados pelo efeito renda.

²² Fertilizantes e outros produtos usados no cultivo de cana-de-açúcar são fabricados pelo setor de químicos diversos. Em 2002, as importações de adubos correspondiam a 21,4% do total consumido no país.

Tabela 7.5-8: Impactos sobre o nível de empregos

Setor	Direto e indireto	Total	Fração
Serviços	765.452	3.189.710	59,7%
Resto da agropecuária	71.058	783.183	14,7%
Cana-de-açúcar	482.151	488.870	9,1%
Resto da transformação	49.223	313.333	5,9%
Álcool	211.142	213.219	4,0%
Alimentos	6.382	110.953	2,1%
Máquinas, veículos e peças	47.036	67.830	1,3%
Siderurgia, mineração e metalurgia	26.727	58.333	1,1%
Setor químico	33.800	52.324	1,0%
Setor do petróleo e SIUP	14.732	34.239	0,6%
Construção civil	9.040	26.513	0,5%
Extrativa mineral	1.975	4.345	0,1%
Total	1.718.720	5.342.852	100%

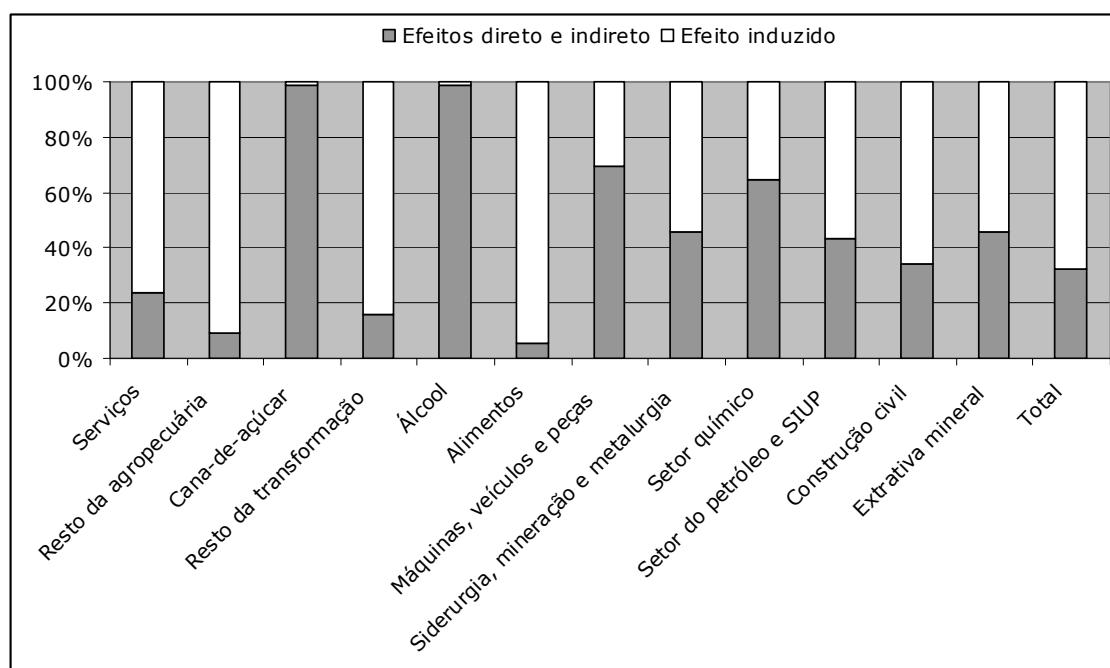


Figura 7.5-2: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o nível de empregos

A tabela 7.5-10 mostra que o acréscimo do PIB seria de R\$ 153,75 bilhões, que corresponde a 11,4% de toda a atividade econômica em 2002.

Cabe destacar os setores de serviços e de energia (petróleo e SIUP), que contribuiriam com 31,2% e 10,5%, respectivamente, de todo acréscimo no PIB. O modelo de insumo-produto é capaz de captar que o maior aumento na renda (quase um terço do total) deverá ser em um setor não diretamente ligado à cadeia produtiva do álcool.

As famílias contribuem para o aumento no PIB ao pagarem os impostos indiretos que incidem sobre o consumo, como ICMS e IPI. A importância das famílias pode ser observada na tabela 7.5-10. Contribuindo com 4% do crescimento do PIB, as famílias aparecem à frente de muitos setores importantes na economia, como o resto da transformação, o setor químico, máquinas, veículos e peças, também alimentos e até mesmo a construção civil.

A composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o PIB em cada setor e famílias é mostrada graficamente na figura 7.5-3.

Os impactos sobre o PIB nos 45 setores considerados e nas famílias são indicados na tabela 7.5-11.

Tabela 7.5-9: Impactos sobre o nível de empregos

Setor	Direto e indireto	Total	Fração
Cana-de-açúcar	482.151	488.870	9,1%
Álcool	211.142	213.219	4,0%
Gasoálcool	61	492	0,0%
Elementos químicos não-petroquímicos	1.804	2.741	0,1%
Resto da agropecuária	71.058	783.183	14,7%
Indústria de açúcar	4.233	7.700	0,1%
Extrativa mineral	1.975	4.345	0,1%
Extração de petróleo e gás	5.838	8.670	0,2%
Minerais não-metálicos	6.695	14.797	0,3%
Siderurgia	1.822	3.478	0,1%
Metalurgia não-ferrosos	1.107	2.459	0,0%
Outros metalúrgicos	17.104	37.600	0,7%
Máquinas e tratores	44.440	55.942	1,0%
Material elétrico	1.868	5.945	0,1%
Equipamentos eletrônicos	560	3.982	0,1%
Automóveis, caminhões e ônibus	186	3.520	0,1%
Outros veículos e peças	2.410	8.368	0,2%
Madeira e mobiliário	7.241	40.942	0,8%
Papel e gráfica	13.227	31.149	0,6%
Indústria da borracha	1.006	3.225	0,1%
Refino do petróleo	5.258	7.802	0,1%
Químicos diversos	31.762	39.248	0,7%
Farmacêutica e de perfumaria	234	10.335	0,2%
Artigos de plástico	7.058	16.104	0,3%
Indústria têxtil	2.993	17.925	0,3%
Artigos do vestuário	1.901	158.447	3,0%
Fabricação de calçados	880	10.184	0,2%
Indústria do café	13	2.004	0,0%
Beneficiamento de produtos vegetais	366	23.771	0,4%
Abate de animais	87	16.847	0,3%
Indústria de laticínios	29	5.009	0,1%
Fabricação de óleos vegetais	250	2.149	0,0%
Outros produtos alimentares	1.404	53.474	1,0%
Indústria diversas	12.489	25.430	0,5%
Serviços industriais de utilidade pública	3.636	17.767	0,3%
Construção civil	9.040	26.513	0,5%
Comércio	295.440	988.240	18,5%
Transportes	159.699	335.278	6,3%
Comunicações	6.642	25.613	0,5%
Instituições financeiras	12.583	33.885	0,6%
Serviços prestados às famílias	15.063	797.605	14,9%
Serviços prestados às empresas	263.245	359.986	6,7%
Aluguel de imóveis	869	23.756	0,4%
Administração pública	11.850	26.623	0,5%
Serviços privados não-mercantis	0	598.230	11,2%
Total	1.718.720	5.342.852	100%

Tabela 7.5-10: Impactos sobre o PIB [R\$ bilhões]

Setor	Direto e indireto	Total	Fração
Serviços	13,03	47,98	31,2%
Álcool	37,81	38,18	24,8%
Cana-de-açúcar	19,10	19,36	12,6%
Setor do petróleo e SIUP	9,14	16,21	10,5%
Resto da agropecuária	0,62	6,84	4,4%
Famílias	0,00	6,10	4,0%
Resto da transformação	1,28	4,51	2,9%
Setor químico	3,00	4,48	2,9%
Máquinas, veículos e peças	2,87	4,15	2,7%
Alimentos	0,35	3,10	2,0%
Siderurgia, mineração e metalurgia	0,94	1,96	1,3%
Construção civil	0,25	0,72	0,5%
Extrativa mineral	0,07	0,15	0,1%
Total	88,45	153,75	100%

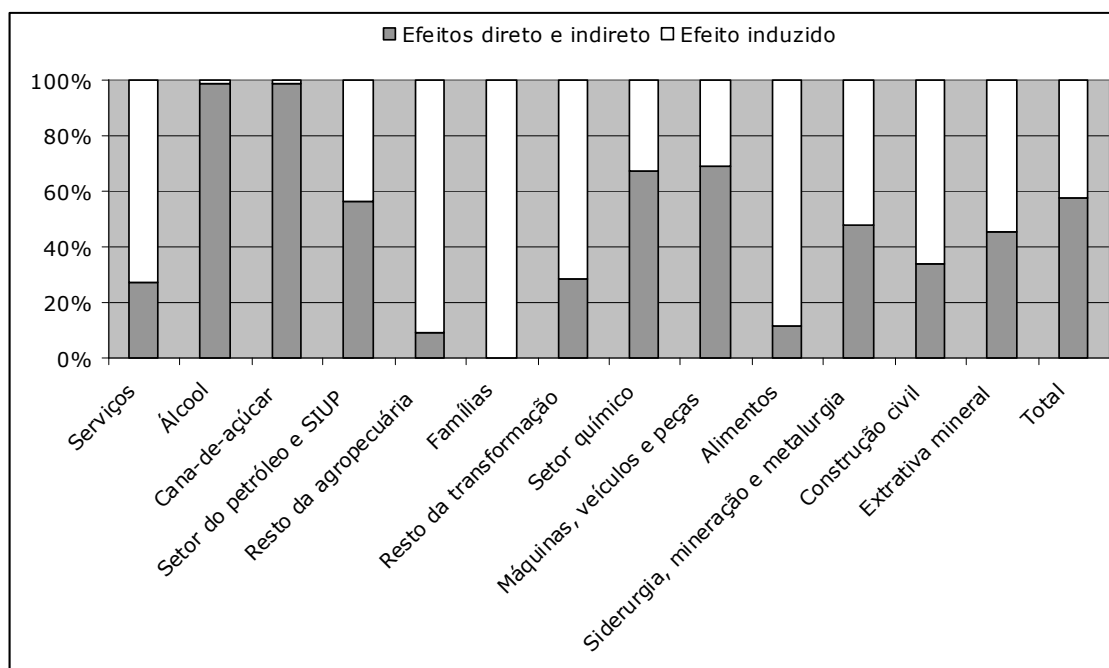


Figura 7.5-3: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o PIB.

Tabela 7.5-11: Impactos sobre o PIB [R\$ bilhões]

Setor	Direto e indireto	Total	Fração
Cana-de-açúcar	19,10	19,36	12,6%
Álcool	37,81	38,18	24,8%
Gasoálcool	0,04	0,30	0,2%
Elementos químicos não-petroquímicos	0,50	0,76	0,5%
Resto da agropecuária	0,62	6,84	4,4%
Indústria de açúcar	0,27	0,50	0,3%
Extrativa mineral	0,07	0,15	0,1%
Extração de petróleo e gás	3,23	4,80	3,1%
Minerais não-metálicos	0,18	0,40	0,3%
Siderurgia	0,38	0,72	0,5%
Metalurgia não-ferrosos	0,10	0,23	0,2%
Outros metalúrgicos	0,28	0,61	0,4%
Máquinas e tratores	2,75	3,46	2,3%
Material elétrico	0,08	0,25	0,2%
Equipamentos eletrônicos	0,04	0,32	0,2%
Automóveis, caminhões e ônibus	0,02	0,33	0,2%
Outros veículos e peças	0,11	0,37	0,2%
Madeira e mobiliário	0,07	0,39	0,3%
Papel e gráfica	0,49	1,16	0,8%
Indústria da borracha	0,10	0,31	0,2%
Refino do petróleo	5,13	7,61	5,0%
Químicos diversos	2,48	3,07	2,0%
Farmacêutica e de perfumaria	0,01	0,65	0,4%
Artigos de plástico	0,16	0,36	0,2%
Indústria têxtil	0,07	0,40	0,3%
Artigos do vestuário	0,01	0,69	0,4%
Fabricação de calçados	0,01	0,13	0,1%
Indústria do café	0,00	0,10	0,1%
Beneficiamento de produtos vegetais	0,01	0,58	0,4%
Abate de animais	0,00	0,50	0,3%
Indústria de laticínios	0,00	0,21	0,1%
Fabricação de óleos vegetais	0,04	0,31	0,2%
Outros produtos alimentares	0,02	0,91	0,6%
Indústria diversas	0,25	0,51	0,3%
Serviços industriais de utilidade pública	0,78	3,79	2,5%
Construção civil	0,25	0,72	0,5%
Comércio	2,58	8,63	5,6%
Transportes	2,10	4,41	2,9%
Comunicações	0,92	3,53	2,3%
Instituições financeiras	1,51	4,07	2,6%
Serviços prestados às famílias	0,10	5,47	3,6%
Serviços prestados às empresas	4,94	6,75	4,4%
Aluguel de imóveis	0,46	12,57	8,2%
Administração pública	0,39	0,87	0,6%
Serviços privados não-mercantis	0,00	1,38	0,9%
Famílias	0,00	6,10	4,0%
Total	88,45	153,75	100%

7.5.2 Impactos socioeconômicos da etapa de investimentos

Os impactos devidos aos investimentos decorrem das inversões na construção de 615 destilarias novas – com capacidade para produzir 0,170 bilhão de litros de álcool ao ano cada uma –, na expansão da parte agrícola correspondente – cada destilaria processa 2 milhões de toneladas de cana ao ano –, na infra-estrutura de transporte dutoviário e na ampliação dos terminais portuários. O investimento total necessário estimado é de R\$ 195,81 bilhões, em valores de setembro de 2005; deflacionando-se para o ano base de 2002, isso daria R\$ 151,54 bilhões.

Foi necessário desagregar os investimentos em quatro setores da economia: máquinas e equipamentos, caminhões, construção civil e serviços prestados às empresas.

O investimento total necessário *por destilaria* é de R\$ 205 milhões (em valores de 2005).²³ Para o choque, considerou-se que a composição dos custos seria 80%, 10% e 10%, pela ordem, para máquinas e equipamentos, construção civil e serviços prestados às empresas.

Na parte agrícola, o investimento necessário para a produção de 2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar ao ano é estimado em R\$ 75 milhões, considerando colheita totalmente mecanizada.²⁴ Desse valor, R\$ 4,63 milhões foram alocados em caminhões e, o restante, R\$ 70,37 milhões, em máquinas e equipamentos. Foi acrescido ao subtotal de R\$ 75 milhões o percentual de 5% em construção civil (R\$ 3,75 milhões).

Obviamente, para se chegar ao valor total dos investimentos para as fases agrícola e industrial da cadeia produtiva do álcool, os custos correspondentes a cada unidade têm de ser multiplicados por 615, o número de destilarias que seriam necessárias para produzir 104,55 bilhões de litros de etanol ao ano.

Finalmente, para escoar um volume de 104,55 bilhões de litros de álcool ao ano, faz-se necessário investir um total de R\$ 21,3 bilhões em dutos e na ampliação da estrutura dos terminais portuários.²⁵ Considerou-se que a composição dos custos seria 65%, 25% e 10% desse valor para máquinas e equipamentos, construção civil e serviços prestados às empresas, respectivamente.

As tabelas 7.5-12 e 7.5-13 resumem os valores dos investimentos usados aqui.

Para avaliar os impactos socioeconômicos devido às necessidades de investimentos descritas, usou-se o modelo estendido de insumo-produto. Foi feito um choque na demanda final – que também inclui, entre suas componentes, a formação bruta de capital fixo (investimentos) – de R\$ 122,27 bilhões em máquinas e equipamentos, R\$ 2,20 bilhões para caminhões, R\$ 15,66 bilhões em construção civil e R\$ 11,41 bilhões para serviços prestados às empresas, somando R\$ 151,54 bilhões (valores de 2002). Tal investimento corresponde a 61,4% de toda a formação bruta de capital fixo do Brasil em 2002, R\$ 246,61 bilhões.

²³ A estimativa foi obtida do maior fornecedor de bens de capital do setor eletro-sucralcooleiro.

²⁴ Informação obtida da Única.

²⁵ Estimativa fornecida pela Transpetro.

Tabela 7.5-12: Investimentos [R\$ bilhões (setembro de 2005)]

	Desti- laria	Agricul- tura	Dutos e terminais	Total
Máquinas	100,86	43,28	13,85	157,98
Caminhões	0	2,85	0	2,85
Construção civil	12,61	2,31	5,33	20,24
Serviços prestados às empresas	12,61	0,00	2,13	14,74
Total	126,08	48,43	21,30	195,81

Tabela 7.5-13: Investimentos [R\$ bilhões (2002)]

	Desti- laria	Agricul- tura	Dutos e terminais	Total
Máquinas	78,06	33,49	10,72	122,27
Caminhões	0	2,20	0	2,20
Construção civil	9,76	1,78	4,12	15,66
Serviços prestados às empresas	9,76	0,00	1,65	11,41
Total	97,57	37,48	16,48	151,54

Novamente, os impactos socioeconômicos serão avaliados em diferentes métricas: valor da produção, empregos e PIB.

Diferentemente do que ocorre na etapa de operação, os efeitos dos investimentos ocorrem somente ao longo do período de tempo de 20 anos em que são feitas as inversões e, portanto, devem ser interpretados como "temporários". Assim, os impactos totais serão divididos por 20 para que se tenha uma idéia sobre a média anual.

A tabela 7.5-14 traz os impactos sobre o nível de produção de cada setor, considerando a agregação da economia em 12 setores. O aumento em toda atividade econômica, nos 20 anos, é de R\$ 464,79 bilhões – que dá R\$ 23,24 bilhões, em média, ao ano. O setor que mais se destaca nesse caso é o setor de máquinas, veículos e peças, com 30,1% do total. Logo após, aparece o setor de serviços, com 26,8% do total, que tem seu crescimento explicado em 72,3% pelo efeito renda.

A figura 7.5-4 ilustra bem a contribuição dos diferentes efeitos sobre o aumento na atividade dos setores. Ao todo, 42,7% do aumento da atividade econômica se deve ao efeito induzido. Embora o setor energético esteja sujeito aos impactos diretos exercidos pelas indústrias energo-intensivas de produção de bens de capital, cerca de 60% do aumento em sua produção é explicado pelo efeito induzido.

A tabela 7.5-15 mostra em detalhes os efeitos dos investimentos sobre o valor da produção em cada um dos 45 setores. Destaca-se o setor de máquinas e tratores, respondendo por 27,9% do total.

A análise dos impactos no emprego revela um quadro semelhante ao exposto na seção 7.5.1. Cabe destacar que o impacto maior vem de um setor que não se liga diretamente à cadeia produtiva de bens de capital: o

Tabela 7.5-14: Impactos sobre o valor da produção [R\$ bilhões]

Setor	Direto e indireto	Total	Fração
Máquinas, veículos e peças	133,63	139,97	30,1%
Serviços	34,49	124,46	26,8%
Siderurgia, mineração e metalurgia	44,61	50,43	10,9%
Setor do petróleo e SIUP	17,96	44,31	9,5%
Resto da transformação	12,38	29,19	6,3%
Alimentos	0,50	23,21	5,0%
Resto da agropecuária	133,63	139,97	30,1%
Construção civil	34,49	124,46	26,8%
Setor químico	44,61	50,43	10,9%
Álcool	17,96	44,31	9,5%
Cana-de-açúcar	12,38	29,19	6,3%
Extrativa mineral	0,50	23,21	5,0%
Total	266,41	464,79	100%

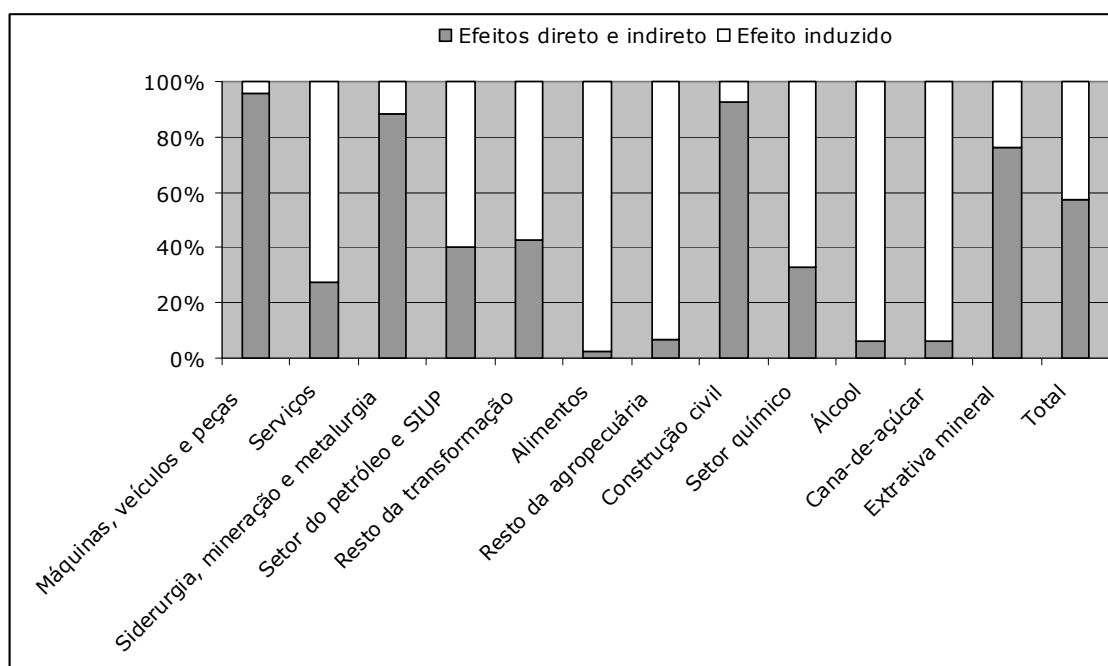


Figura 7.5-4: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o valor da produção.

Tabela 7.5-15: Impactos sobre o valor da produção [R\$ bilhões]

Setor	Direto e indireto	Total	Fração
Cana-de-açúcar	0,07	1,19	0,3%
Álcool	0,11	1,72	0,4%
Gasoálcool	0,29	6,07	1,3%
Elementos químicos não-petroquímicos	1,11	2,08	0,4%
Resto da agropecuária	1,32	20,10	4,3%
Indústria de açúcar	0,07	1,20	0,3%
Extrativa mineral	0,90	1,19	0,3%
Extração de petróleo e gás	2,14	5,43	1,2%
Minerais não-metálicos	3,35	4,29	0,9%
Siderurgia	20,57	22,53	4,8%
Metalurgia não-ferrosos	6,02	6,89	1,5%
Outros metalúrgicos	14,69	16,73	3,6%
Máquinas e tratores	127,75	129,84	27,9%
Material elétrico	2,93	4,28	0,9%
Equipamentos eletrônicos	0,28	1,31	0,3%
Automóveis, caminhões e ônibus	2,47	4,88	1,0%
Outros veículos e peças	3,41	5,25	1,1%
Madeira e mobiliário	0,87	2,20	0,5%
Papel e gráfica	3,07	6,35	1,4%
Indústria da borracha	2,05	3,10	0,7%
Refino do petróleo	8,70	22,28	4,8%
Químicos diversos	2,45	5,63	1,2%
Farmacêutica e de perfumaria	0,05	3,17	0,7%
Artigos de plástico	1,56	2,69	0,6%
Indústria têxtil	0,52	3,31	0,7%
Artigos do vestuário	0,05	3,33	0,7%
Fabricação de calçados	0,07	0,52	0,1%
Indústria do café	0,00	0,57	0,1%
Beneficiamento de produtos vegetais	0,06	4,46	1,0%
Abate de animais	0,03	5,19	1,1%
Indústria de laticínios	0,02	1,95	0,4%
Fabricação de óleos vegetais	0,12	2,78	0,6%
Outros produtos alimentares	0,19	7,07	1,5%
Indústria diversas	0,98	2,12	0,5%
Serviços industriais de utilidade pública	7,12	16,60	3,6%
Construção civil	16,83	18,13	3,9%
Comércio	6,49	22,32	4,8%
Transportes	3,84	13,38	2,9%
Comunicações	4,03	11,46	2,5%
Instituições financeiras	2,10	8,03	1,7%
Serviços prestados às famílias	0,37	15,92	3,4%
Serviços prestados às empresas	15,40	19,73	4,2%
Aluguel de imóveis	1,18	23,04	5,0%
Administração pública	0,79	1,97	0,4%
Serviços privados não-mercantis	0,00	2,55	0,5%
Total	266,41	464,79	100%

Tabela 7.5-16: Impactos sobre o nível de empregos

Setor	Direto e indireto	Total	Fração
Serviços	1.280.581	5.437.664	55,8%
Resto da agropecuária	85.593	1.306.734	13,4%
Máquinas, veículos e peças	1.230.894	1.266.551	13,0%
Resto da transformação	142.899	595.791	6,1%
Construção civil	389.014	418.976	4,3%
Siderurgia, mineração e metalurgia	348.084	402.283	4,1%
Alimentos	3.899	183.215	1,9%
Setor do petróleo e SIUP	24.139	57.590	0,6%
Setor químico	11.982	43.746	0,4%
Extrativa mineral	12.884	16.947	0,2%
Canha-de-açúcar	743	12.264	0,1%
Álcool	242	3.803	0,0%
Total	3.530.955	9.745.564	100%

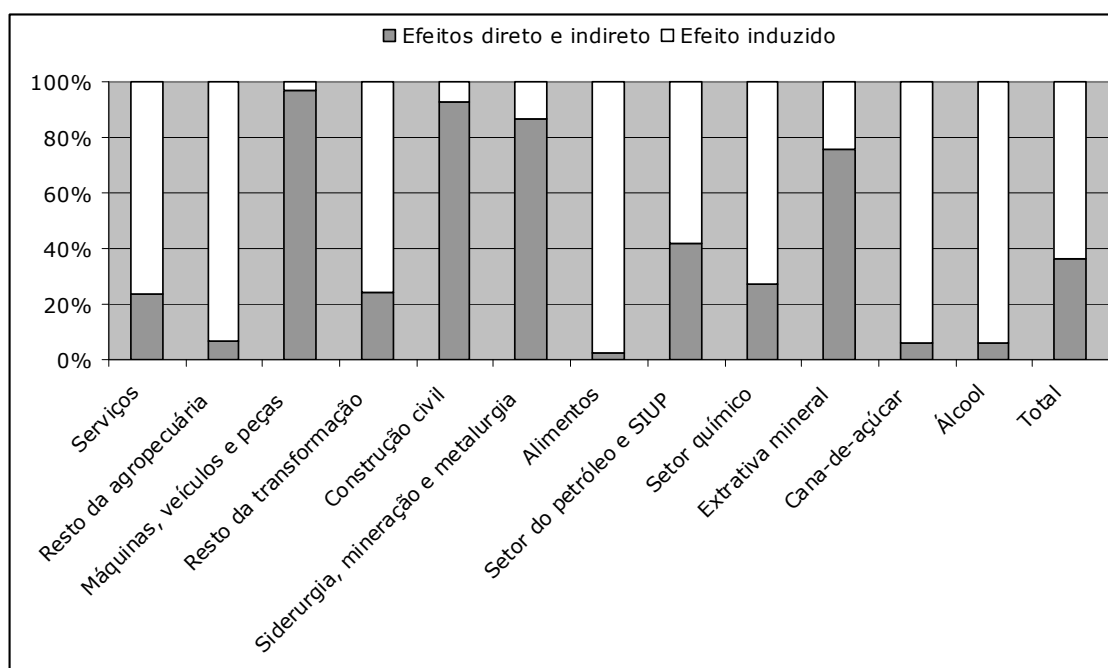


Figura 7.5-5: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o nível de empregos

setor de serviços. São gerados, no período de tempo de 20 anos, 9,75 milhões de empregos, o que dá uma média anual de 487 mil postos de trabalhos. A tabela 7.5-16 expõe os impactos.

A figura 7.5-5 exhibe a contribuição dos diferentes efeitos na geração de empregos. Ao todo, 63,8% dos empregos gerados são explicados pelo efeito renda.

A tabela 7.5-17 exhibe os impactos em emprego para cada um dos 45 setores. Os quatro maiores impactos referem-se aos setores de comércio, serviços prestados às famílias, resto da agropecuária e máquinas e tratores, somando, 5,58 milhões de empregos (57,3% do total); desses, 3,77 milhões (67,6%) são motivados pelo efeito induzido.

A tabela 7.5-18 revela que os dois setores com maior impacto – serviços e máquinas, veículos e peças – somam, conjuntamente, 64,5% dos efeitos totais no PIB.

Distribuindo-se o aumento total de R\$ 249,40 bilhões no PIB ao longo de 20 anos dá, em média, R\$ 12,47 bilhões ao ano.

Mais uma vez, o setor de serviços é impulsionado pelo efeito induzido (72,4%). Já o setor de máquinas, veículos e peças é afetado praticamente pelo efeito direto e indireto (97,2%), já que se liga diretamente à cadeia de produção de bens de capital. Destaque-se também a participação das famílias no aumento do PIB, que contribuem com 4,2% dos impactos totais em toda a economia.

A Figura 7.5-6 ilustra a composição dos vários efeitos nos impactos sobre o PIB. No total, 44,9% do aumento do PIB é explicado pelo efeito renda, que exerce grande influência sobre os setores de energia (petróleo e SIUP), resto da agropecuária, resto da transformação, alimentos, serviços e nas famílias (100%).

A tabela 7.5-19 , apresenta os impactos sobre o PIB em cada um dos 45 setores da desagregação completa e, também, sobre as famílias.

Tabela 7.5-17: Impactos sobre o nível de empregos

Setor	Direto e indireto	Total	Fração
Cana-de-açúcar	743	12.264	0,1%
Álcool	242	3.803	0,0%
Gasoálcool	37	776	0,0%
Elementos químicos não-petroquímicos	1.836	3.444	0,0%
Resto da agropecuária	85.593	1.306.734	13,4%
Indústria de açúcar	368	6.313	0,1%
Extrativa mineral	12.884	16.947	0,2%
Extração de petróleo e gás	3.145	8.000	0,1%
Minerais não-metálicos	49.433	63.326	0,6%
Siderurgia	29.691	32.532	0,3%
Metalurgia não-ferrosos	15.966	18.284	0,2%
Outros metalúrgicos	252.995	288.141	3,0%
Máquinas e tratores	1.206.198	1.225.921	12,6%
Material elétrico	15.203	22.195	0,2%
Equipamentos eletrônicos	1.603	7.470	0,1%
Automóveis, caminhões e ônibus	5.851	11.568	0,1%
Outros veículos e peças	18.846	29.061	0,3%
Madeira e mobiliário	37.953	95.743	1,0%
Papel e gráfica	28.812	59.544	0,6%
Indústria da borracha	7.444	11.250	0,1%
Refino do petróleo	2.796	7.158	0,1%
Químicos diversos	9.869	22.706	0,2%
Farmacêutica e de perfumaria	276	17.597	0,2%
Artigos de plástico	21.525	37.037	0,4%
Indústria têxtil	4.733	30.338	0,3%
Artigos do vestuário	3.888	272.331	2,8%
Fabricação de calçados	2.542	18.496	0,2%
Indústria do café	29	3.442	0,0%
Beneficiamento de produtos vegetais	575	40.708	0,4%
Abate de animais	183	28.922	0,3%
Indústria de laticínios	68	8.608	0,1%
Fabricação de óleos vegetais	153	3.409	0,0%
Outros produtos alimentares	2.524	91.813	0,9%
Indústria diversas	19.197	41.388	0,4%
Serviços industriais de utilidade pública	18.199	42.431	0,4%
Construção civil	389.014	418.976	4,3%
Comércio	487.193	1.675.197	17,2%
Transportes	121.319	422.401	4,3%
Comunicações	17.616	50.147	0,5%
Instituições financeiras	12.924	49.453	0,5%
Serviços prestados às famílias	31.782	1.373.674	14,1%
Serviços prestados às empresas	590.603	756.493	7,8%
Aluguel de imóveis	2.125	41.371	0,4%
Administração pública	16.983	42.315	0,4%
Serviços privados não-mercantis	0	1.025.836	10,5%
Total	3.530.955	9.745.564	100%

Tabela 7.5-18: Impactos sobre o PIB [R\$ bilhões]

Setor	Direto e indireto	Total	Fração
Serviços	22,83	82,76	33,2%
Máquinas, veículos e peças	75,96	78,15	31,3%
Setor do petróleo e SIUP	8,35	20,47	8,2%
Siderurgia, mineração e metalurgia	13,09	14,84	6,0%
Construção civil	10,59	11,41	4,6%
Resto da agropecuária	0,75	11,41	4,6%
Famílias	0,00	10,47	4,2%
Resto da transformação	3,94	9,49	3,8%
Alimentos	0,11	4,84	1,9%
Setor químico	1,30	3,83	1,5%
Álcool	0,04	0,68	0,3%
Extrativa mineral	0,43	0,57	0,2%
Cana-de-açúcar	0,03	0,49	0,2%
Total	137,42	249,40	100%

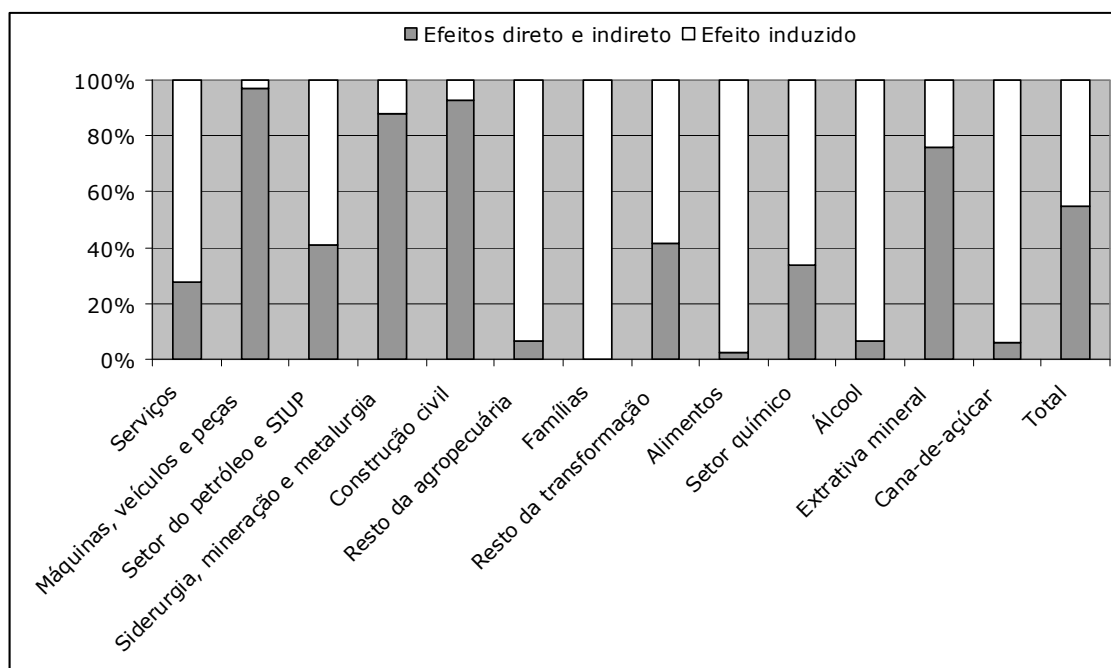


Figura 7.5-6: Composição dos efeitos diretos, indiretos e induzidos nos impactos sobre o PIB

Tabela 7.5-19: Impactos sobre o PIB [R\$ bilhões]

Setor	Direto e indireto	Total	Fração
Cana-de-açúcar	0,03	0,49	0,2%
Álcool	0,04	0,68	0,3%
Gasoálcool	0,02	0,48	0,2%
Elementos químicos não-petroquímicos	0,51	0,95	0,4%
Resto da agropecuária	0,75	11,41	4,6%
Indústria de açúcar	0,02	0,41	0,2%
Extrativa mineral	0,43	0,57	0,2%
Extração de petróleo e gás	1,74	4,43	1,8%
Minerais não-metálicos	1,34	1,72	0,7%
Siderurgia	6,14	6,73	2,7%
Metalurgia não-ferrosos	1,50	1,72	0,7%
Outros metalúrgicos	4,11	4,68	1,9%
Máquinas e tratores	74,59	75,81	30,4%
Material elétrico	0,65	0,95	0,4%
Equipamentos eletrônicos	0,13	0,59	0,2%
Automóveis, caminhões e ônibus	0,54	1,07	0,4%
Outros veículos e peças	0,82	1,27	0,5%
Madeira e mobiliário	0,36	0,91	0,4%
Papel e gráfica	1,08	2,23	0,9%
Indústria da borracha	0,70	1,06	0,4%
Refino do petróleo	2,73	6,98	2,8%
Químicos diversos	0,77	1,78	0,7%
Farmacêutica e de perfumaria	0,02	1,10	0,4%
Artigos de plástico	0,48	0,83	0,3%
Indústria têxtil	0,10	0,67	0,3%
Artigos do vestuário	0,02	1,18	0,5%
Fabricação de calçados	0,03	0,23	0,1%
Indústria do café	0,00	0,17	0,1%
Beneficiamento de produtos vegetais	0,01	0,99	0,4%
Abate de animais	0,01	0,85	0,3%
Indústria de laticínios	0,00	0,36	0,1%
Fabricação de óleos vegetais	0,02	0,49	0,2%
Outros produtos alimentares	0,04	1,56	0,6%
Indústria diversas	0,39	0,83	0,3%
Serviços industriais de utilidade pública	3,88	9,05	3,6%
Construção civil	10,59	11,41	4,6%
Comércio	4,25	14,63	5,9%
Transportes	1,59	5,55	2,2%
Comunicações	2,43	6,91	2,8%
Instituições financeiras	1,55	5,94	2,4%
Serviços prestados às famílias	0,22	9,42	3,8%
Serviços prestados às empresas	11,08	14,19	5,7%
Aluguel de imóveis	1,12	21,90	8,8%
Administração pública	0,55	1,38	0,6%
Serviços privados não-mercantis	0,00	2,36	0,9%
Famílias	0,00	10,47	4,2%
Total	137,42	249,40	100%

7.5.3 Impactos socioeconômicos em um *cluster* típico

É apresentada aqui uma estimativa preliminar, baseada em um modelo *ad-hoc* de insumo-produto, dos impactos socioeconômicos locais resultantes da operação de um agrupamento (*cluster*) típico, contendo 15 destilarias.

Como são previstos 41 agrupamentos, cada um estaria produzindo 2,55 bilhões de litros de álcool ao ano; ao todo, seriam se estaria exportando o volume preestabelecido de 104,55 bilhões de litros.

Das 45 indústrias consideradas aqui, foram selecionados 12 setores que têm influência local: cana-de-açúcar, álcool, construção civil, comércio e gasoálcool (gasolina C) (agregados), transportes, comunicações, instituições financeiras, serviços prestados às famílias, serviços prestados às empresas, aluguel de imóveis, administração pública e serviços privados não mercantis.

Foi construída uma rotina computacional que simula o cálculo dos efeitos diretos e indiretos pela equação 7.6, considerando o desenvolvimento em série da matriz inversa de Leontief estendida (com as famílias representadas endogenamente no modelo de insumo-produto) (MILLER e BLAIR, 1985).

Cabe mencionar que os impactos calculados dessa forma representam estimativas inferiores (para baixo) dos efeitos reais, já que setores com expressiva presença local, como, por exemplo, os de resto da agropecuária e alimentos, serão ignorados.

A tabela 7.5-20 mostra os impactos sobre o valor da produção. Em destaque aparecem os setores de álcool e cana-de-açúcar, influenciados principalmente pelo efeito direto, como se poderia esperar.

Tabela 7.5-20: Impactos sobre o valor da produção em um *cluster* típico [R\$ milhões]

Setor	Direto	Direto e indireto	Total	Fração
Álcool	2.322,15	2.324,65	2.340,65	48,1%
Cana-de-açúcar	1.056,54	1.136,69	1.152,38	23,7%
Comércio	36,55	83,84	307,57	6,3%
Aluguel de imóveis	2,03	8,05	214,10	4,4%
Transportes	66,26	101,24	211,63	4,4%
Serviços prestados às empresas	16,26	151,51	207,47	4,3%
Serviços prestados às famílias	0,39	2,86	148,20	3,0%
Comunicações	14,41	25,80	105,88	2,2%
Instituições financeiras	25,99	38,38	104,80	2,2%
Administração pública	2,39	9,82	24,33	0,5%
Serviços privados não mercantis	0,00	0,00	23,61	0,5%
Construção civil	5,24	7,24	21,54	0,4%
Total	3.548,22	3.890,10	4.862,17	100%

Em destaque aparecem os setores de álcool e cana-de-açúcar, influenciados principalmente pelo efeito direto, como se poderia esperar.

A tabela 7.5-21 exhibe os impactos sobre o nível de empregos. Diferentemente do que ocorre com os impactos sobre o valor da produção, a importância do efeito

renda é enorme. Seriam gerados 74.700 empregos, dos quais 42.344 seriam criados através do efeito renda.

Considerando que a cada emprego corresponda uma família média de 2,6 pessoas, a população média do *cluster* típico poderia ser estimada em quase 200.000 pessoas.

Tabela 7.5-21: Impactos sobre o nível de empregos em um *cluster* típico

Setor	Direto	Direto e indireto	Total	Fração
Comércio	2.685	5.508	18.212	24,4%
Serviços prestados às famílias	34	247	12.790	17,1%
Cana-de-açúcar	10.880	11.705	11.866	15,9%
Serviços privados não mercantis	0	0	9.496	12,7%
Serviços prestados às empresas	623	5.810	7.956	10,7%
Transportes	2.092	3.197	6.682	8,9%
Álcool	5.142	5.147	5.183	6,9%
Instituições financeiras	160	236	645	0,9%
Administração pública	51	211	524	0,7%
Construção civil	121	167	498	0,7%
Comunicações	63	113	463	0,6%
Aluguel de imóveis	4	14	385	0,5%
Total	21.855	32.356	74.700	100%

A tabela 7.5-22 apresenta os impactos em termos sobre PIB. O PIB anual seria de R\$ 2,34 bilhões.

Tabela 7.5-22: Impactos sobre o PIB em um *cluster* típico [R\$ milhões]

Setor	Direto	Direto e indireto	Total	Fração
Álcool	920,83	921,82	928,17	39,6%
Cana-de-açúcar	430,90	463,59	469,99	20,1%
Aluguel de imóveis	1,93	7,65	203,50	8,7%
Comércio	23,51	48,91	164,10	7,0%
Serviços prestados às empresas	11,70	109,01	149,28	6,4%
Transportes	27,50	42,01	87,82	3,7%
Serviços prestados às famílias	0,23	1,69	87,71	3,7%
Instituições financeiras	19,20	28,36	77,42	3,3%
Comunicações	8,68	15,55	63,81	2,7%
Famílias	0,00	0,00	58,34	2,5%
Serviços privados não mercantis	0,00	0,00	21,89	0,9%
Administração pública	1,68	6,90	17,09	0,7%
Construção civil	3,30	4,56	13,56	0,6%
Total	1.449,46	1.650,06	2.342,67	100%

Das informações presentes na tabelas 7.5-21 e 7.5-22, pode-se estimar o PIB mensal médio por emprego em R\$ 2.613,41, que vem a ser 54,6% superior à média nacional em 2002.

7.6 Considerações finais

São discutidas aqui algumas considerações sobre a metodologia empregada, a obtenção da base de dados, os impactos socioeconômicos medidos e possíveis extensões do estudo.

O trabalho feito na parte tratada aqui (subprojeto economia) tem o objetivo de avaliar os impactos socioeconômicos que resultariam da ampliação da capacidade de produção de etanol no Brasil em 104,55 bilhões de litros ao ano, em um prazo de vinte anos, quantidade essa que seria necessária para atender a 5% do consumo global equivalente de gasolina em 2025. Para cumprir essa meta, foi proposto um cenário em que seriam construídas 615 destilarias autônomas, cada uma delas produzindo 170 milhões de litros de álcool com a moagem de 2 milhões de toneladas de cana-de-açúcar ao ano, usando as tecnologias mais eficientes disponíveis hoje.

Para a mensuração dos impactos socioeconômicos, foi empregado um modelo estendido de insumo-produto. O modelo matemático de insumo-produto, desenvolvido por Leontief na década de 1930, é adequado para analisar as relações inter-setoriais na economia. Usado tipicamente para avaliar os impactos em toda a cadeia produtiva de uma mudança na demanda final pelo produto de uma dada indústria – exatamente a situação abordada aqui –, o modelo básico de insumo-produto não permite, porém, a representação de setores produzindo o mesmo bem ou serviço usando diferentes tecnologias. Por exemplo, a colheita de cana-de-açúcar pode ser feita manualmente ou através de máquinas colhedoras e o álcool pode ser produzido em destilarias anexas ou autônomas. Todos esses diferentes modos de produção estarão presentes no período de tempo estudado. Assim, foi desenvolvido um modelo *estendido* de insumo-produto para servir aos propósitos do estudo, com estrutura teórica calcada em CUNHA (2005), que permitiu, entre outras coisas, simular o cenário de mecanização plena da colheita da cana-de-açúcar e, também, avaliar seus efeitos – diretos, indiretos e induzidos – no emprego, uma importante questão social.

O modelo de insumo-produto não tem grande complexidade matemática, mas depende fundamentalmente de uma base de dados extremamente detalhada. Pode-se dizer, de fato, que a exatidão de um modelo de insumo-produto decorre mais do acerto de sua base de dados do que especificamente de suas propriedades teóricas.

A construção da base de dados exigiu parte considerável do tempo alocado. A matriz de insumo-produto nacional mais recente divulgada pelo IBGE corresponde ao ano de 1996. Assim, seguindo o cronograma inicialmente colocado, durante os primeiros meses do trabalho foi desenvolvida um método próprio de atualização de matrizes de insumo-produto, que se mostrou bastante satisfatório em testes de validação. O método foi usado para estimar uma matriz de insumo-produto para o ano base de 2002. A desagregação das atividades de produção de cana-de-açúcar e álcool se baseou em informações fornecidas por especialistas do setor eletro-sucroalcooleiro. Os dados de engenharia foram então inseridos na base de dados de forma ascendente (*bottom-up*).

Mostrou-se que as exportações de álcool seriam responsáveis pelo crescimento de 12,77% do valor da produção de toda a economia em relação ao observado em 2002. Os setores que experimentariam maior expansão da capacidade de produção seriam o de álcool (837,7%), cana-de-açúcar (504,6%), químicos diversos (que inclui fertilizantes) (25,3%) e refino do petróleo (16,7%). Seriam gerados 5

milhões e 343 mil empregos – que corresponde ao pessoal ocupado nos setores de construção civil, extração mineral, comunicações e instituições financeiras, juntos, em 2002. O aumento do PIB seria de 11,42%; isso equivale a adicionar um estado do Rio de Janeiro na economia – o segundo em termos da participação no PIB nacional. Os investimentos, estimados em R\$ 195,81 bilhões (valores em setembro de 2005), promoveriam, em média, durante 20 anos, 487 mil e 300 empregos e um aumento do PIB de R\$ 12,47 bilhões.

A análise preliminar sobre um *cluster* padrão de 15 destilarias revela que seriam gerados localmente 74.700 empregos e renda de R\$ 2,34 bilhões; assim, o PIB por trabalhador seria de R\$ 2.613,41 ao mês – 54,6% maior que a média nacional em 2002. O resultado sugere que o crescimento econômico poderia se dar com uma melhoria da distribuição espacial da renda. Ao enfrentar o problema das disparidades regionais, a iniciativa da cana-de-energia poderia, de fato, contribuir para a redução da concentração de renda no Brasil.

Encerrada essa primeira fase do projeto, é possível apontar algumas possíveis extensões para o estudo, como será exposto a seguir.

Os impactos socioeconômicos locais decorrentes da operação de um *cluster* típico de destilarias de álcool foram quantificados de modo preliminar, usando-se um método *ad-hoc*, baseado na teoria de insumo-produto, que tenta rebater os impactos em toda economia a uma região particular. Porém, somente um modelo *inter-regional* de insumo-produto seria capaz de fornecer estimativas precisas sobre os impactos locais, permitindo, além disso, mensurar os fluxos de comércio entre diferentes regiões do país.

Seria interessante também avaliar a penetração de tecnologias emergentes para o setor eletro-sucroalcooleiro, como a produção de etanol através da hidrólise celulósica do bagaço da cana-de-açúcar. Como se daria a competição por bagaço na produção de álcool e eletricidade? Um modelo de equilíbrio geral seria a ferramenta mais adequada para se analisar essa questão (SCARAMUCCI et al., 2006).

Uma proposta poderia ser um projeto piloto de desenvolvimento regional com base no bioetanol; uma área específica seria selecionada, para se estudar, detalhadamente, de forma transversal, todos os aspectos tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais envolvidos.

Referências bibliográficas

- CAMPBELL, C. J. (2003). "The Essence of Oil & Gas Depletion". Multi-Science, Brentwood Essex, UK.
- CASLER, S. D. (2004). Input-Output Analysis. In "Encyclopedia of Energy" (Cutler J. Cleveland, ed.), vol. 3, pp. 459–474. Elsevier, San Diego, CA.
- CUNHA, M. P. (2005). Inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética do Brasil: uma análise de insumo-produto. Tese de mestrado, Unicamp.
- Energy Information Administration (EIA), U.S. Department of Energy (2003). Brazil. Country Analysis Briefs, julho (<http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/brazil.html>).
- GUILHOTO, J. J. M., e SESSO Filho, U. A. (2005). "Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das contas nacionais", a sair em *Economia Aplicada*, vol. 9, nº 1, abril-junho.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Matriz de insumo-produto, 1996 (http://www2.ibge.gov.br/pub/Contas_Nacionais/Matriz_de_Insumo_Produto/1996/).
- KURTZ, R. (2004). Energias em Combustão. Folha de S. Paulo, 11 de julho.
- MILLER, R. E., e BLAIR, P. D. (1985). "Input-output analysis: Foundations and Extensions". Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- REINERT, K. A., e ROLAND-HOLST, D. W. (1997). Social Accounting Matrices. In "Applied Methods for Trade Policy Analysis: A Handbook" (J. F. Francois e K. A. Reinert (eds.)), pp. 94–121). Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- SCARAMUCCI, J. A., PERIN, C., PULINO, P., BORDONI, O. F. J. G., CUNHA, M. P. e CORTEZ, L. A. B. (2006). "Energy from sugarcane bagasse under electricity rationing in Brazil: A computable general equilibrium model". Aceito para publicação em 2006 (?), *Energy Policy*.
- União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA) (2005). (<http://www.unica.com.br/>).

8 DISPONIBILIDADE E DEMANDA DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

Os impactos no meio ambiente considerados na produção agrícola em geral devem ser vistos em relação a cultura da cana, assim como os relacionados com a produção industrial e uso final. Eles incluem a poluição do ar, localmente, na queimada da cana e no uso do etanol combustível; as emissões de gases de efeito estufa, em todo o ciclo de vida; os impactos do uso de novas áreas de produção, inclusive biodiversidade, os impactos na conservação do solo, erosão, no uso de recursos hídricos e na qualidade da água e no uso de defensivos e fertilizantes.

Na avaliação dos efeitos ambientais da expansão da produção agrícola da cana-de-açúcar, é importante considerar que esta avaliação é sempre relativa, sempre relacionada com os usos alternativos da terra e recursos hídricos. Os impactos (erosão; proteção da base de produção; biodiversidade; uso de químicos, etc.) são muito diferentes se a cana substituir (como tem ocorrido na maioria dos casos) pastagens extensivas, ou a cultura da laranja, ou se ocupar diretamente áreas de cerrados ou mesmo florestas. Estas considerações são normalmente feitas quando da substituição dos usos do solo, para verificar se há degradação potencial ou se o novo uso promoverá a recuperação ambiental.

A produção agrícola da cana no Brasil hoje apresenta aspectos ambientalmente muito interessantes. Usa baixo nível de defensivos; tem o maior programa de controle biológico de pragas instalado no país; tem um dos menores índices de erosão do solo da agricultura brasileira; recicla todos os seus resíduos; não compromete a qualidade dos recursos hídricos e participa ativamente de inovações, por exemplo, apresentando a maior área de produção orgânica do país (como cultura isolada) (ROSSETTO, 2004).

Os impactos da cultura da cana no suprimento de água (volume e qualidade) são pequenos, hoje. Os principais motivos são a não utilização de irrigação; a redução importante obtida nos últimos anos na captação de água para uso industrial com o emprego do conceito de produção mais limpa, com re-utilização interna nos processos, e a prática de devolver a água para a lavoura, nos sistemas de fertirrigação.

Por outro lado, a legislação e suas aplicações específicas sobre as áreas de proteção ambiental (APP) relativas às matas ciliares têm liberado estas áreas do plantio e podem levar a um grande avanço, criando corredores para a recomposição da biodiversidade, como propõe a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

Este capítulo retrata o estado da arte dos recursos hídricos no Brasil e ressalta os recentes avanços observados no arcabouço legal do setor de recursos hídricos, principalmente no que se refere à Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, contemplando mecanismos institucionais aperfeiçoados em favor de uma gestão racional e compartilhada dos recursos hídricos.

O setor sucroalcooleiro é um dos grandes consumidores de água do setor industrial, apesar de não utilizar água para irrigação nos dias de hoje; esta opção deverá ser

considerada para as futuras expansões, tornando imprescindível um conhecimento maior dos impactos, advindos deste possível uso, e da legislação pertinente.

8.1 Disponibilidade e uso de água no Brasil – setor sucroalcooleiro

Embora nosso planeta seja praticamente coberto por água e, por isso muitas vezes chamado de Planeta Água, só uma parcela diminuta encontra-se disponível para suprir nossas necessidades. Segundo dados apresentados por MOTA (1997), a quantidade de água na Terra chega à ordem de 1.370.000.000 km³, sendo que somente 8.200.000 km³ apresentam-se na forma de água doce, destes, apenas 98.400 km³ apresentam-se como rios e lagos e 4.050.800 km³ como água subterrânea acessível, pois a outra metade da água subterrânea encontra-se confinada a profundidades superiores a 800m, ainda inatingíveis.

Em termos de percentuais divulga-se que dos 100% de água existente na Terra, 97% são águas salgadas e 3% de águas doces. Dos 3% de águas doces no mundo está distribuída (FREITAS, 2002) em 2,3% nas geleiras e lençóis glaciais; 0,66% em lençóis subterrâneos, e 0,04% nas águas de superfícies. O Brasil se destaca pela grande abundância de recursos hídricos, na superfície e em lençóis subterrâneos. A Tabela 8.1-1 compara valores do Brasil e médias mundiais de oferta (deflúvio médio das bacias) e consumo da água de superfície. O Brasil tem 50 mil km² de sua superfície coberta por água doce (rios, lagos).

Tabela 8.1-1 - Oferta e consumo de águas de superfície, Brasil e mundo.

	Oferta ¹		Consumo ²	
	km ³ /ano	m ³ /hab.ano	km ³ /ano	m ³ /hab.ano
Brasil	5.740	34.000	55	359
Mundo	41.281	6.960	3.414	648

¹ Deflúvio médio (2000); ² Consumo avaliado em 1990.

As restrições legais ao uso do solo e recursos hídricos, visando proteger o meio ambiente, são objeto de legislação extensa no Brasil. Com a instituição da Lei 9.433/97, definiu-se a bacia hidrográfica como a unidade territorial brasileira compreendida por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas a orientar o planejamento para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Tendo como base o princípio acima, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, instituiu a Divisão Hidrográfica Nacional, segundo a resolução nº 32/03, como mostra a Figura 8.1-1.

Para fins de planejamento e com a finalidade de estudar, detalhar e caracterizar as regiões hidrográficas, as 12 regiões foram divididas em 83 unidades (nível 2) e 332 unidades hidrográficas de referência (nível 3) (Figura 8.1-1), abrangendo os principais rios e sub-bacias da região. A divisão procurou preservar as unidades de gestão de recursos hídricos utilizadas por cada estado e Distrito Federal que compõem a bacia. Essas divisões, que em alguns estados foram estabelecidas por lei, levam em consideração aspectos diversos, entre eles, hidrográficos, socioeconômicos e concernentes à política local. O reconhecimento dessas áreas é de relevância fundamental para uniformização e troca de informações entre os órgãos federais e estaduais que tratam do assunto. Adicionalmente, os principais

rios das 12 regiões foram selecionados, com a finalidade de sua caracterização, por trechos. Tal procedimento possibilitou uma melhor identificação, localização e priorização de ações visando auxiliar as atividades de planejamento e gestão de recursos hídricos.

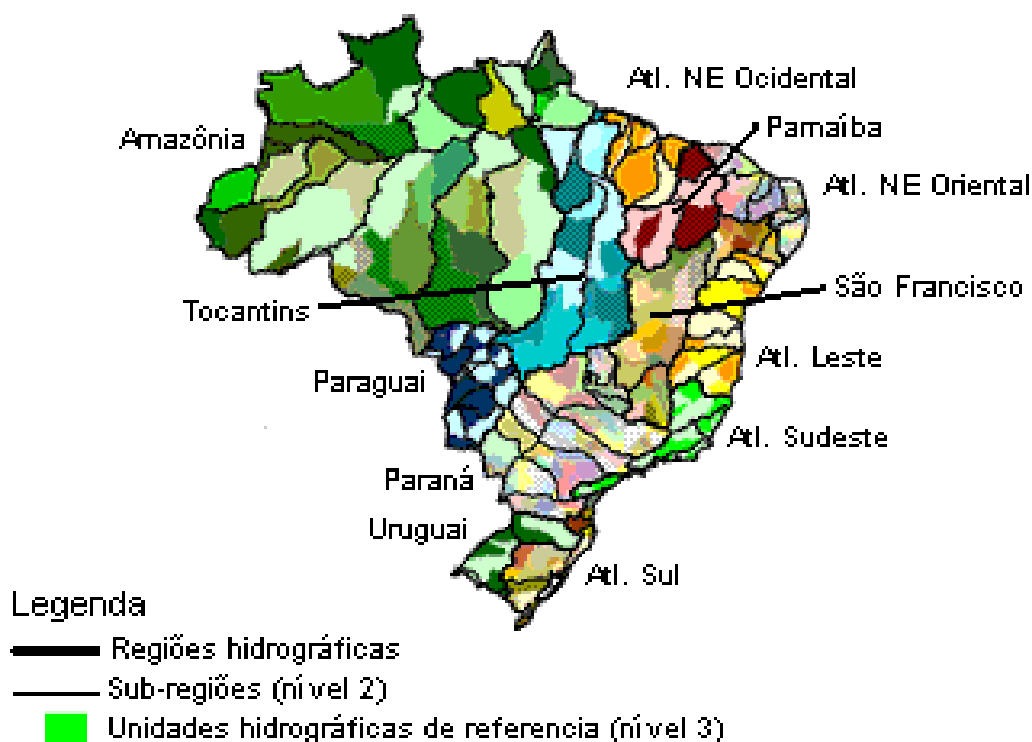


Figura 8.1-1 - Divisão Hidrográfica Nacional - Regiões hidrográficas, sub-regiões e unidades hidrográficas de referência (Resolução no 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos).

No país, a precipitação média anual é de 1.797 mm, variando desde menos de 800 mm, na região semi-árida do Nordeste, a mais de 2.500 mm, na Amazônia. Os menores valores de precipitação no país ocorrem nas regiões hidrográficas do São Francisco (1.037 mm), Atlântico Leste (1.058 mm), Parnaíba (1.117 mm) e Atlântico Nordeste Oriental (1.218 mm). As maiores precipitações são observadas nas regiões Amazônica (2.239 mm), Tocantins/Araguaia (1.837 mm), Atlântico Nordeste Ocidental (1.790 mm) e Uruguai (1.785 mm).

A vazão média anual dos rios em território brasileiro é de 179 mil m³/s (5.660 km³/ano). Este valor corresponde a aproximadamente 12% da disponibilidade mundial de recursos hídricos, que é de 1,5 milhões de m³/s (44.000 km³/ano) (SHIKLOMANOV, 1998). Levando-se em consideração as vazões oriundas em território estrangeiro que entram no país (Amazônica: 86.321 m³/s, Uruguai: 878 m³/s e Paraguai: 595 m³/s e), essa disponibilidade hídrica total atinge valores da ordem de 267 mil m³/s (8.427 km³/ano - 18% da disponibilidade mundial). A Tabela 8.1-2, a seguir, apresenta dados de vazões média e de estiagem, precipitação média anual e disponibilidade hídrica superficiais do país e das doze regiões hidrográficas.

Tabela 8.1-2 - Potencial hídrico das regiões hidrográficas e no país.

Região hidrográfica	Área (km ²)	Vazão (m ³ /s)		Precipitação média anual	Disponibilidade hídrica	
		Média	Estiagem (Q ₉₅) ¹	(Pmm)	(km ³ /ano) ⁵	(%) ⁶
<i>Amazônica</i> ²	3.869.953	131.947	73.748	2.239	4.161	73,6
<i>Tocantins/Araguaia</i>	921.921	13.624	2.550	1.837	430	7,6
Atl. NE Ocidental	274.301	2.683	328	1.790	85	1,5
<i>Parnaíba</i>	333.056	763	294	1.117	24	0,4
<i>Atl. NE Oriental</i>	286.802	779	32	1.218	25	0,4
<i>São Francisco</i>	638.576	1.492	854	1.037	90	1,6
At. Leste	388.160	1.492	253	1.058	47	0,8
Atl. Sudeste	214.629	3.179	989	1.349	100	1,8
Atl. Sul	187.522	4.174	624	1.568	132	2,3
Uruguai ³	174.533	4.121	391	1.785	130	2,3
<i>Paraná</i>	879.873	11.453	4.647	1.511	361	6,4
<i>Paraguai</i> ⁴	363.446	2.368	785	1.398	75	1,3
Brasil	8.532.222	179.433*	85.495	1.797	5.660	100

¹: Vazão com permanência de 95%; ²: A bacia amazônica ainda compreende uma área de 2,2 milhões de km² em território estrangeiro, a qual contribui com adicionais 86.321 m³/s, em termos de vazão média. ³: A bacia do rio Uruguai ainda compreende adicionais 37 mil km² em território estrangeiro, a qual contribui com 878 m³/s. ⁴: A bacia do rio Paraguai compreende adicionais 118 mil km² em território estrangeiro e 595 m³/s. ⁵: Contribuição média anual de cada região, em km³. ⁶: Contribuição da vazão média nas regiões, em percentagem do total. *267 mil m³/s, com a contribuição em território estrangeiro.






O exame da Tabela 8.1-2 e da Figura 8.1-1 permite verificar que a região hidrográfica Amazônica detém 73,6% dos recursos hídricos superficiais. Ou seja, a vazão média desta região é quase três vezes maior que a soma das vazões das demais regiões hidrográficas. A segunda maior região, em termos de disponibilidade hídrica, é a do Tocantins/Araguaia, com 13.624 m³/s (7,6%), seguida da região do Paraná, com 11.453 m³/s (6,4%). As bacias com menor vazão são, respectivamente: Parnaíba, com 763 m³/s (0,4%); Atlântico Nordeste Oriental, com 779 m³/s (0,4%) e Atlântico Leste, com 1.492 m³/s (0,8%). A contribuição média anual km³ no mundo está em torno de 44 mil km³ enquanto que no Brasil fica em 5.660 km³ (12%) e levando-se em consideração o Brasil + Territórios Estrangeiros passa 8.427 km³ (18%).

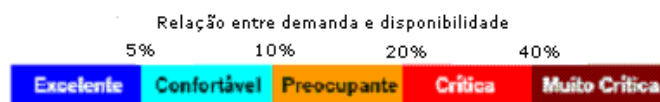
A vazão específica indica as regiões mais e menos produtoras de água. No Brasil, a vazão específica varia de menos de 2 L/s.km², nas bacias da região semi-árida, até mais de 40 L/s.km², no noroeste da região Amazônica, sendo a média nacional igual a 21 L/s.km². A baixa vazão específica observada na região do Pantanal (região hidrográfica do Pantanal) mostra que esta área, apesar da abundância de água oriunda na região de Planalto, não é produtora de água, resultando em baixa contribuição da região do Pantanal ao escoamento superficial. No Pantanal há uma expressiva perda de água por evapotranspiração.

A Figura 8.1-2 mostra a relação entre a demanda e a disponibilidade hídrica ao longo dos principais cursos d'água do país. Nas Figuras de 8.1-3 a 8.1-10 mostram mais detalhadamente a relação entre a demanda e a disponibilidade hídrica nos principais cursos d'água das regiões hidrográficas onde estão localizadas as áreas de expansão da produção de etanol combustível no Brasil a partir da cana-de-açúcar.

Relação entre demanda e disponibilidade hídrica nas principais regiões hidrográficas onde estão previstas a instalação dos *clusters* com as destilarias para expansão da produção de etanol combustível no Brasil.

A European Environment Agency e as Nações Unidas utilizam o Índice de Retirada de Água ou water exploitation index, que é igual ao quociente entre a retirada total anual e a vazão média de longo período. Este indicador foi usado para refletir a situação real de utilização dos recursos hídricos. Este índice adota a seguinte classificação:

-  < 5% - **Excelente**. Pouco ou nenhuma atividade de gerenciamento é necessária. A água é considerada um bem livre.
-  5 a 10% - **A situação é confortável**, podendo ocorrer necessidade de gerenciamento para solução de problemas locais de abastecimento.
-  10 a 20% - **Preocupante**. A atividade de gerenciamento é indispensável, exigindo a realização de investimentos médios.
-  20 a 40% - **A situação é crítica**, exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos.
-  > 40% - **A situação é muito crítica**.



A disponibilidade é a vazão regularizada pelo sistema de reservatórios a montante, com 100% de garantia, somada à vazão com permanência de 95%, no trecho não regularizado. Em rios sem regularização, a disponibilidade é a vazão com permanência de 95%

Figura 8.1-2 - Relação entre demanda e disponibilidade hídrica nos principais cursos d'água.

A relação entre as demandas e a disponibilidade de recursos hídricos aponta a situação atual da utilização dos recursos hídricos no país como confortável. Em relação a este indicador, a situação é confortável na região hidrográfica Amazônica. Na Tocantins/Araguaia a situação também é confortável, excetuando algumas regiões de cabeceiras e nos rios Jaburu e Formoso onde as atividades de irrigação se intensificaram nos últimos anos. Na região Atlântico Nordeste Oriental, o rio Mearim encontra-se em situação crítica.

O rio Parnaíba consegue atender com tranquilidade as demandas da bacia, excetuando alguns afluentes indicados na Figura 8.1-6. A região Atlântico Nordeste Oriental é a mais crítica. Quase todas as sub-bacias desta região apresentam uma relação entre demanda e disponibilidade acima de 40%. A região hidrográfica do São Francisco também tem diversas sub-bacias em situação pelo menos preocupante: as sub-bacias dos rios das Velhas e Paraopeba, alguns afluentes do Paracatu (rios Preto, São Pedro e ribeirão Entre-ribeiros, o Alto rio Grande, a maioria dos rios localizados na região semi-árida da bacia. Algumas bacias do Atlântico Leste também apresentam dificuldades no atendimento às demandas: entre outros, Vaza-Barris, Itapicuru e Paraguaçu. Adicionalmente, apresentam um quadro pelo menos preocupante, as bacias próximas aos centros urbanos, como aquelas da região Atlântico Sudeste (por exemplo, rios Paraíba do Sul, Pomba, Muriaé, Guandu e rios que desembocam na Baía de Guanabara), Atlântico Sul (Guaíba, Jacuí e Camaquã, entre outros) e do Paraná (rios São Bartolomeu, Meia Ponte, alguns afluentes do rio Grande - rios Sapucaí, Turvo, Pardo e Mogi-Guaçu Piracicaba e Tietê, por exemplo). Por fim, algumas bacias localizadas na região do Uruguai encontram-se em uma situação que exige intenso gerenciamento e intervenções devido principalmente a conflitos de usos com a irrigação (rios Icamauã, Ibicuí, Santa Maria e Quaraí, entre outros). A Figura 8.1-2 e Figura 8.1-9 mostra uma situação confortável na região hidrográfica do Paraguai.

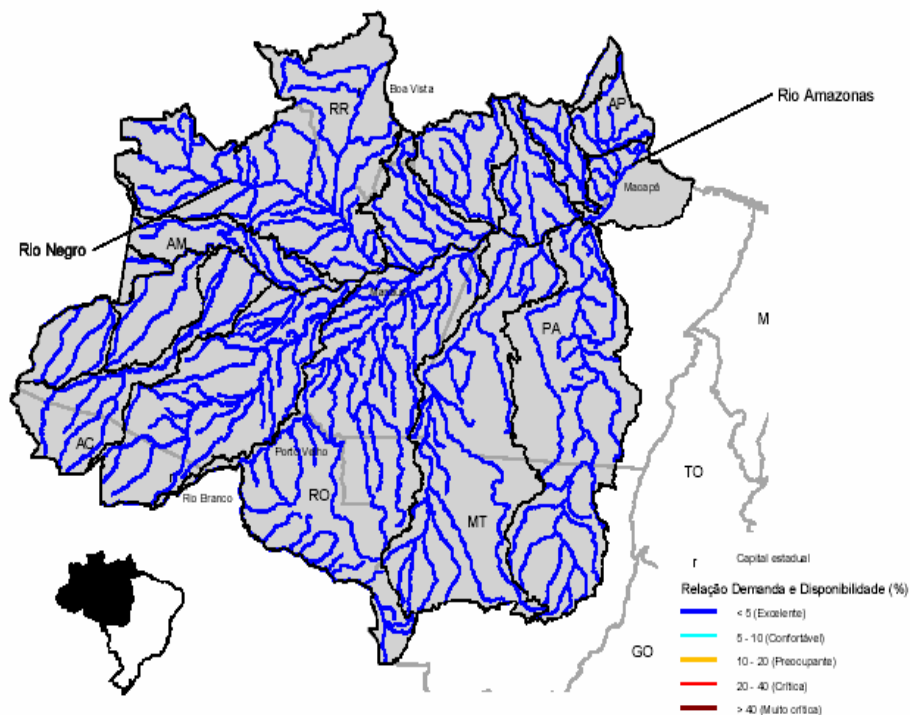


Figura 8.1-3 - Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Amazônica.

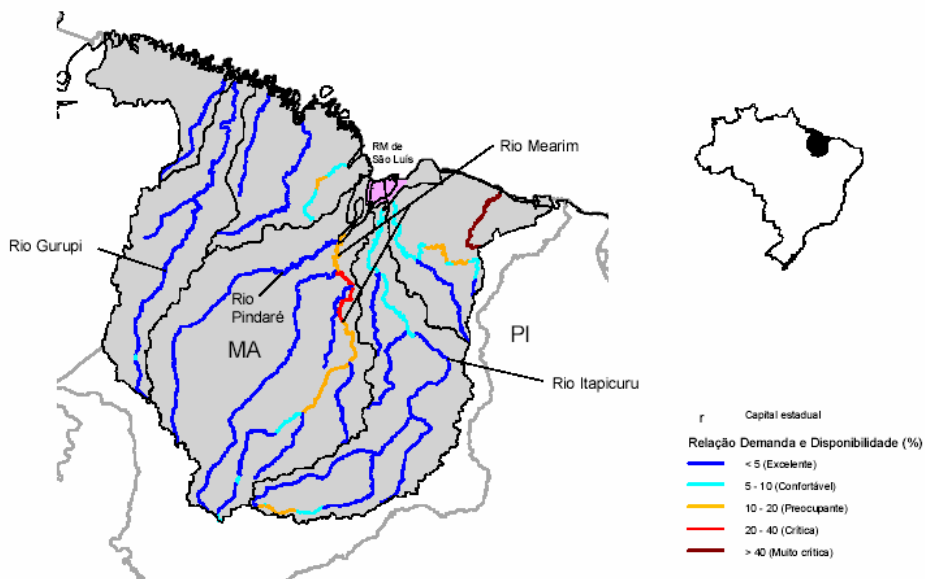


Figura 8.1-4 – Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Atl. NE Ocidental.

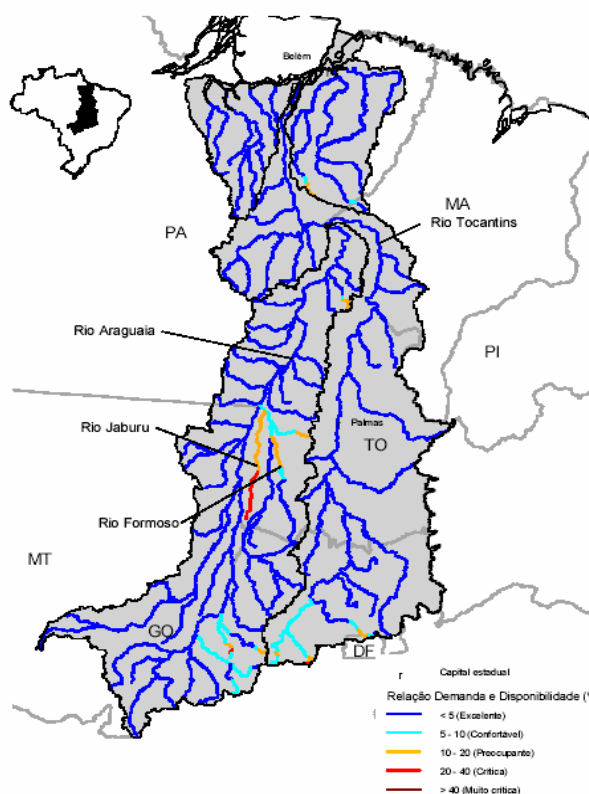


Figura 8.1-5 – Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Tocantins/Araguaia.

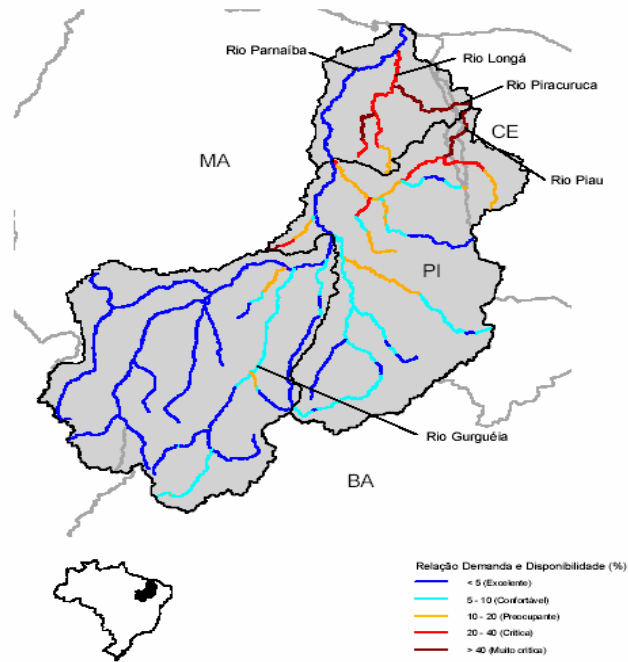


Figura 8.1-6 - Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Parnaíba.

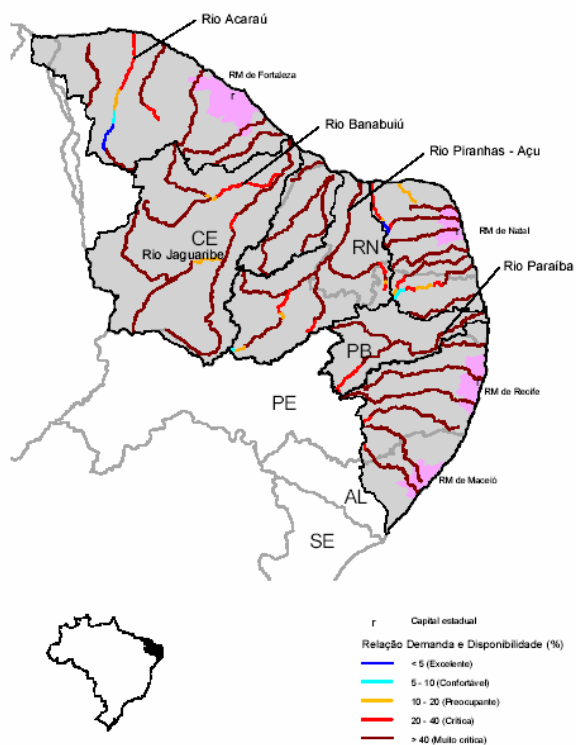


Figura 8.1-7 - Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Atl. NE Oriental.

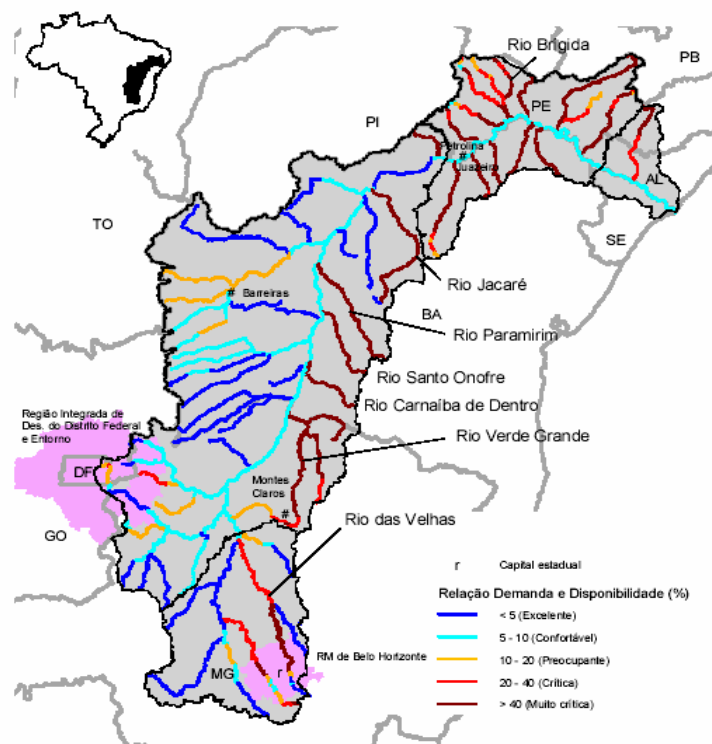


Figura 8.1-8 - Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica São Francisco.

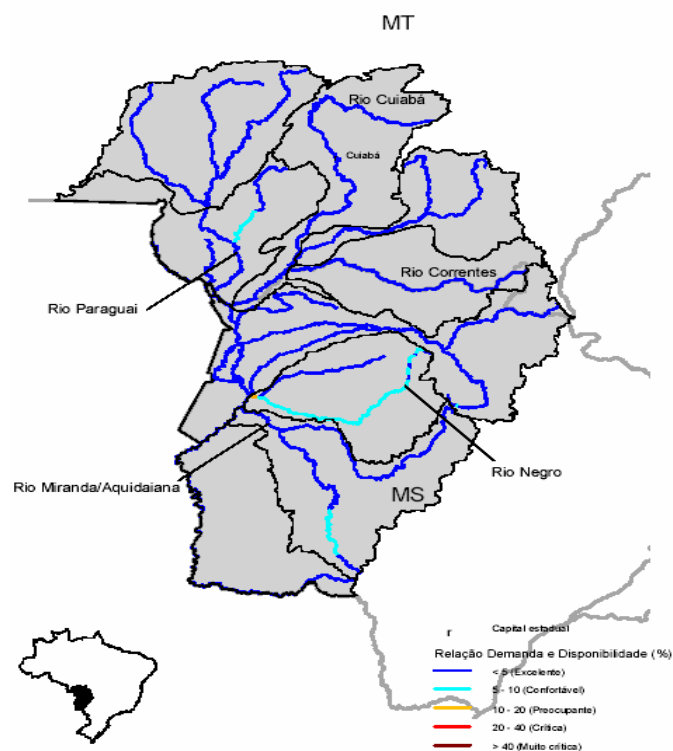


Figura 8.1-9 - Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Paraguai.

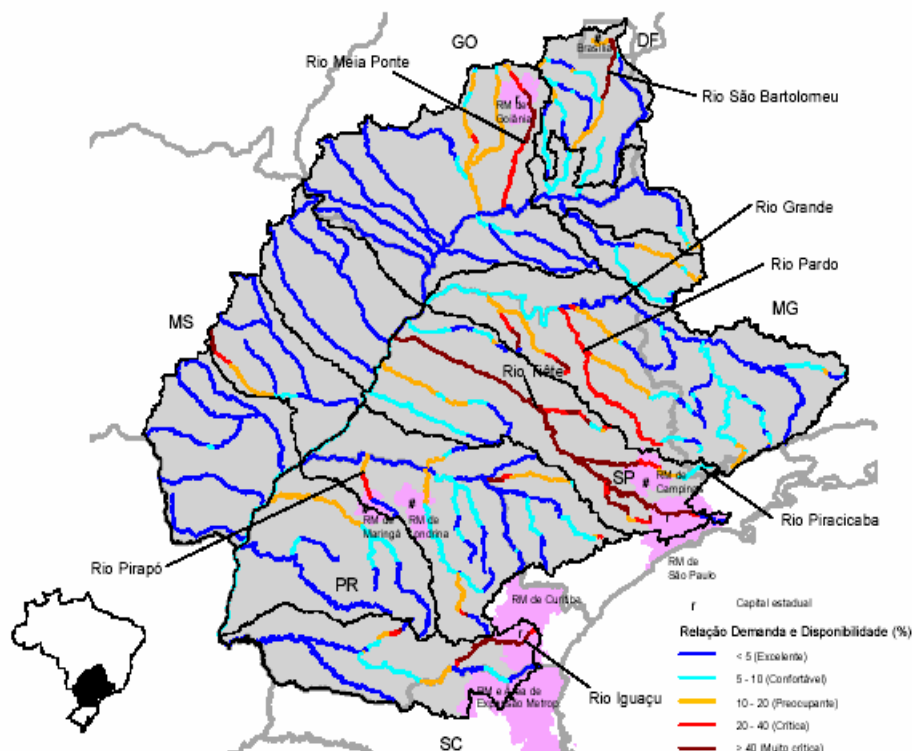


Figura 8.1-10 - Relação entre demanda e disponibilidade hídrica na região hidrográfica Paraná.

Baseada nas Figuras 8.1-2 a 8.1-10 acima, a Tabela 8.1-3 resume as principais bacias onde a relação entre a demanda e a disponibilidade hídrica (a disponibilidade é a vazão regularizada pelo sistema de reservatórios a montante, com 100% de garantia, somada à vazão com permanência de 95%, no trecho não regularizado; em rios sem regularização, a disponibilidade é a vazão com permanência de 95%) é pelo menos preocupante (> 10%).

Tabela 8.1-3 - Principais rios com trechos onde a relação entre demanda e disponibilidade é, pelo menos, preocupante (>10%).

Regiões hidrográficas	Principais Bacias	Classificação
<i>Amazônica</i>	-----	-----
<i>Tocantins/ Araguaia</i>	- Ribeirão da Água Limpa, próximo ao município de Jussara-GO; Rio Vermelho, próximo ao município de Góis-GO; Rio Padre Sousa, próximo ao município de Pirenópolis- GO; Rio Jaburu, entre Formoso do Araguaia e Pium-TO; Rio Formoso, próximo ao município de Lagoa da Confusão-TO.	Preocupante
Atl. NE Ocidental	- Rio Mearim, desde o município de Barra da Corda-MA; Rio Preto, entre os municípios de Mata Roma e São Benedito do Rio Preto-MA.	Preocupante
<i>Parnaíba</i>	- Rios Itaim e Canindé, entre os municípios de Picos-PI e Francisco Ayres-PI; Rio Poti e afluentes; Rio Longá, PI.	Preocupante
<i>Atl. NE Oriental</i>	- Rio Acaraú, CE; Rios da faixa litorânea norte do RN (Cabuji e outros).	Crítica
	- Rios Aracatiçu e Curu, CE; Bacias da região Metropolitana de Fortaleza-CE Rio Jaguaribe e afluentes, CE; Rios Apodi, Mossoró e afluentes, RN; Rio Piranhas-Açu e afluentes, RN e PB; Rios Boqueirão, Maxaranguape, Punaú, RN; Rios Ceará-Mirim e Potengi, RN; Rios Trairi e Pirangi, RN e PB; Rios Jacu, Curimataú, Mamanguape, RN e PB; Rio Paraíba; PB; Rios Gramame, Goiana, PB e PE; Rio Capibaribe, PE; Rios Una, Ipojuca Sirinhaém, PE; Rio Mundaú, AL.	Muito Crítica
<i>São Francisco</i>	- Rio Pará, entre os municípios de Pompéu e Pitangui-MG; Afluentes do rio Paracatu (Rio Preto, DF, GO e MG; Rio São Pedro e Ribeirão Entre-ribeiros, MG); Afluentes do rio Urucuia (Rio São Miguel, MG; Ribeirão da Conceição, MG); Alto Rio Grande até confluência com o rio Preto, BA	Preocupante
	- Rio Paraopeba, MG; Rio das Velhas, MG; Rio Ipanema, AL e PE	Crítica
	- Rios Verde Grande e Gorotuba, MG e BA; Rio das Rãs e rio Santo Onofre, BA; Rios Paramirim e Carnaíba de Dentro, BA; Rios da margem esquerda de Sobradinho, BA; Rios Jacaré, Salitre, Curaçá, Macururé, BA; Rios Pontal, Garças, Brígida, Terra Nova, PE; Rios Pajeú, Moxotó, Curitiba, PE	Muito Crítica
	- Rios Itaúnas e São Mateus, MG e ES.	Crítica
Atlântico Sudeste	- Rios Sergipe, Vaza-Barris, Jacaré, Real, BA; Rios Itapicuru, Inhambupe, Pojuca, Paraguaçu, BA; Rios Jequiricá, Rio de Contas, Pardo, BA e MG.	Muito Crítica
	- Rio Barra Seca; Rio Itapemirim, entre Cachoeiro de Itapemirim-ES e a foz;	Preocupante
	Rios Paraíba do Sul, Pomba e Muriaé, SP, MG e RJ. - Rio Grande (afluente do Paraíba do Sul). - Rio Guandu, RJ; Rios da Baía de Guanabara, RJ.	Crítica Muito Crítica
Atlântico Sul	- Rio Itajaí-Açu entre os municípios de Rio do Oeste e Rio do Sul, SC; Rio Hipólito, em Laguna-SC; Afluentes do rio Guaíba: Rios Pardo, Taquari, Caí, RS.	Preocupante
	- Rios Guaíba e Jacuí, RS; Rio Camaquã, RS; Rio Piratini, RS.	Crítica
	- Afluentes do rio Guaíba: Rios Vacacaí e Rio dos Sinos.	Muito Crítica
Uruguai	- Rio do Peixe, RS; Rio Piratini, RS.	Preocupante
	- Rio Uruguai, entre os municípios de Uruguaiana e Barra do Quarai-RS. - Rio Icamaguã, RS; Rio Ibicuí, RS; Rio Santa Maria, RS; Rio Quarai, RS	Crítica Muito Crítica
<i>Paraná</i>	- Rio São Bartolomeu, DF e GO; Rio Meia Ponte, GO; Rio Jordão, próximo ao município de Guarapuava-PR; Rio Iguapeí ou Feio, SP; Rio Anhanduí, entre os municípios de Campo Grande e Nova Andradina-MS; Rio Pardo (afluente do rio Paranapanema), SP; Rio Ivaí, PR; Afluentes do rio Grande (Rios Sapucaí, Turvo, SP; Rio Pardo (afluente do rio Mogi-Guaçu), SP).	Preocupante
	- Rio Turvo e rio dos Bois, GO; Afluentes do rio Grande: Rio Moji-Guaçu, SP.	Crítica
	- Rios Tietê e Piracicaba, SP e MG; Rio Iguazu, entre Curitiba e União da Vitória; Rio Corumbá, GO.	Muito Crítica
<i>Paraguai</i>	-----	-----

Com relação a demanda de recursos hídricos a vazão de retirada para usos consuntivos no país, no ano de referência de 2000, foi de 1.592 m³/s. Cerca de 53% deste total (841 m³/s) foram efetivamente consumidos e 751 m³/s retornaram à bacia. As vazões de retirada, retorno e consumo estão distribuídas nas 12 regiões hidrográficas, como apresentado na Tabela 8.1-4.

Tabela 8.1-4 - Vazão de retirada, consumo e retorno e percentuais.

Região hidrográfica	Retirada		Consumo		Retorno (m ³ /s)
	(m ³ /s)	(% do total)	(m ³ /s)	(% do total)	
<i>Amazônica</i>	47	3	27	3	20
<i>Tocantins/Araguaia</i>	55	3	33	4	22
Atl. NE Ocidental	15	1	6	1	9
<i>Parnaíba</i>	19	1	11	1	8
<i>Atl. NE Oriental</i>	170	11	100	12	70
<i>São Francisco</i>	166	10	105	13	61
At. Leste	68	4	33	4	35
Atl. Sudeste	168	11	61	7	107
Atl. Sul	240	15	155	18	85
Uruguai	146	9	109	13	37
<i>Paraná</i>	479	30	189	23	290
<i>Paragua</i>	19	1	12	1	7
Brasil	1.592	100	841	100	751

A região hidrográfica do Paraná foi responsável por 30% das retiradas no país, sendo quase duas vezes maior que a segunda colocada que é a região Atlântico Sul (15%), seguida das regiões hidrográficas Atlântico Nordeste Oriental e Atlântico Sudeste, São Francisco e Uruguai. As menores retiradas foram verificadas para as bacias do Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba, Paraguai, Amazônica e Araguaia/Tocantins. As regiões Paraná, Atlântico Sul, Uruguai, São Francisco e Atlântico Nordeste Oriental são as que apresentam os maiores consumos. As informações da tabela acima também podem ser visualizadas na Figura 8.1-11 que mostra as vazões de retirada, consumo e retorno em cada uma das doze regiões hidrográficas.

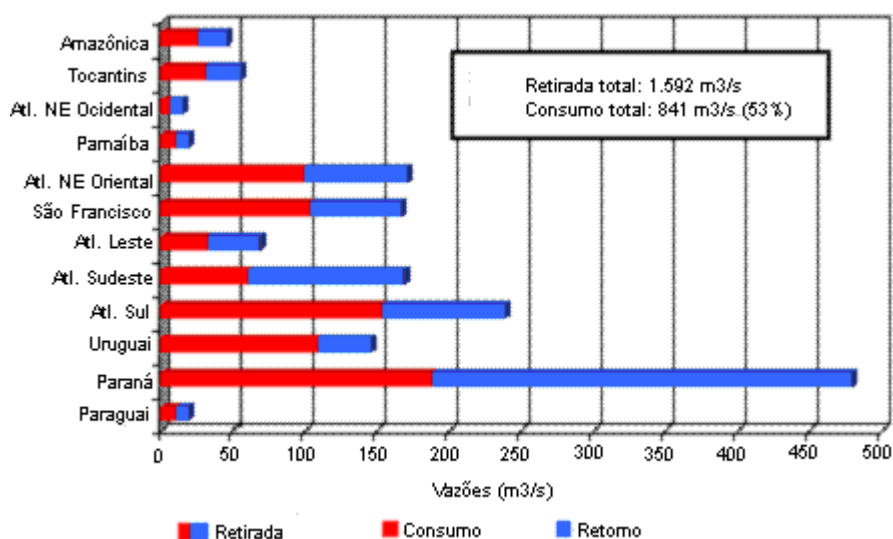


Figura 8.1-11 - Consumo de recursos hídricos no Brasil e por região hidrográfica com referências nas vazões de retirada, consumo e retorno.

A Figura 8.1-12 apresenta o perfil de retirada de água das regiões hidrográficas. Vale destacar que a irrigação é atividade responsável pelas maiores vazões de retirada, com exceção das regiões hidrográficas Amazônica, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste e Paraná, em que predomina o uso

urbano, e Paraguai, o uso animal. Na verdade, cerca de 46% das vazões de retirada no país são destinadas à irrigação (Figura 8.1-12). Vinte e seis por cento são destinados para abastecimento urbano, 18% para indústria, 7% para animal e apenas 3% para abastecimento rural.

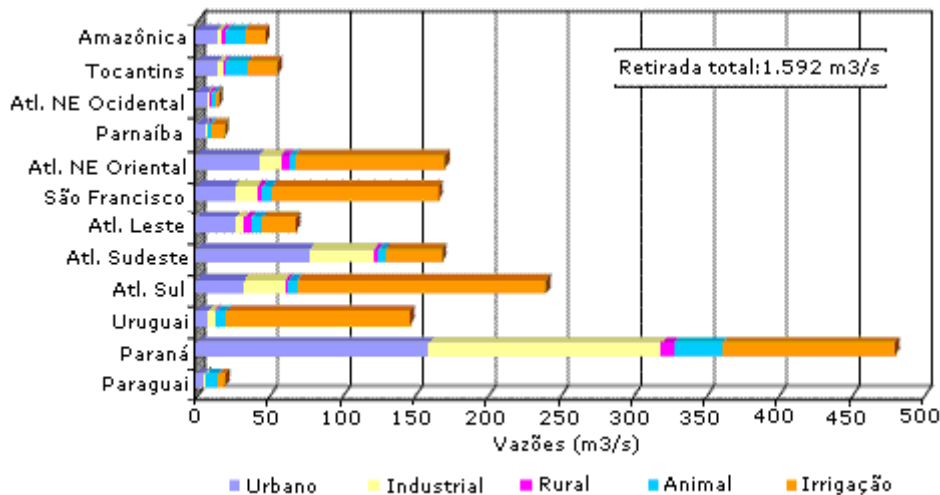


Figura 8.1-12 - Consumo de recursos hídricos por região e setor usuário com referências nas vazões de retirada para os diferentes usos nas regiões hidrográficas.

As distribuições espaciais de recursos hídricos de superfície e da população levam a que poucas regiões apareçam como "críticas". Numa análise preliminar da Agência Nacional de Águas (FREITAS, 2002), os principais conflitos de uso devem considerar: geração de energia elétrica; irrigação, na agricultura; hidrovias; abastecimento humano; lazer e os casos especiais de fronteiras. A cobrança pelo uso da água, que começa a ser implementada em algumas regiões do país, poderá favorecer a adoção de práticas de manejo adequadas nos diversos usos.

O uso de irrigação está sendo pesquisado no Brasil para a cana-de-açúcar, mas é muito pequeno hoje. Os usos pesquisados correspondem a tecnologias muito conservadoras, com uso mínimo de água. É possível que o aproveitamento pleno das condições climáticas naturais, aliado à implantação de sistemas de irrigação seja ela plena, suplementar ou de salvação, leve em alguns casos a custo/benefício interessante.

A irrigação na cana-de-açúcar é mais disseminada no Nordeste (ANSEMI, 2004), e apresenta um crescimento gradativo no Centro-Oeste e em áreas do Sudeste, principalmente no Rio de Janeiro, Espírito Santo e Oeste de São Paulo. Usa-se a "irrigação de salvação", após o plantio da cana, para garantir a brotação em diferentes lâminas nas épocas mais críticas do desenvolvimento, para atenuar os déficits hídricos e a irrigação ao longo de todo o ciclo.

Praticamente toda a cana produzida na região Centro Sul é cultivada sem irrigação (MATIOLE, 1998), com base em análises econômicas realizadas considerando irrigação plena e ganhos de produtividade.

Embora seja usual relacionar a produtividade da cana com disponibilidade de água (a relação de 8,0 a 12,0 mm de água evapotranspirada para cada tonelada de cana produzida é muito usada) esta relação varia com muitos fatores (DOORENBOS, 1979); mas manter uma umidade adequada durante todo o crescimento é

importante para obter elevados rendimentos. Dependendo do clima, as necessidades hídricas da cana-de-açúcar são de 1.500 a 2.500 mm uniformemente distribuídos durante o ciclo. *A crescente demanda pela incorporação de novas áreas de cana no Brasil tem levado à exploração de regiões com déficits hídricos mais acentuados. Neste casos a irrigação pode ser economicamente viável, principalmente com o uso de métodos mais eficientes.*

De um modo geral, pode-se dizer que alguns problemas ambientais decorrentes de irrigação e observados em muitas lavouras de cana e beterraba no mundo não existem no Brasil. Uma avaliação da Embrapa (ROSSETTO, 2004) classifica hoje os impactos das lavouras de cana na qualidade da água no nível 1 (nenhum impacto).

Na Figura 8.1-13 apresenta a localização das doze áreas selecionadas para a expansão da produção de etanol combustível nas bacias hidrográficas pertinentes, como apresentado na Tabela 8.1-5. A Figura 8.1-14 apresenta a disponibilidade de águas superficiais por bacias hidrográficas e as áreas de expansão de etanol.

Embora alguns rios encontrem-se em situação preocupantes ou até mesmo crítica, o Brasil apresenta uma situação bastante confortável em termo de disponibilidade de recursos hídricos para a expansão de novas áreas para a produção de etanol, principalmente referente a exploração das regiões localizadas no cerrado brasileiro, que se apresenta com um potencial enorme para exploração deste recursos.

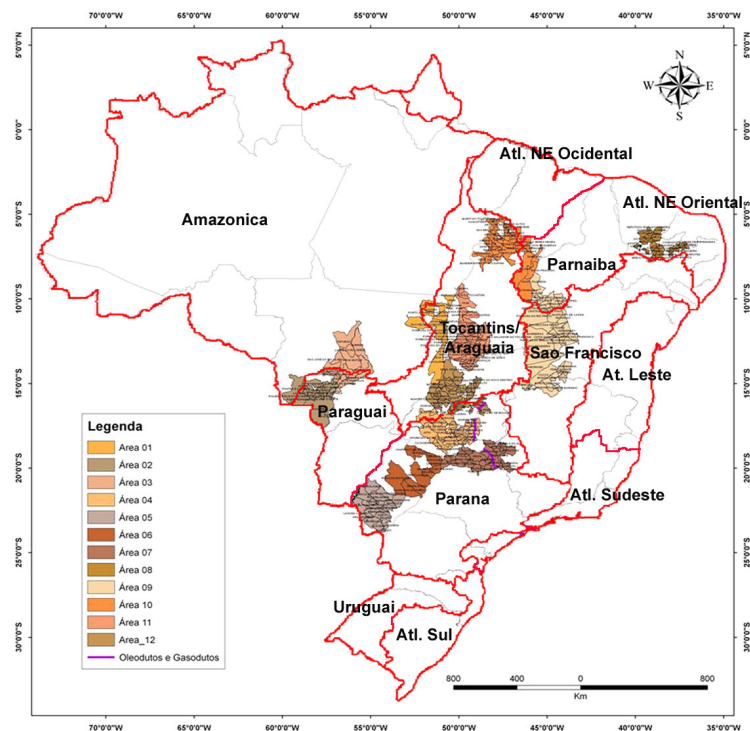


Figura 8.1-13 - Regiões hidrográficas com a localização das 12 áreas de expansão da produção de etanol combustível.

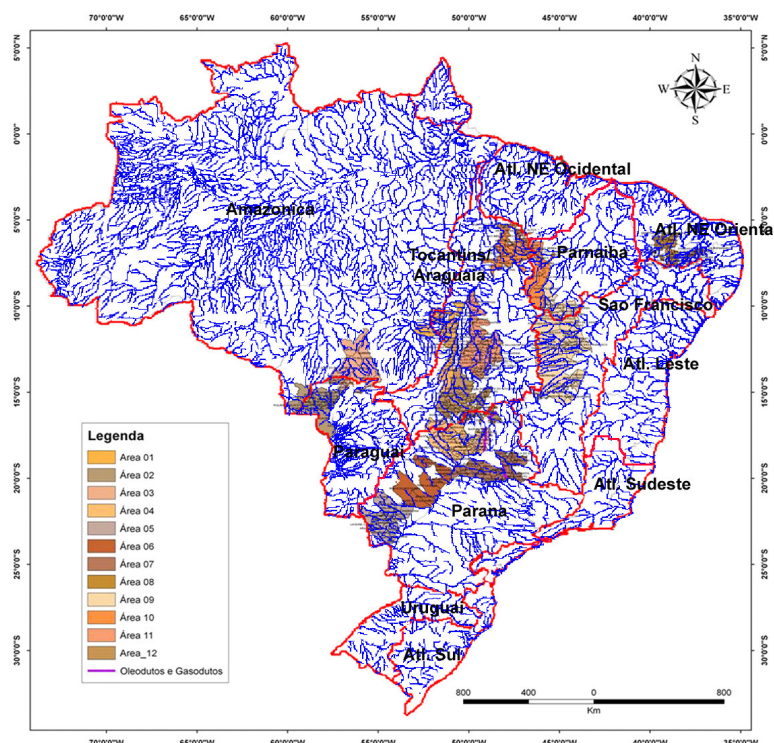


Figura 8.1-14 - Potencial hídrico do Brasil com localização das 12 áreas de expansão da produção de etanol combustível.

Tabela 8.1-5 - Estimativa das quantidades de rios presente nas áreas de expansão da produção de etanol combustível.

Área	Estados	Bacias Hidrográficas	Estimativa dos Rios	
			Quantidade	(m)
1	TO	Amazônica; Tocantins/Araguaia	52 Rios identificados Sem Toponomia*	2099271,36 1328544,73
2	MT	Amazônica; Paraguai	65 Rios identificados Sem Toponomia*	3342407,24 3616388,46
3	MT	Amazônica; Paraguai	125 Rios identificados Sem Toponomia*	5561599,97 4241319,45
4	GO	Tocantins/Araguaia; Paraná	94 Rios identificados Sem Toponomia*	5153081,16 6178676,34
5	MS	Paraná	115 Rios identificados Sem Toponomia*	4751520,48 3035379,04
6	MS	Paraná	99 Rios identificados Sem Toponomia*	3261259,64 2488412,58
7	MG	Paraná	81 Rios identificados Sem Toponomia*	3392010,75 5450036,85
8	CE; PB; RN	Atl. NE Oriental	Rios identificados Sem Toponomia*	nd nd
9	BA; MG; PI	São Francisco; Parnaíba	123 Rios identificados Sem Toponomia*	7499158,88 3897815,60
10	MA; TO;	Tocantins/Araguaia; Parnaíba; Atl. NE Ocidental	229 Rios identificados Sem Toponomia*	7114849,66 3629171,24
11	TO; GO;	Tocantins/Araguaia	161 Rios identificados Sem Toponomia*	6005077,05 4232956,37
12	GO	Tocantins/Araguaia	Rios identificados Sem Toponomia*	5968165,81 5005856,83

* Rios Sem Toponomia na Carta Impressa.

8.1.1 Captação e uso de água no processamento da cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar no Brasil tradicionalmente não utiliza irrigação. Isto é de grande importância na redução de impactos ambientais (não só pelo menor uso de água como também por evitar arraste de nutrientes, resíduos de agrotóxicos, perdas de solo, etc.). A água entra nas usinas com a cana (cerca de 70% do peso dos colmos) e com a captação para usos na indústria. A água captada é usada em vários processos, com níveis diferentes de reutilização; uma parcela é devolvida para os cursos de água, após os tratamentos necessários, e outra parte é destinada, juntamente com a vinhaça, à fertirrigação. A diferença entre a água captada e a água lançada é a água consumida internamente (processos e distribuição no campo).

Os níveis de captação e de lançamento têm diminuído sensivelmente ao longo dos últimos dez anos. Isto tem ocorrido com a indústria em geral, é decorrência de uma maior conscientização sobre a necessidade de economizar água e de indicações de futuras ações legais neste sentido. Na década de 1990 a participação do setor da cana-de-açúcar na captação de água no estado de São Paulo era de cerca de 13% da demanda do Estado, e cerca de 40% de todo o setor industrial, conforme o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – PERH-1994/95 (CERH e PPESP, 1994).

No setor industrial (incluída a agroindústria da cana) a demanda por água cresceu apenas 22% no ano de 2003, em parte pela racionalização do uso de água, estimulada pela implementação da nova legislação de cobrança pelo uso da água (ainda não regulamentada).

8.1.2 Captação da água para uso industrial na agroindústria da cana-de-açúcar

A Tabela 8.1.2-1 resume as faixas e médias específicas de utilização da água na industrialização da cana considerando a produção de 50% de açúcar e 50% de álcool). O uso final médio estimado de 21 m³/t cana corresponde a níveis de captação, consumo e lançamento muito menores, pela reutilização da água. Nota-se que cerca de 87% dos usos ocorrem em quatro processos: lavagem de cana, condensadores/multijatos na evaporação e vácuos, resfriamento de dornas e condensadores de álcool.

Tabela 8.1.2-1 - Usos de água (valores médios em usinas com destilaria anexa).

Setor	Processo	Uso médio (m ³ /t cana total)	Distribuição (%)
Alimentação	Lavagem de cana	5,33	25,4
Extração (moedas)	Embebição	0,25	1,2
	Resfriamento de mancais	0,15	0,7
Tratamento de caldo	Preparo de leite de cal	0,01	0,1
	Resfriamento na sulfitação ¹	0,05	0,2
	Embebição dos filtros	0,04	0,2
	Condensadores dos filtros	0,30	1,4
Concentração do caldo	Condensadores/multijatos evaporação ¹	2,00	9,5
	Condensadores/multijatos cozedores ¹	4,00	19,0
	Diluição de méis	0,03	0,1
	Resfriamento cristalizadores ¹	0,05	0,2
	Lavagem de açúcar ¹	0,01	0,0
Geração de energia	Produção de vapor	0,50	2,4
	Resfriamento turbogeradores	0,20	1,0
Fermentação	Resfriamento do caldo ²	1,00	4,8
	Resfriamento de dornas ²	3,00	14,3
Destilaria	Resfriamento condensadores	4,00	19,0
Outros	Limpeza pisos e equipamentos	0,05	0,2
	Uso potável	0,03	0,1
Total		21,00	100,0

¹: somente na produção de açúcar; ²: somente na produção de etanol.

Fonte: UNICA, 2005

Com a racionalização do consumo da água (reutilização e fechamentos de circuitos, e algumas mudanças de processo, como a redução de lavagem da cana ou até mesmo a lavagem a seco), a captação tem sido reduzida. Um levantamento preliminar realizado em 1995 (ELIA NETO, 1995) em usinas do Grupo Copersucar indicou captação média de 2,9 m³/t cana; uma revisão mais completa em 1997 voltou a indicar valores de captação de 5 m³/t cana. Este valor é equivalente ao estimado em 1990, a partir da demanda total em São Paulo, 5,6 m³/t cana.

Os resultados para captação, consumo e lançamento são mostrado na Tabela 8.1.2-2.

Tabela 8.1.2-2 – Captação, consumo e lançamento de água: 1990 e 1997.

Volume específico (m ³ /t cana)	1990 ¹	1997 ²
Captação	5,6	5,07
Consumo	1,8	0,92
Lançamento	3,8	4,15

¹: Plano Estadual de Recursos Hídricos – 1994/95 (1^o Plano do Estado de São Paulo, 1990 – Síntese);

²: Levantamento (revisão) efetuado em 1997 pelo CTC com a participação de 34 usinas da Copersucar.

Nos últimos anos tem havido atividade na racionalização de consumos, reutilização de água e redução de lançamento nas usinas que estão concentradas na região Centro-Sul; para verificar a extensão das modificações, foi realizado um

levantamento através de questionários e entrevistas com grandes números de usinas, com moagem total de 695 mil t cana por dia (cerca de 50% da produção do Centro-Sul) (UNICA, 2005). O resultado foi de 1,83 m³/t cana; excluindo as usinas de maior consumo específico, para usinas com 92% da moagem total a média fica em 1,23 m³ água/t cana. Estes números indicam um avanço extraordinário no manejo da água no período.

Deste 1995 o setor sucroalcooleiro tem trabalhado avaliando técnicas para o uso racional com o reaproveitamento dos despejos; a possibilidade de atingir em médio prazo valores de 1 m³/t cana para captação e zero de lançamento de efluente foi muito discutida. A carga orgânica seria tratada através de utilização dos despejos na fertirrigação da lavoura conjuntamente com a vinhaça; o consumo de água (diferença entre o captado e o lançado) ficaria próximo ao valor da captação, ou seja, 1 m³/t cana. Notamos que a própria cana traz consigo cerca de 70% de água, que não representa uso de recursos hídricos.

Estas diretrizes básicas implicam um gerenciamento de águas incluindo a redução da captação parcialmente e pode vir a se acelerar com a incorporação de novas tecnologias, entre as quais a limpeza de cana a seco (eliminando a lavagem da cana). Eventualmente tratamentos como biodigestão de vinhaça reduziriam a carga orgânica permitindo recirculação após tratamento terciário. Os valores da última avaliação indicaram que a evolução para estas metas tem ocorrido nos últimos anos; mesmo levando em conta particularidades das usinas, que certamente implicarão resultados diferentes, as médias poderão continuar a baixar nos próximos anos, visando reduzir os custos da disposição.

8.1.3 Legislação sobre o uso de recursos hídricos

Seguindo a tendência internacional, o Brasil também começou a desenvolver sua política e legislação ambiental de forma sistêmica a partir da década de 1970. O Estado de São Paulo foi um dos pioneiros nesse sentido, com a Lei Estadual 997/76 e de seu respectivo regulamento, aprovado pelo Decreto Estadual 8.468/76, os quais dispõem sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente e criam instrumentos de licenciamento ambiental de fontes de poluição e sanções aos poluidores, em caso de não cumprimento da Lei (LEME, 2005).

No âmbito Federal, a norma jurídica que trata a questão ambiental de forma específica e sistêmica é a *Lei 6.938/81, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente*. Com efeito, ela dá as diretrizes da gestão ambiental no Brasil, incluindo, de forma indireta, as emissões atmosféricas, o uso e consumo de água e os resíduos sólidos. Como afirmam Rei e Medaglia (1997), essa Lei adotou os mecanismos já vigentes na Lei Paulista e incorporou outros importantes instrumentos de política e regulação ambiental, sendo ambas consideradas os marcos divisores da legislação ambiental Federal e do Estado de São Paulo (LEME, 2005).

Em 1988, outro importante marco foi estabelecido pela Constituição Federal, em seu Artigo 225, que coloca o meio ambiente no topo mais alto da legislação brasileira ao dispor que:

Art. 225 – Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

No conjunto da legislação e política ambientais nacional, o tratamento das emissões de poluentes atmosféricos, uso e consumo de água e disposição de resíduos sólidos não está centralizado em uma única norma. Há algumas leis e resoluções que tratam de cada um desses assuntos, de forma direta e indireta, às vezes independentemente, outras, coordenadamente. Em linhas gerais, pode-se afirmar que os modelos de gestão da qualidade do ar e da poluição atmosférica, dos recursos hídricos, e da poluição dos solos estão calcados fundamentalmente nos conceitos de padrões de qualidade do meio, poluição e padrões de emissão (LEME, 2005).

Apesar de renováveis, os recursos hídricos são limitados, e nem sempre suficientes para atender a todos os usuários simultaneamente. Com o aumento da demanda, torna-se necessário regulamentar a distribuição das águas para evitar conflitos e, assegurar o direito do uso da água a todos os cidadãos, atuais e futuros. A excessiva utilização das águas e a degradação de sua qualidade, pelo excesso de lançamento de efluentes irá, em última análise, prejudicar a comunidade de usuários. O conhecimento da quantidade da água já comprometida pelo uso, adquirido através das outorgas, é essencial para que o Poder Público possa efetuar a gestão entre a disponibilidade e a demanda dos recursos hídricos (LEME, 2005).

Como se pode depreender da Lei Federal 9.433/97, o gerenciamento dos recursos hídricos, incluindo as águas superficiais e subterrâneas, visa à compatibilização de seus usos múltiplos com as necessidades dos diversos usuários, em associação com a manutenção de padrões de qualidade e de disponibilidade compatíveis com essas necessidades, tomando-se por unidade de gerenciamento a bacia hidrográfica.

Um importante instrumento de controle da disponibilidade de recursos hídricos é a outorga de uso de água. A outorga de direito de uso da água é instrumento através do qual o Poder Público autoriza o uso das águas de seu domínio, por tempo determinado e com condições preestabelecidas. Tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da águas superficiais e subterrâneas e o efetivo exercício do direito de acesso à água.

No caso das águas de domínio da União, a ANA – Agência Nacional de Águas é quem concede a outorga e para as águas de domínio dos Estados e do Distrito Federal compete aos órgãos gestores dos Sistemas Estaduais a emissão da outorga, com base nas diretrizes estabelecidas em legislações específicas de cada Estado, muitas vezes com participação dos conselhos estaduais e dos comitês de bacias.

A Constituição Federal de 1988 estabelece que as águas são de domínio da União ou dos Estados e do Distrito Federal e são classificados da seguinte forma:

- As águas da União: *são lagos, rios e quaisquer correntes em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado da federação, sirvam de limite com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais. Por exemplo: Rio Paraná (Brasil, Paraguai e Argentina); Rio São Francisco (Minas Gerais, Bahia, Pernambuco,*

Alagoas e Sergipe); Rio Paraíba do Sul (São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro); e Lagoa Mirim (Brasil e Uruguai), entre outros. As águas que se encontram em reservatórios construídos pela União, como por exemplo: reservatórios da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco – CODEVASF, do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS, do extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento – DNOS, da Companhia Hidrelétrica do São Francisco – CHESF, entre outros.

- As águas de domínio dos Estados e do Distrito Federal: são todas as águas de rios e de bacias que se encontrem dentro dos limites dos Estados, incluindo as águas de origem subterrânea. Por exemplo: Rio Tiête (São Paulo); Lagoa dos Patos (Rio Grande do Sul); Rio das Velhas (Minas gerais); Rio Jaguaribe (Ceará); Rio Paraguaçu (Bahia), etc.

Todos os usuários, ou seja, aqueles empreendimentos que necessitarem de fazer captação de água para qualquer finalidade de uso nas águas de rios, lagoas ou águas subterrâneas, deve solicitar uma Outorga ao Poder Público. Para obter outorga de direito de uso de águas de domínio da União confira os procedimentos junto a ANA – Agência Nacional de Águas e para obter outorgas de domínio do Estado ou Distrito Federal confira os procedimentos junto aos órgãos gestores que integram o Sistema Estadual de Recursos Hídricos. A Tabela 8.1.3-1 apresenta resumidamente o caminho para obtenção das informações sobre pedidos de outorgas de domínio da União e de domínio do Estado e de Distrito Federal.

Tabela 8.1.3-1 - Formulário para obtenção de informações sobre pedido, de outorgas e integração outorga-licenciamento ambiental.

Para águas de domínio da União compete a ANA – Agência Nacional de Águas analisar e conceder a outorga e licenciamento ambiental.

a) Órgão gestor de recursos hídricos: Agência Nacional de Águas – ANA é a própria ANA quem analisa e concede as outorgas. A área dentro do órgão que analisa as outorgas é a Superintendência de Outorga e Cobrança, subordinada à Diretoria da Área de Regulação que por sua vez é subordinada ao Diretor-Presidente. <http://www.ana.gov.br>

b) Legislação referente à outorga: Leis Federais 9.433/97 e 9.984/2000; Decreto Federal 3.692/2000; Resoluções CNRH nº 16/2001, 29/2002 e 37/2004; Resoluções ANA nº 44/2002, 135/2002 e 131/2003.

c) Integração outorga-licenciamento. Existe integração e há alguma legislação específica: A ANA participa da CTPOAR/CNRH, que está discutindo proposta de Resolução para o assunto e aguarda definição para sua integração.

d) Vazão máxima outorgável: 70% da Q_{95} podendo variar em função das peculiaridade de cada região, e 20% para cada usuário individual

e) Limites máximos de vazões consideradas insignificantes: 1,0 L/s.

Para águas de domínio dos Estados e Distrito Federal compete aos órgãos gestores dos Sistemas Estaduais a emissão da outorga e licenc. ambiental.

a) Órgão gestor de recursos hídricos: Superintendência de Recursos Hídricos – SRH que analisa e concede as outorgas. <http://www.srh.ba.gov.br>

b) Legislação referente à outorga: Leis Federais 9.433/97 e 9.984/00; Lei Estadual de Recursos Hídricos 6.855/95; Decreto de Regulamentação de Outorga 6.296/97.

c) Integração outorga-licenciamento. Existe integração e há alguma legislação específica: É exigida a Outorga antes do Licenciamento Ambiental. Lei 6855/95 e Decreto 7967/01.

d) Vazão máxima outorgável: 80% da Q_{90} e 20% para cada usuário individual.

e) Limites máximos de vazões consideradas insignificantes: 0,5 L/s.

a) Órgão gestor de recursos hídricos: Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) analisa os pedidos de outorgas e a Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH) emite as outorgas. www.srh.ce.gov.br e www.cogerh.com.br

b) Legislação referente à outorga: Lei Estadual nº 11.966/92 (política Estadual de Recursos Hídricos).

c) Integração outorga-licenciamento. Existe integração e há alguma legislação específica: Outorga e licença são tratadas de forma distinta e com legislação específica

d) Vazão máxima outorgável: 90% da Q_{90} ^{reg ef} **Limites máximos de vazões consideradas insignificantes:** 2,0 m³/h (0,56 L/s – para águas superficiais e subterrâneas).

- a) Órgão gestor de recursos hídricos:** SEMARH - Secretaria de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos quem analisa e concede as outorgas. www.semarh.goias.gov.br
- b) Legislação referente à outorga:** Lei Estadual nº 13.123/97 (Política Estadual de Recursos Hídricos); Lei Estadual nº 13.583/00 (Águas Subterrâneas); Lei Estadual nº 14.475/2003 (cria a Agência Goiana de Águas); Portaria SEMARH nº 130/99 (Regulamenta a obtenção da outorga); Resolução CRH nº 008/2003 (Institui grupo de trabalho para propor alterações na Port. SEMARH nº130/99).
- c) Integração outorga-licenciamento. Existe integração e há alguma legislação específica:** É um dos documentos exigidos no licenciamento. Não é previsto em legislação.
- d) Vazão máxima outorgável:** 70% da Q_{95}
- e) Limites máximos de vazões consideradas insignificantes:** Não estão ainda definidos.
-
- a) Órgão gestor de recursos hídricos:** Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. www.igam.mg.gov.br
- b) Legislação referente à outorga:** Lei Estadual nº 13.199/99 (Política Estadual de Recursos Hídricos); Decreto nº 41.578/2001 (Regulamentação da Política Estadual de Recursos Hídricos); Deliberações Normativas CERH nº 03/2001, 07/2002 e 09/2004; Portarias administrativas IGAM nº 10/98, nº 07/99, nº 01/2000 e 06/2000.
- c) Integração outorga-licenciamento. Existe integração e há alguma legislação específica:** Há sistema de balcão único. O processo é protocolado no local que for licenciar o empreendimento (FEAM ou IEF) e estes encaminham para o IGAM que analisa e retorna o resultado para esses órgãos terminarem o procedimento de análise de licenciamento. Procedimento determinado pela Resolução SEMAD 146/2003.
- d) Vazão máxima outorgável:** 30% da $Q_{7,10}$ para captações a fio d'água, e para captações em reservatórios, podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 70% da $Q_{7,10}$ durante o tempo.
- e) Limites máximos de vazões consideradas insignificantes:** 1,0 L/s para a maior parte do Estado e 0,5 L/s para as regiões de escassez (águas superficiais) 10,0 m³/dia (águas subterrâneas).
-
- a) Órgão gestor de recursos hídricos:** Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba – AAGISA analisa e SEMARH-PB concede as outorgas. <http://www.aagisa.pb.gov.br>
- b) Legislação referente à outorga:** Lei 7033/2001 - Cria a Agência de Águas, Irrigação e Saneamento do Estado da Paraíba – AAGISA; Lei 6308/1996 - Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providências; Decreto 19260/1997 - Regulamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos e dá outras providências
- c) Integração outorga-licenciamento. Existe integração e há alguma legislação específica:** Não. Há protocolo de intenção entre a AAGISA e SUDEMA para compor balcão único.
- d) Vazão máxima outorgável:** 90% da $Q_{90 \text{ reg}}$. Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3.
- e) Limites máximos de vazões consideradas insignificantes:** 2,0 m³/dia (0,56 L/s para águas superficiais e subterrâneas)
-
- a) Órgão gestor de recursos hídricos:** SEMAR - Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais quem analisa e concede as outorgas.
- b) Legislação referente à outorga:** Lei Estadual nº 5.165/2000 de 17/08/2000 (Política Estadual de Recursos Hídricos); Decreto nº 11.341/2004 de 22/03/2004 (Regulamentação da Outorga).
- c) Integração outorga-licenciamento. Existe integração e há alguma legislação específica:** A integração ocorre ainda de maneira informal tendo em vista que a SEMAR é o órgão gestor dos recursos hídricos e responsável pela política ambiental.
- d) Vazão máxima outorgável:** 80% da Q_{95} (rios) e 80 da $Q_{90 \text{ reg}}$. (açudes).
- e) Limites máximos de vazões consideradas insignificantes:** Não estão ainda definidos
-
- a) Órgão gestor de recursos hídricos:** SERHID - Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte quem analisa e concede as outorgas. <http://www.serhid.rn.gov.br>
- b) Legislação referente à outorga:** Lei Estadual 6.908 de 01/07/1996; Decreto Estadual 13.283 de 22/03/1997.
- c) Integração outorga-licenciamento. Existe integração e há alguma legislação específica:** A SERHID participa dos grupos de trabalho para a integração entre os Órgãos do Estado de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Está em elaboração documento de discussão para regulamentar as atividades de Outorga de Direito de uso de Água e de Licença de Obra Hidráulica, em coordenação com as atividades de Licenciamento de Meio Ambiente através do IDEMA.
- d) Vazão máxima outorgável:** 90% da $Q_{90 \text{ reg}}$.
- e) Limites máximos de vazões consideradas insignificantes:** 1,0 m³/h (0,3 L/s)
-
- a) Órgão gestor de recursos hídricos:** Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS. A análise dos pedidos cabe à Coordenadoria de Cadastro e Outorga de Uso da Água. Já a assinatura do ato da outorga através de Portaria cabe ao Presidente do órgão. www.to.gov.br/naturatins
- b) Legislação referente à outorga:** Lei Estadual nº1.307/2002 (Política Estadual de Recursos Hídricos); Portarias Naturatins nº006/2001, nº276/2002, nº118/2002 e nº188/2002; Decreto Estadual nº1.015/2000.
- c) Integração outorga-licenciamento. Existe integração e há alguma legislação específica:** Atualmente, o processo de licenciamento ambiental, incluindo a outorga, ocorre no NATURATINS, porém em departamentos distintos. Após protocolo da documentação exigida, o processo é encaminhado à Coordenadoria de Controle Ambiental - CLA, que constatando uso de recurso hídrico, encaminha à Coordenadoria de Cadastro e Outorga de Uso da Água - CCO para análise do pleito de outorga. Emitida a portaria de outorga, encaminha-se o processo à CLA. Portaria/Naturatins nº276/2002. No entanto o COEMA acaba de lançar uma Instrução Normativa cujo objetivo principal é integração dos instrumentos de outorga, licenciamento e averbação da reserva legal, já que aqui no Estado funciona como balcão único e os três documentos integrarão um único processo.
- d) Vazão máxima outorgável:** 75% da Q_{90} por bacia, e individualmente o máximo é 25% da mesma Q_{90} , para barragens de regularização, 75% da vazão de referência adotada.
- e) Limites máximos de vazões consideradas insignificantes:** 0,25L/s ou 21,60 m³/dia, a minuta de regulamentação aprovada deve alterar para 1,0 L/s ou 21,60 m³/dia.

INFORMAÇÕES DOS ESTADOS QUE NÃO EMITEM OUTORGA

AM O Amazonas não possui um órgão instituído especificamente para a gestão de recursos hídricos. No entanto, a lei

estadual de recursos hídricos determina que o Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas - IPAAM é o órgão estadual gestor e responsável pela outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos de domínio do Estado e daqueles recebidos por delegação. Esse órgão é vinculado à Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - SDS - e é responsável atualmente pelos licenciamentos ambientais. No Estado do Amazonas, a Política Estadual de Recursos Hídricos foi instituída pela Lei Estadual 2.712/01. Assim como na Lei federal 9.433/97, a outorga de direito de uso de recursos hídricos é um dos seus instrumentos.

MA A primeira lei estadual do Maranhão referente aos recursos hídricos foi a 7.052/97. Apesar de ter sido instituída após a Lei Federal 9.433/97, foi discutida nova lei em função das necessidades do Estado e foi promulgada a lei 8.149/04, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos. Dentre os instrumentos da Política Estadual de Recursos Hídricos previstos nessa lei, estão a outorga de direitos de uso dos recursos hídricos e o licenciamento das obras utilizadoras desses recursos. Quanto ao órgão gestor de recursos hídricos, essa lei determina ser a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais - SEMA e, portanto, responsável pela futura emissão das outorgas.

MT No Mato Grosso, a área responsável pela gestão de recursos hídricos é a Coordenadoria de Licenciamento e Outorga - COLRH que está subordinada à Diretoria de Recursos Hídricos - DIREH, da Fundação Estadual de Meio Ambiente - FEMA. Quanto à legislação de recursos hídricos, o Estado possui uma lei que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos - nº 6.945/1997 e uma lei disciplinando águas subterrâneas - nº 8.097/2004. A lei estadual de recursos hídricos segue os princípios da lei federal 9.433/1997 no tocante aos usos outorgáveis. No entanto, até o momento atual não são concedidas outorgas de direito de uso de recursos hídricos. A verificação quanto à utilização de águas para os empreendimentos é realizada no momento da análise quanto ao licenciamento ambiental, que é realizada na FEMA.

MS Nada consta

Por indisponibilidade de água, não estão sendo fornecidas, atualmente, outorgas de uso de água para irrigação no rio Verde Grande, afluente do rio São Francisco, bem como em seus afluentes. (Portaria Federal Nº 396 de 30/12/96).

Com relação a integração da outorga-licenciamento ambiental, já definimos anteriormente que a outorga de direito de uso de recursos hídricos é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Federal nº 9.433/97. Da mesma forma, o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras é um dos instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente, instituída pela Lei Federal nº 6.938/81.

Segundo a Resolução CONAMA nº 237/97, o licenciamento ambiental é o procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades que utilizam recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental (ANA e MMA, 2005).

A SMA de São Paulo, ouvido o Departamento de Avaliação de Impacto Ambiental - DAIA, concede Licença Prévia (LP) aos empreendimentos sujeitos à análise prévia de seus impactos ambientais, Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO) aos empreendimentos com potencial significativo de impacto ao meio ambiente. Na maioria das vezes, cada uma dessas licenças é expedida em momentos distintos, de acordo com a fase em que se encontra a implantação do empreendimento (FIESP/CIESP, 2004). Os empreendimentos que não puderem receber licença ambiental em âmbito municipal serão licenciados pelo Estado, por intermédio da SMA/DAIA.

Segundo a legislação federal, há dois Sistemas diferentes de análise e emissão de documentos, sendo um o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGREH - e o outro o Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA. Dessa forma, para a implantação de um empreendimento, cuja atividade seja efetivamente ou potencialmente poluidora e que faça intervenção em recursos hídricos, é necessária a solicitação de licenças ambientais e outorgas de uso da água. Apesar de serem Sistemas diferentes, é importante que haja integração e

articulação entre o órgão licenciador e a autoridade outorgante, com a finalidade de compartilhar informações e compatibilizar procedimentos de análise e de decisão em suas esferas de competência. Os procedimentos de integração e articulação entre esses órgãos podem ocorrer da seguinte forma, verificando as informações necessárias aos dois órgãos e as análises que são realizadas de forma semelhante entre os dois órgãos, de forma a evitar estudos em duplicidade pelo empreendedor e análises duplas pelos órgãos de recursos hídricos e licenciamento ambiental. (ANA e MMA, 2005).

8.2 Efluentes principais, carga orgânica e tratamento

Quanto aos efluentes e sua carga orgânica, o levantamento feito em 1995 em 34 usinas (ELIA NETO, 1995) indicou uma carga remanescente de 0,199 kg DBO₅/ t cana, que comparada com estimativas do potencial poluidor na mesma época representa uma eficiência de tratamento de 98,4%. Nota-se que a fertirrigação da lavoura da cana-de-açúcar é o grande canal de disposição desta matéria orgânica, com vantagens ambientais e econômicas.

Os efluentes e os seus sistemas de tratamento são:

- **Água de lavagem de cana:** 180 a 500 mg/l de DBO₅ e alta concentração de sólidos. Tratada com decantação (lagoas) e lagoas de estabilização, para o caso de lançamento em corpos d'água. Na reutilização, o tratamento consiste em decantação e correção do pH entre 9 e 10.
- **Água dos multijato e condensadores barométricos:** baixo potencial com tanques aspersores ou torres para resfriamento, com recirculação ou lançamento.
- **Águas de resfriamento de dornas e de condensadores de álcool:** alta temperatura (~50 °C). Tratamento com torres de resfriamentos ou tanques aspersores para retorno ou lançamento.
- **Vinhaça e águas residuárias:** grande volume e carga orgânica (10,85L/L de álcool, com cerca de 175 g DBO₅/L) (ELIA NETO, 1995). A vinhaça é aplicada na lavoura de cana conjuntamente com as águas residuárias (lavagem de pisos, purgas de circuitos fechados, sobra de condensados), promovendo a fertirrigação com aproveitamento dos nutrientes.

8.3 Proteção de nascentes e cursos d'água

A preservação e recuperação de matas ciliares, avaliadas às práticas de conservação e manejo adequado do solo, são essenciais para garantir um dos principais recursos naturais que é a água. As matas ciliares são sistemas vegetais essenciais para o equilíbrio ambiental. Suas funções incluem: controlar a erosão às margens dos cursos d'água, evitando o assoreamento dos mananciais; minimizar os efeitos das enchentes; manter a quantidade e a qualidade das águas; filtrar os possíveis resíduos de produtos químicos utilizados como defensivos agrícolas e fertilizantes e ajudar na preservação da biodiversidade e do patrimônio genético da flora e fauna.

Os principais aspectos legais relacionados às matas ciliares, sua conservação e restauração estão distribuídos em diversas normas, de nível estadual e federal (SP e SEMA, 2003). O assunto é tratado em várias instâncias da legislação ambiental, como o Código Florestal, a Lei de Crimes Ambientais, normas sobre licenciamento e projetos de recuperação e também na legislação tributária referente aos imóveis rurais. Além da legislação específica sobre o assunto, também é pertinente a legislação sobre Unidades de Conservação.

A principal norma brasileira sobre florestas (VENTURA E RAMBELL, 1999) é o Código Florestal (Lei nº 4.771/65, alterada pela Lei nº 7.803/89 e Medida Provisória nº 2.166/67), onde constam os seguintes itens aplicáveis às matas ciliares.

Artigo 2º – São consideradas de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

a) ao longo dos rios ou qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima seja:

- 1) de 30 m para os curso d'água de menos de 10 m de largura;
- 2) de 50 m para os curso d'água que tenham de 10 a 15 m de largura;
- 3) de 100 m para os curso d'água que tenham de 50 a 200 m de largura;
- 4) de 200 m para os curso d'água que tenham de 200 a 500 m de largura;
- 5) de 500 m para os curso d'água que tenham largura superior a 600m;

b) ao redor de lagoas, lagos ou reservatórios naturais ou artificiais;

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'águas", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50m.

Os princípios e limites são extensivos às áreas urbanas.

As matas ciliares constituem o principal exemplo de Áreas de Preservação Permanente (APP); definidas no Código Florestal (Lei .nº 4.771/65) e seu regulamento (em especial a Resolução CONAMA 303/02). Além disto, a Constituição Paulista, em seu artigo 197, define como área de proteção permanente as nascentes, os mananciais e matas ciliares. Conforme a legislação federal, as matas ciliares são protegidas do corte, mas sua recomposição, se não for caracterizada uma infração ambiental, não é obrigatória, exceto nos casos das nascentes (Lei nº 7.754, de 14/04/89). As faixas ciliares, se devidamente cobertas por florestas ou outra vegetação natural, são excluídas da área tributável do imóvel, conforme a legislação específica sobre o Imposto Territorial Rural- ITR (Lei nº 9.393/96). A rigor não existe uma determinação explícita na legislação federal para que as matas ciliares sejam recuperadas, caso tenham sido anteriormente degradadas. A caracterização dos usos admissíveis também não é clara na Lei, sendo frequentemente citados usos como utilidade pública e/ou interesse social para supressão de vegetação (artigos 2º e 3º do Código Florestal). No Estado de São Paulo, a Lei nº 9.989, de 22/05/98, exige a recuperação de matas ciliares pelos proprietários rurais; não foi regulamentada no prazo previsto.

É crime ambiental danificar a floresta ou cortar árvores nas APP; as punições e multas estão previstas na Lei de Crimes Ambientais (Lei 9.605/97); também há punições por "*impedir ou dificultar a regeneração natural de florestas e demais formas de vegetação*" (Código Florestal, Lei 4.771/65).

Na cultura da cana-de-açúcar, na maioria dos casos, foi adotado o abandono do cultivo em áreas consideradas de preservação permanente (APPs) para recuperação espontânea e natural. Isto tem ocorrido principalmente nos últimos 10 anos. A recuperação de matas ciliares degradadas através de reflorestamentos mantém-se ainda restrita a uma parcela da área total.

Para avaliar as dimensões e situação das áreas de preservação permanente

correspondentes a antigas matas ciliares, um levantamento de dados foi realizado e concluído em 2005, envolvendo grande número de usinas em São Paulo. As áreas compreendem terras próprias, arrendadas e em muitos casos terras de fornecedores de cana. Os resultados principais, expressos em percentagens da área de cultivo de cana, são mostrados abaixo. Para o primeiro item (área total de proteção permanente, correspondente a matas ciliares) a amostra é de 781 mil ha, para os demais, entre 650 e 780 mil ha (BARBOSA, 2005).

- APP total (margens, nascentes, lagoas) = 8,1 % da área de cana;
- APP com mata natural = 3,4;
- APP com reflorestamento = 0,8;
- APP abandonada = 2,9;
- APP com cana = 0,6.

Estas estimativas permitem avaliar em cerca de 200 mil ha a área total de APPs relativas a matas ciliares apenas na cultura da cana, em São Paulo. A parcela com mata natural é importante, e a área reflorestada cresceu nos últimos anos. A importância de implementar programas como da SMA, São Paulo, além da proteção necessária aos cursos d'água, decorre de poder promover uma reposição da biodiversidade vegetal na região, se os programas obedecerem a critérios adequados.

8.4 Conclusões

No país, a precipitação média anual é de 1.797 mm. As maiores precipitações anuais são observadas nas regiões Amazônica (2.239 mm), Tocantins/Araguaia (1.837 mm), Atlântico Nordeste Ocidental (1.790 mm) e Uruguai (1.785 mm); enquanto os menores valores ocorrem nas regiões hidrográficas do São Francisco (1.037 mm), Atlântico Leste (1.058 mm), Parnaíba (1.117 mm) e Atlântico Nordeste Oriental (1.218 mm).

A vazão média anual dos rios em território brasileiro é de 179 mil m³/s, valor que corresponde a aproximadamente 12% da disponibilidade mundial de água doce. A região hidrográfica Amazônica detém 73,6% dos recursos hídricos superficiais. Ou seja, a vazão média desta região é quase três vezes maior que a soma das vazões das demais regiões hidrográficas. Considerando a contribuição de vazões em território estrangeiro, a vazão média anual total atinge valor da ordem de 267 mil m³/s, que corresponde a 18% da disponibilidade mundial. A segunda maior região, em termos de disponibilidade hídrica, é a do Tocantins/Araguaia, com 13.624 m³/s (7,6%), seguida da região do Paraná, com 11.453 m³/s (6,4%). As bacias com menor vazão são, respectivamente: Parnaíba, com 763 m³/s (0,4%); Atlântico Nordeste Oriental, com 779 m³/s (0,4%) e Atlântico Leste, com 1.492 m³/s (0,8%). As vazões específicas médias variam de menos de 2 L/s.km², nas bacias da região semi-árida, até mais de 40 L/s.km², no noroeste da região Amazônica, sendo a média nacional igual a 21 L/s.km².

A relação entre as demandas e a disponibilidade de recursos hídricos aponta a situação preocupante para alguns rios no país, como é o caso da região Atlântico Nordeste Oriental é a mais crítica, onde quase todas as sub-bacias apresentam uma relação entre demanda e disponibilidade de mais de 40%. A região hidrográfica do São Francisco também tem diversas sub-bacias em situação muito crítica, como a maioria dos rios localizados na região semi-árida da bacia. Algumas bacias do

Atlântico Leste também apresentam dificuldades no atendimento às demandas, como as dos rios Vaza-Barris, Itapicuru e Paraguaçu. Adicionalmente, apresentam um quadro pelo menos preocupante, as bacias próximas aos centros urbanos nas regiões Atlântico Sudeste, Atlântico Sul e Paraná. Por fim, algumas bacias localizadas na região do Uruguai encontram-se em uma situação que exige intenso gerenciamento e intervenções, devido, principalmente, a conflitos de usos com a irrigação (rios Icamaguã, Ibicuí, Santa Maria e Quaraí, entre outros). O Brasil apresenta um potencial promissor em termos de disponibilidade de recursos hídricos e solo (Cerrado), principalmente destinado a expansão de áreas de cultivo de cana-de-açúcar para o aumento da produção de etanol combustível.

Até hoje a expansão da cana-de-açúcar em áreas ocupadas por cerrados foi relativamente pequena; ela tem ocorrido com substituição de outras coberturas que já haviam substituído o cerrado (em geral, pastagens), a ocupação do cerrado é muito recente. Seu crescimento deve ser planejado considerando a conservação da biodiversidade e dos recursos hídricos, principalmente em áreas sensíveis (nascentes dos rios que vertem para o Pantanal, e as regiões de recarga do Aquífero Guarani).

Foi observado que o Brasil não possui restrição para a expansão da produção de etanol combustível com instalações das futuras usinas de destilação, no que se refere a capacidade de água disponível, pois o Brasil possui uma situação bastante confortável de recursos hídricos em quase todas as suas bacias.

Embora o Brasil tenha a maior disponibilidade de água do mundo, com 12% das águas de superfície, e o equivalente ao deflúvio anual em aquíferos subterrâneos, o uso de irrigação agrícola é muito pequeno (~3,3Mha, contra 227 Mha no mundo).

A cana-de-açúcar no Brasil praticamente não é irrigada, a não ser em pequenas áreas (irrigação suplementar). Métodos eficientes (gotejamento sub-superficial e outros) estão em avaliação.

Os níveis de captação e lançamento de água para uso industrial têm reduzidos substancialmente nos últimos anos; de cerca de 5 m³/t cana captados em 1996, e em 1997) atingiu-se 1,83 m³/t cana em 2004 (amostragens em São Paulo). O nível de re-utilização é alto (o uso total era de 21 m³/t cana, 1997) e a eficiência do tratamento para lançamento estava acima de 98%. Parece ser possível atingir valores próximos de 1 m³/t cana (captação) e lançamento zero, com otimização da re-utilização e uso da água residual em fertirrigação. Em geral os problemas ambientais com a qualidade da água decorrentes de irrigação (arraste de nutrientes e defensivos, erosão) e uso industrial não são encontrados. A Embrapa classifica a cana, neste aspecto, no nível 1 (nenhum impacto na qualidade da água). Como pode ser verificado em função dos dados estimativos obtidos, basicamente toda a água extraída utilizada dentro do processo produtivo ou é recirculada ou incorporada ao produto. A Tabela 8.4-1 mostra um resumo sobre os principais usos da água referentes ao processo produtivo e sua destinação final.

Tabela 8.4-1 - Processo produtivo e usos da água.

ITEM	USOS DA ÁGUA EXTRAÍDA
CULTIVO	Não é utilizada, somente em casos críticos
PRODUÇÃO	
LAVAGEM DA CANA	Recirculação – reposição de perdas.
VINHOTO	Reuso na forma de auxiliar de adubação.
REFRIGERAÇÃO DAS DORNAS	Recirculação – reposição de perdas.
ÁGUA MÃE DO XAROPE	Reuso na forma de auxiliar de adubação
ÁGUA DA FILTRAÇÃO	Reuso na forma de auxiliar de adubação
PRODUÇÃO DE ÁLCOOL HIDRATADO E ANIDRO	Incorporação ao produto final.
CALDEIRA	Produção de vapor
ÁGUA DO CIRCUITO DE COLUNAS BAROMÉTRICAS	Recirculação – reposição de perdas.
CONDENSAÇÃO/RESFRIAMENTO DA DESTILAÇÃO, RETIFICAÇÃO E PRODUÇÃO DE ANIDRO	Recirculação – reposição de perdas.

Portanto, apesar do consumo elevado de água no processo produtivo do setor sucroalcooleiro, pode-se considerar que a disposição de efluentes para os mananciais é praticamente nulo. Porém, através de processos de lixiviação, uma significativa parcela de nutrientes existentes no vinhoto atingirá em algum momento os lençóis freáticos, resultantes da fertirrigação.

O setor sucroalcooleiro necessita de um maior suporte para redução da captação de água de mananciais, principalmente em função da Lei Estadual 7.663/91, que estabelece as normas de orientação da Política Estadual de Recursos Hídricos, onde em seu artigo 14, está prevista a cobrança pela utilização dos recursos de que se trata, criando, entre outras medidas correlatas a instituição do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos e os Comitês de Bacias Hidrográficas.

Este suporte está vinculado à adoção de práticas que visem incentivar a racionalização do uso da água, além de outras ações tais como: a recuperação e preservação da qualidade e da quantidade para garantir, prioritariamente, o abastecimento das populações, assim como atender os meios financeiros para a realização de programas, projetos, serviços e obras de recursos hídricos e saneamento básico, conforme preceituado na Constituição do Estado de São Paulo e na Lei 7.663/91.

A regulamentação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos foi objeto de estudos desenvolvidos pelo Consórcio CNEC-FIPE contratado pelo DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, que resultaram na elaboração de uma minuta de Projeto de Lei, amplamente discutida nos Comitês de Bacias Hidrográficas. Após esse processo de discussão, foi encaminhado à Assembléia Legislativa, o Projeto de Lei 20/98, que chegou a receber 102 emendas, além de 2 substitutivos, descaracterizando e inviabilizando completamente a sua aprovação e os objetivos iniciais propostos no projeto de lei.

O estabelecimento da cobrança pelo direito de uso dos recursos hídricos atingirá diretamente os setores industriais hidro intensivos, principalmente o sucroalcooleiro, o maior consumidor de água dentre todos os setores industriais, e para a usinas o procedimento para a aquisição da outorga e licenciamento ambiental para uso de recursos hídricos do Brasil, está mais detalhado no Anexo 2.

As APPs relativas às matas ciliares atingem 8,1 % da área da cana em São Paulo; destes, 3,4% têm mata natural e 0,8% foram reflorestados. A implementação de programas de recomposição das matas ciliares, além da proteção às nascentes e

curtos de águas, podem promover a reposição da biodiversidade no longo prazo.

No caso específico do vinhoto, o processo de recirculação como auxiliar na adubação é largamente utilizado, excetuando-se as pequenas destilarias que não possuem canaviais próprios.

Finalmente, os impactos no uso da água, considerando usina padrão com o perfil mostrado na Tabela 8.4-2, estão resumidos na Tabela 8.4-3.

Tabela 8.4-2 – Uso da água na Usina Padrão (12.000 t cana/dia, 2,10⁶ t cana/safra).

Limpeza da cana:	a seco
Captação de água:	1,8 tendendo a 1 m ³ /t cana
Consumo:	1,0 m ³ /t cana
Lançamento:	0,8 tendendo a zero m ³ /t cana

Tabela 8.4-3 – Impactos no uso da água nas várias áreas (clusters) selecionadas.

Áreas	Bacias Hidrográficas	Qtd Clusters	Qtd Usinas	Produção de etanol (M litros) ³	Captação Total (M m ³ /ano) ¹	Consumo Total (M m ³ /ano) ¹	Lançamento Total (M m ³ /ano) ¹	DBO5 (M kg/ano) ²	Disponibilidade hídrica ⁴ (km ³ /ano)
1	Amazônica Tocantins/Araguaia	2,0	31,4	5340,0	113,08	62,82	50,26	12,50	4161 430
2	Amazônica Paraguai	4,5	68,2	11593,7	245,51	136,40	109,12	27,14	* 75
3	Amazônica Paraguai	0,1	1,0	163,7	3,47	1,93	1,54	0,38	*
4	Tocantins/Araguaia Paraná	5,5	82,7	14053,4	297,60	165,33	132,27	32,90	* 361
5	Paraná	7,0	105,3	17904,7	379,16	210,64	168,51	41,92	*
6	Paraná	6,3	94,8	16123,8	341,44	189,69	151,75	37,75	*
7	Atl. NE Oriental	4,5	67,8	11528,6	244,14	135,63	108,50	26,99	25
8	Atl. NE Ocidental	1,3	19,9	3383,2	71,64	39,80	31,84	7,92	85
9	São Francisco Parnaíba	10,9	163,8	27851,5	589,80	327,66	262,13	65,21	90 24
10	Tocantins/Araguaia Parnaíba Atl. NE Ocidental	4,4	66,4	11292,6	239,14	132,85	106,28	26,44	*
11	Tocantins/Araguaia	3,2	47,6	8093,4	171,39	95,22	76,17	18,95	*
12	Tocantins/Araguaia	4,3	64,4	10943,4	231,74	128,75	103,00	25,62	*
Total		54,0	813,3	138272,0	2928,11	1626,73	1301,38	323,72	5251

¹: unidades em milhões de m³/ano; ²: unidades em milhões de kg/ano, carga orgânica remanescente de 0,199 kg DBO₅; ³: unidades em milhões de litros; ⁴: Contribuição média de cada bacia, em km³; *: áreas que pertence a mesma bacia hidrográfica; Para o cálculo adotou-se: Captação 1,8 m³/tc; Consumo 1,0 m³/tc; Lançamento 0,8 m³/tc e Produção média de etanol: 85 L/t cana.

Referências bibliográficas

- ROSSETTO, R. (2004). A cultura da cana da degradação à conservação. Visão Agrícola, ESALQ-USP.
- FREITAS, M. A. V. (2002) Hidroeletricidade no Brasil: Perspectivas de desenvolvimento e sustentabilidade, no seminário. Sustentabilidade na geração e uso de energia no Brasil: os próximos vinte anos. Unicamp-ABC.
- MATIOLI, C. S. (1998). Irrigação suplementar de cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo. Piracicaba, SP. Tese (Doutorado). Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water (Irrigation and Drainage Paper 33), Roma, FAO.
- CERH-Conselho Estadual de Recursos e PPESP-Plano Estadual de Recursos Hídricos (1994). Primeiro Plano do Estado de São Paulo – 1990 – Síntese, CRH, CRHI, GTP, São Paulo.
- ELIA NETO, A. (1996). Workshop sobre cobrança pelo uso da água – Convênio AIAA Comitê da bacia hidrográfica dos Rios Piracicabas, Capivari e Jundiá (CBH-PCJ), Piracicaba, 1996.
- ELIA NETO, A. (1995). Tratamento de efluentes na agroindústria sucroalcooleira, palestra no Simpósio FEBAM – Feira Brasil Alemanha, São Paulo, SP.
- BARBOSA, M L.; CTC-Centro de Tecnologia Canavieira (2005). Relatório interno da UNICA. Levantamento da captação de água pelas indústrias de processamento da cana.
- SEMA-Secretaria do Estado de São Paulo (2003). Projeto de recuperação de matas ciliares no Estado de São Paulo: proposta o GEF. Documento de avaliação ambiental, São Paulo, (site: www.ambiente.sp.gov.br, acessado em 01/02/2005).
- VENTURA, V. J.; RAMBELL, A. M. (1999). Legislação federal sobre o meio ambiente, Vana Editora, 3^o ed.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA/ MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA (2005). Disponibilidade e demandas de recursos hídricos do Brasil – Caderno de Recursos Hídricos.
- FIESP/CIESP (2004) Legislação Ambiental. Micro e Pequenas Empresas no Estado de São Paulo, São Paulo.
- LEME, M. R. (2005). Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e uso de água na produção de eletricidade com biomassa de cana-de-açúcar. (Dissertação de Mestrado), Planejamento de Sistemas Energéticos – Faculdade de Engenharia Mecânica – Unicamp, Campinas.
- MOTA, S. (1997). Introdução à engenharia ambiental. 1 ed. Abes, p. 280.

9 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

Apesar da Fase 1 do Projeto não ter permitido um aprofundamento maior no detalhamento dos estudos específicos, foi possível ter-se uma visão razoavelmente clara da possibilidade do Brasil vir a aumentar de forma significativa sua produção de etanol, para exportação. O curto prazo disponível para esta fase, requereu o uso de hipóteses simplificadoras para permitir a obtenção dos resultados preliminares.

Dentre estas hipóteses simplificadoras merecem destaques:

- Os índices técnicos de produção de hoje foram mantidos constantes ao longo dos 20 anos dos cenários do Projeto.
- A expansão do canavial e da produção de etanol estudada visava apenas atender a demanda de etanol combustível no mercado externo (exportação).
- A produtividade média da cana era a mesma em todas as áreas.
- Não houve deslocamento de culturas existentes, como pastagens, para implantação dos novos canaviais.
- O efeito de novas tecnologias de produção de etanol como a hidrólise de bagaço e palha não foi considerado.
- A mecanização da colheita foi considerada implantada em 100% das novas unidades instaladas.

Estas hipóteses serão revistas, para se tornarem mais realistas, na Fase 2 do Projeto.

A demanda de gasolina no mundo situa-se hoje em torno de 1,2 trilhões de litros por ano. O National Energy Information Center (NEIC) dos E.U.A. projeta um aumento de 48% neste consumo, entre 2005 e 2025, levando o total para cerca de 1,7 trilhões de litros em 2025. Considerando que o poder calorífico do etanol é menor que o da gasolina e que o uso do etanol melhora um pouco a eficiência dos motores a ciclo Otto, a quantidade de etanol necessária para substituir 10% desta gasolina (170 bilhões de litros) foi estimada, preliminarmente, em 205 bilhões de litros por ano que, nas produtividades de hoje, demandaria cerca de 35 milhões de hectares de cana-de-açúcar.

Na avaliação dos programas existentes ou planejados para estimular o uso de etanol combustível no mundo, foi verificado que a maioria dos países que consideram estes programas estão planejando, de alguma forma, produzir o etanol para suprir, total ou parcialmente, as suas respectivas demandas. Esta atitude tende a dificultar a transformação do etanol em uma commodity internacional, condição considerada imprescindível, pelos especialistas em comércio exterior, para a difusão do uso do etanol combustível a nível mundial. Os EUA, como responsável pelo consumo de quase a metade da gasolina no mundo, será um ator principal neste processo; hoje os EUA e o Brasil produzem juntos cerca de 70% do etanol no mundo. Assim, seria razoável o Brasil almejar a vir fornecer 50% do etanol combustível do mundo o que corresponderia a pouco mais de 100 bilhões de litros por ano.

Os índices técnicos da cadeia produtiva do etanol podem ser agrupados de uma forma simplificada como 70 t/ha de produtividade para a cana (área cultivada), que com um teor de sacarose médio de 14,5% resultaria em 85 litros de etanol anidro

por tonelada de cana processada (com a eficiência industrial média praticada hoje nas usinas da região Centro-Sul). De uma forma ainda mais condensada, estes números representam cerca de 6000 litros de álcool anidro por hectare cultivado com cana-de-açúcar. Nas avaliações de tecnologias em uso hoje e nas tecnologias emergentes, este índice pode ser consideravelmente melhorados no horizonte de 20 anos do Projeto. Estas melhorias serão incluídas nos cenários a serem estudados na Fase 2 do Projeto.

O uso no futuro das tecnologias emergentes, como a produção de etanol via hidrólise do bagaço e da palha, é considerado como uma condição de suma importância para o Brasil manter sua liderança na produção deste biocombustível.

A geração de excedentes de energia elétrica nas novas usinas tem o potencial de se tornar um item importante na matriz energética brasileira. Porém, estima-se que este potencial (130 TWh/ano) não será realizado se não houver políticas públicas para estimulá-lo.

Nos estudos sobre novas áreas de expansão, foram identificados cerca de 260 milhões de hectares de terras aptas para produção de cana, dos quais 120 milhões são de terras com produtividade alta (81 t/ha) e média (73 t/ha); nessas áreas não há necessidade de irrigação. Obviamente, uma parte já está ocupada com outras culturas mas ainda assim a disponibilidade de terras para expansão dos canaviais, dentro dos limites estimados no estudo, não será empecilho para se atingir os objetivos propostos. Nas produtividades de hoje, seriam necessários cerca de 35 milhões de hectares de novos canaviais para produzir 205 bilhões de litros de etanol por ano.

No estudo da Fase 1, foram selecionadas, baseadas nos mapas de ambientes de produção preparados pelo CTC, 12 áreas para expansão da produção de cana-de-açúcar, levando-se em conta que seria desejável utilizar-se áreas na região NE, além das do Centro-Sul. A área total destas 12 regiões é de 79 milhões de hectares, distribuídos em 11 estados, dos quais 38 milhões de hectares são de produtividade alta ou média; quando se deduziu as áreas ocupadas com outras culturas e áreas de preservação ambiental e reservas sobraram 28 milhões de hectares. Optou-se aí, estudar-se, nesta Fase 1, a produção de apenas 102,5 bilhões de litros de etanol por ano (5% do consumo de gasolina no mundo), sendo cerca de 40% no Nordeste e o restante no Centro -Sul.

No planejamento da expansão, foi considerada apenas a produção de etanol para exportação, não se levando em conta a produção total de açúcar e a de etanol para o mercado interno. As unidades produtoras foram consideradas como destilarias autônomas de capacidade de processamento de 12 000 tc/dia (2 milhões de toneladas de cana por safra), tamanho considerado ótimo do ponto de vista econômico. A área de canavial de cada usina é de 28 000 ha que acrescido da áreas de proteção ambiental (20% do total) chegou a 35 000 ha.

A infra-estrutura de transporte de combustíveis líquidos existente e planejada para o médio prazo foi avaliada e concluiu-se que ela não estava adequada para atender as projeções de exportação de etanol do Projeto. Todo complexo da Petrobrás de dutos, centros coletores e terminais, assim como as ferrovias e hidrovias entraram na avaliação. Vinte e nove (29) portos do país foram estudados para se selecionar os futuros terminais de exportação de etanol. Os investimentos para ampliação desta infra-estrutura de transporte de etanol foram estimados baseado na hipótese

de que este transporte seria essencialmente por dutos. Na Fase 2 deste projeto, este assunto será estudado em mais detalhes visando otimizar os investimentos e se estimar o custo de fabricação do etanol para cada área de expansão selecionada.

As novas usinas foram agrupadas em *clusters* de pelo menos 15 unidades para facilitar o escoamento da produção e reduzir os custos de infra-estrutura.

Considerou-se que o cenário 1 de demanda de 102,5 bilhões de litros/ano, seria atendido com a implantação de 615 destilarias padrão (12 000 tc/dia e 1.000.000 litros de etanol anidro/dia), produzindo 104,5 bilhões de litros de anidro por ano. Essas usinas, agrupadas em "clusters", foram distribuídas nas 12 áreas pré-selecionadas. O investimento total (em usinas, equipamentos agrícolas e infra-estrutura) foi estimado em R\$ 193 bilhões, ou seja, R\$ 9,7 bilhões por ano em média; estes valores são considerados razoáveis pois correspondem a 0,5% do PIB e 2,7% dos investimentos no país em 2004; é importante notar que a Petrobrás investe quase R\$ 20 bilhões por ano. Os custos de produção de etanol foram estimados em torno de US\$ 0,27 por litro FOB e se forem exportados a US\$ 0,30/litro gerarão uma receita de US\$ 31 bilhões/ano. Na Fase 2 deste Projeto, estas estimativas serão melhoradas com a dinamização dos cenários (variação dos índices tecnológicos, produção de açúcar, entrada de novas tecnologias, etc).

Os estudos de impactos socioeconômicos, utilizando o modelo insumo-produto de Leontief, permitiu avaliar os impactos econômicos nos demais setores da economia, nos níveis de emprego e renda. Devido à falta de dados disponíveis na literatura, foi necessário se montar a matriz insumo produto a partir dos dados existentes no IBGE para o ano de 1996; esta atividade exigiu o desenvolvimento de metodologia própria para a atualização da matriz e realização de testes de validação. Utilizando-se o ano de 2002 como base, as exportações de etanol nos níveis considerados acarretaram um crescimento de 11,4% no PIB do país e geraria cerca de 5,3 milhões de empregos na economia como um todo. Estes efeitos foram avaliados apenas a nível nacional mas na Fase 2 do Projeto será realizado o estudo de impactos interregionais que permitirão a avaliação dos efeitos nas regiões de implantação de unidades produtoras.

A título de informação, um *cluster* de 15 destilarias criaria cerca de 75 000 empregos, em média, e geraria um PIB mensal per capita de R\$ 2,643. Assim, a quantificação destes impactos socioeconômicos, que serão mais detalhados na fase 2 do Projeto, incluindo IDH e outros índices sociais, poderá fornecer importante subsídios para o Governo formular políticas públicas visando promover o desenvolvimento regional para redução das desigualdades, geração de empregos e renda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA/ MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA (2005). **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos do Brasil** – Caderno de Recursos Hídricos;

Australian Government – Department of Industry, Tourism and Resources, **Government Biofuels Initiatives**. Last updated 12/07/2005, www.industry.gov.au;

Australian Government – Department of Industry, Tourism and Resources, **Ethanol Production Grant**. Last updated 13/04/2005, www.industry.gov.au;

Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social, BNDES, (2005). Reunião técnica com as áreas de Planejamento, Infra-Estrutura, Área Industrial, Departamento de Agro-Indústria, Departamento de Gás, Petróleo, Cogeração e Outras Fontes de energia, Departamento de Meio Ambiente, junho, Rio de Janeiro;

----- (2004). *"Álcool: Potencial Gerador de Divisas e Empregos"* – Seminário. Agosto 25 e 26, Rio de Janeiro;

BARBOSA, M L.; CTC-Centro de Tecnologia Canavieira (2005). **Relatório interno da UNICA**. Levantamento da captação de água pelas indústrias de processamento da cana;

Balanco Energético Nacional – BEN (2004). Ministério de Minas e Energia - MME, **ano base 2003**;

Berg, Christoph (2003). Bioenergy Review 2003 – F.O. Lichts, **World Fuel Ethanol 2003 – Analysis & Outlook**;

Berg, Christoph (2004). Bioenergy Review 2004 – F.O. Lichts, **World Fuel Ethanol 2004 – Analysis & Outlook**;

BR Distribuidora S.A. (2005). Reunião técnica com a Gerência de Suprimento e Gerência de Aquisição de Álcool. Rio de Janeiro, junho;

Braumbeck, O. **Comunicação pessoal**, UNICAMP-Campinas, São Paulo, Brasil;

Câmara Brasileira de Transporte Ferroviário (CBTF) (2005);

Campbell, C. J. (2003). "The Essence of Oil & Gas Depletion". **Multi-Science**, Brentwood Essex, UK;

CARENSA, Newsletter No.6, November 2004. **Sugar Policy Reform: Boosting Incentives for Diversification into Bioenergy?** – Lindsay Jolly, International Sugar Organisation (ISO), U.K.;

Casler, S. D. (2004). Input-Output Analysis. In **"Encyclopedia of Energy"** (Cutler J. Cleveland, ed.), vol. 3, pp. 459–474. Elsevier, San Diego, CA;

Centro de Tecnologia Canavieira, CTC (2005). Reunião técnica com Especialistas e Pesquisadores em Tecnologia Agrícola, Piracicaba;

----- (2005). *Avaliação de Áreas com Potencial para Produção de cana-de-açúcar no Brasil* – Relatório Técnico de Transferência de Tecnologia, Revisão 1, 14p;

Centro de Tecnologia Canavieira - CTC (2005). **“Biomass Power Generation”**. Série Caminhos para a Sustentabilidade. Publicação PNUD-Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, CTC-Centro de Tecnologia Canavieira, 1st edition, Piracicaba, Brazil;

Centro de Tecnologia Copersucar - CTC (hoje Centro de Tecnologia Canavieira) 2000. **Relatório Anual 1997/1998**;

Clean Fuels Development Coalition (CFDC), (2005). **A Guide to the New Tax Law: Changes in Tax Incentives for Ethanol and Biodiesel**;

Coimex Trading Company (2005). Informações fornecidas mediante consulta pessoal;

Comisión Permanente del Congreso de la República, 15 de Julio 2003. **Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles**;

Confederação Nacional do Transporte (CNT) (2005);

Conselho Estadual de Recursos-CERH e Plano Estadual de Recursos Hídricos - PPESP (1994). Primeiro Plano do Estado de São Paulo – 1990 – Síntese, CRH, CRHI, GTP, São Paulo;

CRS Report for Congress, June 6, 2003. **Fuel Ethanol: Background and Public Policy Issues**.– Congressional Research Service, The Library of Congress;

CRS Issue Brief for Congress, **Clean Air Act Issues in the 109th Congress**. June 28, 2005 – by James E. McCarthy, Resources, Science, and Industry Division - Congressional Research Service, The Library of Congress;

CSTRU (2005). **Outlook of Raw Materials for Ethanol Industry in Thailand**;

Cunha, M. P. (2005). Inserção do setor sucroalcooleiro na matriz energética do Brasil: uma análise de insumo-produto. **Tese de mestrado**, Unicamp;

Datagro Consultoria (2005). **V Conferência Internacional da Datagro sobre Açúcar e Alcool**, São Paulo;

de Abreu, C.E. **Comunicação pessoal**, Dezembro de 2005. Aumento da eficiência bruta das Caldeiras com o uso de espargidores e ar secundário, Campinas, São Paulo, Brasil;

Delfini, P.T. **Comunicação pessoal**, CTC-Piracicaba, São Paulo, Brasil;

Diario Oficial No. 44.564, 27 de setembro de 2001. **Decreto del Congreso de Colombia – LEY 693 de 2001**, www.secretariassenado.gov.co;

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water (Irrigation and Drainage Paper 33)**, Roma, FAO;

ECOPETROL, **Millonarias Inversiones y Múltiples Beneficios Sociales**, artigo publicado por Diego Hernán Cárdenas S., www.ecopetrol.com.co;

Elia Neto, A. (1996). **Workshop sobre cobrança pelo uso da água** – Convênio AIAA Comitê da bacia hidrográfica dos Rios Piracicabas, Capivari e Jundiá (CBH-PCJ), Piracicaba, 1996;

----- (1995). Tratamento de efluentes na agroindústria sucroalcooleira, palestra no Simpósio FEBAM – **Feira Brasil Alemanha, São Paulo, SP**;

Energy Information Administration (EIA), U.S. Department of Energy (2003). Brazil. Country Analysis Briefs, julho, (<http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/brazil.html>).

ETHANOLINDIA Green Fuel – Ethanol Information India (2005). **Govt. of India Policy – Ethanol as a Project**, www.ethanolindia.net;

FAO – Food and Agriculture and Organization. Acesso através de <http://www.faostat.fao.org>;

Federación Nacional de Biocombustibles, **ABC de los Alcoholes Carburantes**. Ministério de Minas de Colombia, www.minminas.gov.co;

Freitas, M. A. V. (2002) Hidroeletricidade no Brasil: Perspectivas de desenvolvimento e sustentabilidade, no seminário. **Sustentabilidade na geração e uso de energia no Brasil: os próximos vinte anos. Unicamp-ABC**;

FIESP/CIESP (2004) Legislação Ambiental. **Micro e Pequenas Empresas no Estado de São Paulo, São Paulo**;

Guilhoto, J. J. M., e Sesso Filho, U. A. (2005). “Estimação da matriz insumo-produto a partir de dados preliminares das contas nacionais”, a sair em **Economia Aplicada**, vol. 9, nº 1, abril-junho;

Grupo Executivo de Integração da Política de Transportes (GEIPOT) (2001). Ministério dos Transportes;

Grupo SGS do Brasil – Inspeções; Testes; Certificações (2005). Reunião técnica. Alemoa, Santos;

Institute for Agriculture and Trade Policy, June 2005. **CAFTA’s Impact on U.S. Ethanol Market**. Ben Lilliston;

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Matriz de insumo-produto, 1996 (http://www2.ibge.gov.br/pub/Contas_Nacionais/Matriz_de_Insumo_Produto/1996/);

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Acesso através de <http://www.ibge.gov.br>;

International Ethanol Conference 2005 – Renewable Fuels Australia (RFA), **Ethanol – An Industry Policy Perspective**. Brisbane Queensland, 9-10 May 2005;

Kampen, W.H. (1993). "Ethanol dehydration at Usina da Pedra. **Sugar y Azúcar**. 10, 32-36;

Kiel Institute for World Economics – Germany, September 2003. **Tax Exemption For Biofuels in Germany: Is Bio-Ethanol Really an Option for Climate Policy?**;

Kurtz, R. (2004). Energias em Combustão. **Folha de S. Paulo**, 11 de julho;

Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento, LAPIG (2005). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas;

Legrand, F. (1992). Concentrated fuel alcohol production using a boiling point elevation loop. **Sugar e Azúcar**. 8, 29-44;

Leme, M. R. (2005). Estimativa das emissões de poluentes atmosféricos e uso de água na produção de eletricidade com biomassa de cana-de-açúcar. **Dissertação de Mestrado**. Planejamento de Sistemas Energéticos – Faculdade de Engenharia Mecânica – Unicamp, Campinas;

Ligero, E. L. ; Ravagnani, T. M. K. . (2003). Dehydration of Ethanol with Salt Extractive Distillation A Comparative Analysis Between Processes with Salt Recovery. **Chemical Engineering And Processing**, v. 42, n. 07, p. 543-552;

Lineiro, F.A.B. e Lamônica, H. **Comunicação Pessoal**, Junho de 2005. Centro de Tecnologia Canavieira-CTC, Piracicaba, São Paulo, Brasil;

Macedo, I., Janeiro de 2003. **Estado da Arte e Tendências das Tecnologias para Energia**. Projeto CGEE. Publicado na Internet no site: <http://www.cgEE.org.br>;

Macedo, I.C.; Leal, M.R.L.V. e Silva, J.E.A.R. (2004). "Balanço das emissões de gases do efeito estufa na produção e no uso do etanol no Brasil". **Relatório para a Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo**, São Paulo, Brasil, Janeiro de 2004;

Matioli, C. S. (1998). Irrigação suplementar de cana-de-açúcar: modelo de análise de decisão para o Estado de São Paulo. Piracicaba, SP, **Tese de Doutorado**. Escola superior de agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo;

Miller, R. E., e Blair, P. D. (1985). **"Input-output analysis: Foundations and Extensions"**. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ;

Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (2005). Brasília;

Ministério dos Transportes (2005). Brasília;

- Mississippi Renewable Energy Conference, March 25 2003. **Mississippi Ethanol Feasibility Study**. By Mississippi State University and Sparks Companies;
- MOTA, S. (1997). **Introdução à engenharia ambiental**, 1 ed. Abes, p. 280.
- National Identity Office by Energy Policy and Planning Office (2005). **THAILAND Energy and Natural Resources**;
- Ogier, J.C., Ballerini, D., Leigue, J.P., Rigal, L., Pourquoié, J. (1999). "Production d'éthanol à partir de biomasse lignocellulosique. **Oil and Gas Science and Technology**- Revue de l'IFP 54, 67-94;
- Olivério, J.L. and Proença, A.G.H. (2004). "DHR-Dedini Hidrólise Rápida (Dedini Rapid Hydrolysis) - Revolutionary process for producing alcohol from sugar cane bagasse". **International Sugar Journal** 106, 168-172;
- Oxfam Briefing Note, 28 April 2005. **An End to EU Sugar Dumping?**-Implications of the WTO panel ruling in the dispute against EU sugar policies brought by Brazil, Thailand, and Australia;
- Paszner, L.; Chang, P.C. **Processo de sacarificação de alta eficácia**. PI 8207243;
- Petrobrás – Petróleo Brasileiro S.A.** (2005). Reuniões técnicas com a área de Abastecimento-Marketing e Comercialização de Produtos Claros, Rio de Janeiro, São Paulo e Campinas;
- Pizaia, Waldemir (2005). "**Steam Economy in the Sugar Mills. Biomass power generation: sugar cane and trash**". Série Caminhos para a Sustentabilidade. Publicação PNUD-Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, CTC-Centro de Tecnologia Canavieira, 1st edition, Piracicaba, Brazil;
- Política nacional de Desenvolvimento Regional** (2005). Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional – Secretaria de Programas Regionais, **Ministério da Integração Nacional**. Brasília, agosto;
- Presidencia de la República, 30 de Marzo de 2005. **Aprobación del Reglamento de la Promoción del Mercado de Biocombustibles – Decreto Supremo N° 013-2005-EM**;
- Produção Agrícola Municipal – Culturas Temporárias e Permanentes** (2003). Volume 30 – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2004. Rio de Janeiro;
- Reinert, K. A., e Roland-Holst, D. W. (1997). Social Accounting Matrices. *In* "**Applied Methods for Trade Policy Analysis: A Handbook**" (J. F. Francois e K. A. Reinert (eds.), pp. 94–121). Cambridge University Press, Cambridge, UK;
- Renewable Fuels Association (RFA), July 2005. **U.S. Fuel Ethanol Production Capacity**, www.ethanolrfa.org;
- Renewable Fuels Association (RFA), April 19 2005 - United States International Trade Commission. **An Examination of U.S. and Foreign Markets**;

- Rossell, C. E. V.; Lahr Filho, D. ; Hilst, A. G. P. ; Leal, M. R. L. V. (2005). Saccharification of sugarcane bagasse for ethanol production using the organosolv process. **International Sugar Journal**, v.107, n.1275, p. 192-195;
- Rossetto, R. (2004). **A cultura da cana da degradação à conservação**. Visão Agrícola, ESALQ-USP;
- Scandiffio, Mirna I.G. (2005). **Análise Prospectiva do Álcool Combustível no Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP. Fevereiro;
- Scaramucci, J. A., Perin, C., Pulino, P., Bordoni, O. F. J. G., Cunha, M. P. e Cortez, L. A. B. (2006). "Energy from sugarcane bagasse under electricity rationing in Brazil: A computable general equilibrium model". Aceito para publicação em 2006 (?), **Energy Policy**;
- Secretaria do Estado de São Paulo - SEMA (2003). **Projeto de recuperação de matas ciliares no Estado de São Paulo: proposta do GEF**. Documento de avaliação ambiental, São Paulo, (site: www.ambiente.sp.gov.br, acessado em 01/02/2005);
- Stolthaven Santos Ltda.** (2005). Reunião técnica. Santos;
- Transpetro – Petrobras Transporte S.A.** (2005). Reuniões técnicas com a Gerencia Comercial de Dutos e Terminais, Rio de Janeiro;
- União da Agroindústria Canavieira de São Paulo (UNICA)** (2005). "**Energia da Cana-de-Açúcar**". São Paulo;
- (2005). (<http://www.unica.com.br/>);
- U.S. Department of Energy, March 28 2005. **The Alternative Fuel Price Report**, Alternative Fuel Prices Across the Nation;
- U.S. Department of Energy, July 2005. Energy Efficiency and Renewable Energy – Alternative Fuels Data Center, **State and Federal Incentives and Laws**, www.eere.energy.gov;
- Ventura, V. J.; Rambell, A. M. (1999). **Legislação federal sobre o meio ambiente**, Vana Editora, 3^o ed;
- World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 8 February 2005. **Economics Of Bioethanol Production in the Asia-Pacific: Australia – Thailand – China**, by Oliver Henniges and Jürgen Zeddies;
- World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 11 January 2005. **World of Biofuels 2004**;
- World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 8 February 2005. **Economics Of Bioethanol Production in the Asia-Pacific: Australia – Thailand – China**, by Oliver Henniges and Jürgen Zeddies;

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 11 January 2005. **World of Biofuels 2004;**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 3 December 2004. **2004 World Ethanol Production Set To Create New Record;**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 3 December 2004. **2004 World Ethanol Production Set To Create New Record;**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 11 January 2005. **World of Biofuels 2004;**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 11 January 2005. **World of Biofuels 2004;**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 3 December 2004. **2004 World Ethanol Production Set To Create New Record;**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 3 December 2004. **2004 World Ethanol Production Set To Create New Record;**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 3 December 2004. **2004 World Ethanol Production Set To Create New Record;**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 16 December 2004. **EU – 25 Ethanol Deficit Rising;**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 8 February 2005. **Economics Of Bioethanol Production in the Asia-Pacific: Australia – Thailand – China**, by Oliver Henniges and Jürgen Zeddies;

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 3 December 2004. **2004 World Ethanol Production Set To Create New Record;**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 11 January 2005. **World of Biofuels 2004;**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 3 December 2004. **2004 World Ethanol Production Set To Create New Record;**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 11 January 2005. **World of Biofuels 2004;**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 16 December 2004. **EU – 25 Ethanol Deficit Rising.**

World Ethanol & Biofuels Report – F.O.LICHTS, 26 October 2004, **European Member States Still Far From Achieving Biofuels Target;**