

MANUAL DE CONSERVAÇÃO E REÚSO DE ÁGUA NA AGROINDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA

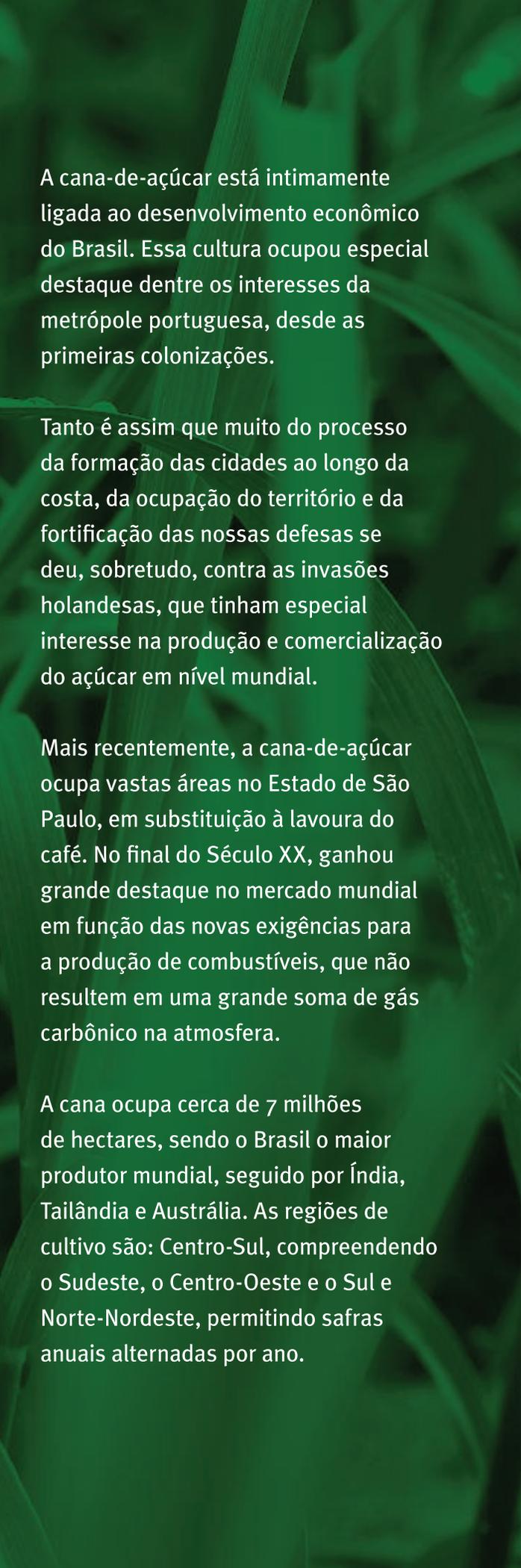


FIESP

unica
UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR
ETANOL • AÇÚCAR • ENERGIA SÃO PAULO • BRASIL

CTC
Centro de Tecnologia
Canavieira

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS



A cana-de-açúcar está intimamente ligada ao desenvolvimento econômico do Brasil. Essa cultura ocupou especial destaque dentre os interesses da metrópole portuguesa, desde as primeiras colonizações.

Tanto é assim que muito do processo da formação das cidades ao longo da costa, da ocupação do território e da fortificação das nossas defesas se deu, sobretudo, contra as invasões holandesas, que tinham especial interesse na produção e comercialização do açúcar em nível mundial.

Mais recentemente, a cana-de-açúcar ocupa vastas áreas no Estado de São Paulo, em substituição à lavoura do café. No final do Século XX, ganhou grande destaque no mercado mundial em função das novas exigências para a produção de combustíveis, que não resultem em uma grande soma de gás carbônico na atmosfera.

A cana ocupa cerca de 7 milhões de hectares, sendo o Brasil o maior produtor mundial, seguido por Índia, Tailândia e Austrália. As regiões de cultivo são: Centro-Sul, compreendendo o Sudeste, o Centro-Oeste e o Sul e Norte-Nordeste, permitindo safras anuais alternadas por ano.

**MANUAL DE CONSERVAÇÃO
E REÚSO DE ÁGUA
NA AGROINDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA**

República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva - *Presidente da República*

Ministério do Meio Ambiente

Carlos Minc - *Ministro do Meio Ambiente*

Agência Nacional de Águas

Diretoria Colegiada

José Machado - *Diretor-Presidente*

Benedito Braga

Bruno Pagnoccheschi (até maio de 2009)

Dalvino Troccoli Franca

Paulo Lopes Varella Neto

Coordenação de Articulação e Comunicação

Antônio Félix Domingues

Superintendência de Usos Múltiplos

Joaquim Guedes Correa Gondim Filho

Fiesp - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

Paulo Skaf - *Presidente*

João Guilherme Sabino Ometto - *Vice Presidente*

Nelson Pereira dos Reis - *Diretor Titular do Departamento de Meio Ambiente - DMA*

Benedito da Silva Ferreira - *Diretor Titular do Departamento do Agronegócio - DEAGRO*

Unica - União da Indústria da Cana-de-Açúcar

Marcos Sawaya Jank - *Presidente*

Antonio de Pádua Rodrigues - *Diretor Técnico*

Adhemar Altieri - *Diretor de Comunicação Corporativa*

Eduardo Leão de Souza - *Diretor Executivo*

CTC - Centro de Tecnologia Canavieira

Roberto Rezende Barbosa - *Presidente*

Vítor Wanderley Júnior - *Vice Presidente*

Nilson Zaramella Boeta - *Diretor Superintendente*

Osmar Figueiredo Filho - *Diretor*

Tadeu Luiz Colucci de Andrade - *Diretor*

Thomas Bernd Ritter - *Diretor*

ANA (Agência Nacional de Águas)
Setor Policial – Área 5, Quadra 3, Bloco L
CEP 70610-200 – Brasília-DF
PABX: (61) 2109-5400
Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

Unica (União da Indústria da Cana-de-Açúcar)
Avenida Brigadeiro Faria Lima, 2.179 – 9º andar
CEP 01452-000 - Jardim Paulista – SP
PABX: (11) 3093-4949
Endereço eletrônico: <http://www.unica.com.br>

Fiesp (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo)
Avenida Paulista 1.313 – 5º andar
CEP 01311-923 – São Paulo – SP
PABX: (11) 3549-4499
Endereço eletrônico: <http://www.fiesp.org.br>

CTC (Centro de Tecnologia Canavieira)
Fazenda Santo Antônio, sem nº - Bairro Santo Antônio
Caixa Postal 162 – CEP 13400-970 – Piracicaba – SP
PABX: (19) 3429-8199
Endereço eletrônico: <http://www.ctcanavieira.com.br>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

**MANUAL DE CONSERVAÇÃO
E REÚSO DE ÁGUA
NA AGROINDÚSTRIA SUCROENERGÉTICA**

BRASÍLIA
2009

© Agência Nacional de Águas (ANA), 2009.
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M e T.
CEP 70610-200, Brasília, DF
PABX: 61 2109 5400
www.ana.gov.br

Agência Nacional de Águas (ANA)
Coordenação de Articulação e Comunicação
Antônio Félix Domingues
Superintendência de Usos Múltiplos
Joaquim Guedes Corrêa Gondim Filho

Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
(Fiesp)
Anícia Aparecida Baptistello Pio

União da Indústria da Cana-de-Açúcar (UNICA)
Francesco Giannetti

Centro de Tecnologia Canavieira (CTC)
Coordenador: André Elia Neto
Autores:
André Elia Neto
Alberto Shintaku
Anícia Aparecida Baptistello Pio
Armene José Conde
Francesco Giannetti
Jorge Luis Donzelli

Revisão dos originais:
Claudio Ritti Itaborahy
Luis Augusto Preto
Cristianny Villela Teixeira Gisler

Produção
Projeto Gráfico/Diagramação:
Nexis Comunicação
Projeto Gráfico Capa:
Assessoria de Marketing e Eventos -
Fiesp
Fotografias da Capa e Entradas de
Capítulos:
Cortesia UNICA / Fotos: Tadeu
Fessel.

Todos os direitos reservados.

É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

Catálogo na fonte: CEDOC / BIBLIOTECA

M266

Manual de conservação e reúso de água na agroindústria sucroenergética / Agência Nacional de Águas; Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; União da Indústria da Cana-de-Açúcar; Centro de Tecnologia Canavieira. -- Brasília : ANA, 2009.

288 p. : Il.

ISBN 978-85-89629-61-4

1. Manual 2. reúso, água 3. agroindústria 4. sucroenergética

I. Agência Nacional de Águas (Brasil) II. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo III. União da Indústria da Cana-de-Açúcar IV. Centro de Tecnologia Canavieira V. Título

CDU 628.1.034.3:633.61(035)

Energia para o século XXI

O Brasil conseguiu reunir, nesta primeira década do século XXI, condições inigualáveis para garantir e qualificar o seu desenvolvimento. Depois de duas décadas de estagnação, o país encontra seu caminho: retomamos o crescimento fazendo convergir três dimensões que antes andavam separadas: crescemos com democracia, com distribuição de renda e buscando incorporar a sustentabilidade ao novo ciclo de desenvolvimento. Tudo isto graças ao trabalho, ao talento e ao espírito empreendedor do nosso povo.

Essas três dimensões são inseparáveis para o desenvolvimento de um país moderno, no século XXI. O Brasil desenvolveu, como nenhum outro país do mundo, as tecnologias para a utilização das fontes renováveis de bioenergia, em escala capaz de atender a um mercado de massas. Deste modo, vivemos uma situação singular no mundo: o Brasil se tornou detentor de colossais jazidas de energia fóssil – com a descoberta de petróleo no pré-sal – recentemente reveladas ao mundo e, ao mesmo tempo, um competitivo produtor de energia renovável, por meio do cultivo da cana-de-açúcar com altos padrões de produtividade e das plantas industriais de processamento do etanol.

O setor sucroalcooleiro, como é do conhecimento de todos, é hidroatensivo. A utilização da **água** pelo setor, no estado de São Paulo, corresponde a 12% de todos os usos. Decorre daí uma enorme responsabilidade que deve ser assumida pelo setor, por intermédio da difusão de tecnologias modernas para equacionar produtivamente os desafios.

Este **MANUAL DE CONSERVAÇÃO E REÚSO DA ÁGUA PARA O SETOR INDUSTRIAL**, assinado pela Agência Nacional de Águas (ANA), Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp), a União da Indústria da Cana-de-Açúcar (Unica) e Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), busca oferecer aos empreendedores um conjunto objetivo de informações sobre a utilização racional e produtiva dos recursos hídricos nos processos industriais de produção do setor. O objetivo desta publicação é contribuir para consolidar uma cultura de uso racional e reúso da **água**, um recurso finito, a cada dia mais escasso e, portanto, mais exigente para sua utilização por uma indústria moderna e sustentável.

Brasília, outubro de 2009

José Machado

Diretor-presidente da Agência Nacional de Águas

A harmonia viável da cadeia sucroenergética e a natureza

O conceito mais contemporâneo de “cadeia de suprimentos” não se limita mais à garantia de oferta de matéria-prima, processos fabris de qualidade, distribuição e logística eficazes, preços competitivos e atendimento adequado do destinatário final dos produtos, seja ele pessoa física ou jurídica. Torna-se imprescindível equacionar o fluxo produtivo e estabelecer sinergia entre todos os *players* no foco da proteção ao meio ambiente e uso racional dos recursos naturais. Somente assim uma atividade e todos os seus segmentos compradores e fornecedores constituirão um sistema sustentável.

A consciência sobre essa questão é indispensável na cadeia produtiva dos biocombustíveis, na qual se configura um dos mais importantes diferenciais competitivos do Brasil neste século. Nosso País, conforme reconhecem os mais acreditados organismos multilaterais e agências especializadas das Nações Unidas é o que tem as melhores condições para produzir energia mais limpa e renovável, a partir de sua agricultura privilegiada.

O melhor exemplo é o etanol, que já movimentava praticamente a totalidade dos veículos novos em circulação em nossas ruas e estradas. Para processar cerca de 22 bilhões de litros/ano, posicionando-se como segundo produtor mundial, atrás apenas dos Estados Unidos e seu caro e pouco competitivo álcool combustível de milho, o Brasil utiliza um pouco mais de 1% de suas terras agricultáveis. Enfim, tudo favorece a consolidação do País como o grande fornecedor mundial de biocombustíveis.

Porém, de nada adiantaria produzir energia mais limpa e renovável, gerar renda no campo, na agroindústria, nas exportações, na bomba dos postos de abastecimento e no bolso do consumidor, além do ganho de saúde para toda a sociedade, se essa cadeia de abastecimento criasse um déficit colateral no meio ambiente. O risco refere-se à água, cuja oferta vai-se configurando como um dos mais graves desafios da humanidade.

Assim, a produção de biocombustíveis, tradicionalmente uma forte consumidora de água, precisa encontrar meios, tecnologias e atitudes conscientes para poupar o mais precioso de todos os líquidos. Felizmente, verificam-se avanços em todos esses quesitos. Com o propósito de contribuir para que a atividade avance ainda mais na prática vertical da sustentabilidade, editamos este Manual de Conservação e Reúso de Água na Agroindústria Sucroenergética. Sua leitura, com certeza, mostrará o quanto é viável a plena harmonia entre a produção e o respeito à natureza e aos recursos que ela proporciona ao ser humano!

Paulo Skaf

Presidente da Federação e do Centro das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp/Ciesp)

Prefácio

O Centro de Tecnologia Canavieira - CTC, instalado na cidade de Piracicaba, em São Paulo, é referência mundial em pesquisa e desenvolvimento tecnológicos voltados para a produção agrícola da cana-de-açúcar e sua transformação em produtos, entre os quais se destacam o etanol, o açúcar e a bioeletricidade. Na condução de seus trabalhos, o CTC é um dos responsáveis pela conciliação, nessas agroindústrias, da produção com a proteção ao meio ambiente.

O trabalho do CTC converge plenamente com os objetivos da União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA), que atua na divulgação das externalidades positivas do setor sucroenergético. Destacam-se os ganhos decorrentes da produção e uso de energias limpas, como o etanol da cana e a energia elétrica gerada a partir de biomassa, além da estruturação de políticas ambientais que induzam a constantes melhorias. Em relação ao uso e conservação da água, o Protocolo Agroambiental do setor sucroenergético paulista, assinado em 2007, prevê a adoção de programa de controle da qualidade da água e reuso da água utilizada no processo industrial.

Nessa linha, é extremamente oportuno o Termo de Cooperação Técnica assinado entre a Agência Nacional de Águas (ANA), a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP), a UNICA e o CTC, para unir esforços pelo desenvolvimento de ações de gestão de uso, controle, racionalização, conservação e proteção dos recursos hídricos no âmbito da cadeia produtiva paulista do açúcar e etanol. Dessa cooperação foi concebido o presente manual, que será sem dúvida um dos mais relevantes instrumentos para a capacitação de recursos humanos na gestão de recursos hídricos do setor sucroenergético.

Ao CTC coube a organização e a execução do presente manual aproveitando o acúmulo de conhecimento da matéria, uma vez que seus técnicos trabalham na área há mais de 25 anos. Criou-se assim uma rara oportunidade de se externalizar os conhecimentos acumulados na instituição.

Marcos Sawaya Jank
Presidente da UNICA

Roberto de Rezende Barbosa
Presidente do CTC

Colaboração:

ANA - Agência Nacional de Águas

Claudio Ritti Itaborahy

Cristianny Villela Teixeira Gisler

Luis Augusto Preto

Fiesp - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

Departamento de Meio Ambiente

Nilton Fornasari Filho - Gerente

Daniela Agostinho

Natalia Landiose

Bruna Oliveira

Departamento do Agronegócio

Antonio Carlos Prado Batista Costa - Gerente

Fernando Macedo

Gregory Honcazar

João Campagna

Conselho Superior de Meio Ambiente

Laura Tetti

CTC - Centro de Tecnologia Canavieira

Aldo Calligaris Neto

Carlos Eduardo Faroni

Edison Pelissoli

Hélcio Martins Lamônica

José Roberto Nicoletti

Luciana do Carmo Zotelli

Manuel Horta Nunes

Vicente Paulo Almeida

Sumário

1.	Introdução	23
2.	Panorama do uso da água	27
2.1.	No Mundo	27
2.2.	No Brasil	33
3.	Perfil do setor sucroenergético	37
3.1.	Histórico	37
3.2.	Caracterização do setor	39
3.2.1.	Cana-de-açúcar	39
3.2.2.	Açúcar	40
3.2.3.	Etanol	41
3.2.4.	Cogeração de energia elétrica	43
3.2.5.	Tendências do mercado	46
3.2.6.	Distribuição geográfica do setor	47
4.	Processo agroindustrial	55
4.1.	Produção da cana-de-açúcar	55
4.1.1.	Planejamento, preparo do solo e adubação	55
4.1.2.	Plantio, defensivos, fertirrigação, tratos culturais e rotação de cultura	57
4.1.3.	Colheita da cana	60
4.2.	Industrialização da cana-de-açúcar	61
4.2.1.	Recepção e preparo da cana e extração do caldo	61
4.2.2.	Tratamento e concentração do caldo	62
4.2.3.	Fabricação de açúcar cristal	63
4.2.4.	Fabricação do etanol	63
4.2.5.	Geração de energia	64
4.2.6.	Fabricação de levedura seca	65
5.	Usos e reúsos de água e geração de efluentes	69
5.1.	Balanco material de água (Balanco hídrico industrial)	73
5.1.1.	Água na recepção e preparo da cana e extração do caldo	74
5.1.1.1.	Lavagem da cana	75
5.1.1.2.	Embebição das moendas	80
5.1.1.3.	Resfriamento de mancais da moenda	83
5.1.1.4.	Resfriamento do óleo dos equipamentos do preparo e extração	85
5.1.2.	Água no setor de tratamento do caldo	86
5.1.2.1.	Resfriamento da sulfitação do caldo	89
5.1.2.2.	Preparo do leite de cal	90
5.1.2.3.	Água para preparo de polímero	93
5.1.2.4.	Aquecimento do caldo	93
5.1.2.5.	Lavagem da torta	94
5.1.2.6.	Água para condensador barométrico do filtro rotativo	96

5.1.3.	Água no setor de fabricação de açúcar	98
5.1.3.1.	Evaporação do caldo	98
5.1.3.2.	Água para condensador barométrico da evaporação do caldo	104
5.1.3.3.	Cozimento do açúcar	107
5.1.3.4.	Água para condensador barométrico do cozimento	109
5.1.3.5.	Água para retardamento do cozimento	110
5.1.3.6.	Água para diluição de méis e magmas	111
5.1.3.7.	Água e vapor para lavagem do açúcar	111
5.1.3.8.	Água para retentor de pó açúcar	112
5.1.4.	Água na fermentação	113
5.1.4.1.	Água para o preparo do mosto	113
5.1.4.2.	Água para resfriamento do caldo para fermentação	114
5.1.4.3.	Água de diluição do fermento (ou de preparo do pé-de-cuba)	116
5.1.4.4.	Água para resfriamento de dornas de fermentação	117
5.1.4.5.	Água para lavagem dos gases da fermentação	120
5.1.5.	Água na destilação	121
5.1.5.1.	Vapor para a destilação	123
5.1.5.2.	Água para resfriamento dos condensadores de etanol	123
5.1.6.	Água na área de energia	126
5.1.6.1.	Produção e uso do vapor direto	127
5.1.6.2.	Água para dessuperaquecimento do vapor de escape	128
5.1.6.3.	Água para lavagem dos gases de combustão das caldeiras	130
5.1.6.4.	Água de limpeza dos cinzeiros	133
5.1.6.5.	Resfriamento do ar e óleo dos turbogeradores	134
5.1.6.6.	Água para torres de condensação	136
5.1.7.	Água para outros usos	137
5.1.7.1.	Água para limpeza de pisos e equipamentos	137
5.1.7.2.	Água para uso doméstico	137
5.2.	Tratamento de água industrial	137
5.2.1.	Sedimentação e filtração	143
5.2.2.	Clarificação (ETA)	145
5.2.3.	Abrandamento de água	147
5.2.4.	Desmineralização de águas	148
5.2.5.	Osiose reversa	149
5.2.6.	Desaeração térmica	149
5.2.7.	Tratamento interno de águas de caldeiras	150
5.3.	Efluentes líquidos	160
5.3.1.	Quantificação e qualificação dos efluentes	160
5.3.2.	Produção de vinhaça e flegmaça	164
5.3.3.	Caracterização dos efluentes	170
5.3.3.1.	Caracterização das águas residuárias	171
5.3.3.2.	Caracterização dos condensados da fabricação	174

5.3.3.3. Caracterização da flegmaça	176
5.3.3.4. Caracterização da vinhaça	176
6. As boas práticas industriais	183
6.1. Estratégia para o setor	183
6.2. Evolução do consumo de água	184
6.3. Tratamento e reúso dos efluentes	187
6.3.1. Tratamento de água de lavagem de cana	187
6.3.2. Resfriamento dos efluentes da fábrica	197
6.3.3. Resfriamento dos efluentes da destilaria	201
6.3.4. Tratamento dos despejos da lavagem de chaminé	202
6.3.5. Tratamento e reúso dos efluentes mornos de resfriamento de equipamentos	205
6.3.6. Tratamento e reúso dos condensados	206
6.3.7. Caixa de separação de óleo	211
6.3.8. Tratamento dos esgotos domésticos	213
6.3.9. Fertirrigação dos canaviais com vinhaça	214
6.3.10. Águas residuárias para irrigação dos canaviais	234
6.3.11. Concentração de vinhaça	235
6.3.12. Biodigestão de vinhaça	236
6.4. Produção mais limpa (P+L)	240
6.4.1. Limpeza de cana a seco	241
6.4.2. Blindagem mancais das moendas	242
6.4.3. Separadores de arraste de açúcar	243
6.4.4. Condensador de alta eficiência (CAE)	244
6.4.5. Condensador evaporativo (CEV)	247
6.4.6. Cozimento contínuo	248
6.4.7. Evaporação com sangria nos demais efeitos	248
6.4.8. Procedimento operacional padronizado (POP)	251
6.4.9. Água gelada para a fermentação	254
6.4.10. Fermentação com alto teor alcoólico	255
6.4.11. Aquecedores indiretos na destilaria ("reboiler")	256
7. Preservação de solos agrícolas e controle da erosão	259
7.1. Erosão hídrica do solo	259
7.2. Conservação do solo e da água	260
7.3. Planejamento da base física para colheita mecânica de cana sem queima	264
8. Legislação e normas aplicáveis	269
8.1. A base legal no âmbito federal	269
8.2. Aspectos ambientais do uso dos recursos hídricos	271
8.3. Legislações paulistas que afetam mais diretamente o setor	273
8.3.1. Protocolo agroambiental do setor sucroalcooleiro	273
8.3.2. Zoneamento agroambiental do setor sucroalcooleiro e licenciamento ambiental	273
8.3.3. Aplicação da vinhaça em solo agrícola - fertirrigação	276
9. Referências bibliográficas	281

Lista de Figuras

Figura 1 -	Distribuição dos recursos hídricos renováveis no mundo.	28
Figura 2 -	Distribuição relativa dos recursos hídricos renováveis no planeta.	28
Figura 3 -	Distribuição da população no planeta.	29
Figura 4 -	Distribuição do consumo de água no mundo no ano 2000.	30
Figura 5 -	Distribuição geográfica relativa do uso de água doce no Mundo.	31
Figura 6 -	Distribuição geográfica da disponibilidade e consumo per capita da água doce no Mundo.	32
Figura 7 -	Distribuição do uso de água no mundo por atividade (WRI, 2005/FAO 2003).	32
Figura 8 -	Distribuição relativa dos recursos hídricos, da população e do território brasileiro (adaptado de dados do DNAEE, 1992 citado por UNIAGUA, 2007).	34
Figura 9 -	Evolução da produção de cana, açúcar e etanol no Brasil de 1971 a 2007.	39
Figura 10 -	Evolução da exportação de açúcar no Brasil a partir de 1996 (UNICA, 2009).	41
Figura 11 -	Evolução anual da produção de veículo “flexfuel+etanol” de veículos leves a gasolina (UNICA, 2009).	42
Figura 12 -	Evolução da exportação de etanol no Brasil (UNICA, 2009).	43
Figura 13 -	Energia contida no etanol por unidade de energia fóssil consumida conforme a cadeia produtiva (UNICA, 2008).	45
Figura 14 -	Evolução da colheita da cana e participação relativa das regiões canavieiras Norte-Nordeste e Centro-Sul (UNICA, 2009).	47
Figura 15 -	Distribuição geográfica das usinas e destilarias conforme as bacias hidrográficas da federação (Fonte CTC).	49
Figura 16 -	Distribuição geográfica das usinas e destilarias conforme as UGRHIs do Estado de São Paulo (elaborado pelo CTC em 2009).	50
Figura 17 -	Distribuição média dos usos setoriais de água na indústria sucroenergética.	71
Figura 18 -	Distribuição média dos usos pontuais de água na indústria sucroenergética, situação atual.	72
Figura 19 -	Distribuição média dos usos pontuais de água na indústria canavieira, situação passada (ELIA NETO, 1996).	73
Figura 20 -	Fluxograma do processamento industrial da fabricação de açúcar e etanol.	74
Figura 21 -	Fluxograma dos setores de recepção, preparo da cana e extração do caldo.	75
Figura 22 -	Variação da média anual da impureza mineral na cana, em % peso de cana, nas usinas da Região Canavieira do Centro-Sul (CTC, 2009).	76
Figura 23 -	Variações das médias mensais das impurezas vegetais e das minerais na cana entregue na usina, em % peso de cana (ELIA NETO et al., 2008).	77
Figura 24 -	Variações das médias mensais da taxa de água (m ³ /t.cana) e da concentração de açúcar (ppm) na água de lavagem da cana (ELIA NETO et al., 2008).	78
Figura 25 -	Variação da média anual da taxa de lavagem de cana, em m ³ /t.cana moída, nas usinas da Região Canavieira do Centro-Sul (CTC, 2009).	79
Figura 26 -	Variação da média anual da taxa de embebição (%) nas usinas da Região Canavieira do Centro-Sul (CTC, 2009).	80

Figura 27 - Variações das médias mensais da taxa de embebição de moendas. (ELIA NETO et al., 2008).	81
Figura 28 - Ilustração esquemática de um mancal superior de um terno de moenda.	83
Figura 29 - Fluxograma do tratamento de caldo, etapas: pré-aquecimento, sulfitação e caleação.	87
Figura 30 - Fluxograma do tratamento de caldo, etapas: aquecimento e decantação.	88
Figura 31 - Fluxograma dos setores de tratamento de caldo (lavagem da torta).	88
Figura 32 - Variação da média anual da taxa de produção de torta de filtro (kg/t.cana) nas usinas da Região Canavieira do Centro-Sul (CTC, 2009).	95
Figura 33 - Esquema do sistema de produção de vácuo e condensação dos vapores da lavagem da torta em filtros rotativos.	96
Figura 34 - Fluxograma do setor de evaporação do caldo da fábrica de açúcar.	99
Figura 35 - Arranjos dos sistemas de evaporação de múltiplo efeito (fonte: CTC/COPERSUCAR).	100
Figura 36 - Esquemas de condensadores barométricos utilizados no na evaporação e no cozimento (COPERSUCAR, 1983).	105
Figura 37 - Fluxograma dos setores de cozimento, cristalização e centrifugação da fábrica de açúcar.	107
Figura 38 - Fluxograma do setor de secagem e ensaque do açúcar.	112
Figura 39 - Fluxograma das operações de preparo do mosto e tratamento do mosto para a fermentação.	113
Figura 40 - Fluxograma das operações da fermentação do mosto.	118
Figura 41 - Esquema da coluna com recheio de lavagem de gás CO ₂ da fermentação (COPERSUCAR, 1983).	120
Figura 42 - Fluxograma das operações da destilação do etanol.	122
Figura 43 - Fluxograma das operações da área de produção de energia.	126
Figura 44 - Variação da média anual da produção específica de vapor (kg/t.cana) nas usinas da Região Canavieira do Centro-Sul (CTC, 2009).	127
Figura 45 - Esquema do dessuperaquecimento do vapor de escape.	128
Figura 46 - Esquema de um lavador de gases das caldeiras modelo CTC.	133
Figura 47 - Variação da média anual da geração específica de energia elétrica (kWh/t.cana) nas usinas da Região Canavieira do Centro-Sul (CTC, 2009).	135
Figura 48 - Esquema de um filtro rápido por gravidade, precedido de aeração (adaptado de COPERSUCAR, 1985).	143
Figura 49 - Filtro rápido vertical de pressão.	144
Figura 50 - Filtro rápido horizontal de pressão.	145
Figura 51 - Esquema de uma ETA convencional (COPERSUCAR, 1985).	145
Figura 52 - Esquema do desaerador tipo horizontal utilizado no setor sucroenergético.	149
Figura 53 - Tubo de superaquecedor de uma usina de açúcar seriamente incrustado (ELIA NETO & LEITE, 1997).	151
Figura 54 - Corrosão localizada (“pitting”) em tubo de uma caldeira de usina (ELIA NETO & LEITE, 1997).	153
Figura 55 - Tubo de superaquecedor de uma usina de açúcar seriamente incrustado (ELIA NETO & LEITE, 1997).	154
Figura 56 - Método do fosfato coordenado (SANTOS FILHO, 1976).	158
Figura 57 - Método de tratamento congruente (SANTOS FILHO, 1976).	159

Figura 58 - Variações das médias, máximas e mínimas anuais do grau alcoólico do vinho (°GL) nas usinas da Região Canavieira do Centro-Sul (CTC, 2009).	165
Figura 59 - Variações da média, máxima e mínima anuais da taxa de produção de vinhaça (L/L.etanol) nas usinas da Região Canavieira do Centro-Sul (CTC, 2009).	167
Figura 60 - Variações das médias, máximas e mínimas anuais da taxa de produção de flegmaça (L/L.etanol), nos últimos 3 anos, nas usinas da Região Canavieira do Centro-Sul (CTC, 2009).	169
Figura 61 - Variação da qualidade dos condensados do setor de evaporação (HOMEM et al., 2000).	175
Figura 62 - Balanço médio global de água nas usinas sucroenergéticas.	184
Figura 63 - Curva da tendência de decréscimo da captação de água a indústria canavieira.	185
Figura 64 - Cush-cush para peneiramento do despejo da lavagem de cana.	188
Figura 65 - Antigas lagoas de estabilização da água de lavagem de cana (COPERSUCAR, 1980).	190
Figura 66 - Entrada do despejo da lavagem de cana nas caixas de decantação de areia (circuito fechado).	191
Figura 67 - Caixa de areia das águas de lavagem de cana em operação de limpeza.	191
Figura 68 - Esquema de um sistema completo de tratamento de efluente de lavagem de cana por decantador circular (COPERSUCAR, 1983).	194
Figura 69 - Decantador circular de água de lavagem de cana modelo CTC em funcionamento em uma usina.	195
Figura 70 - Croqui do decantador circular de água de lavagem de cana modelo CTC (COPERSUCAR, 1983).	196
Figura 71 - Esquema de um predecantador efluente de lavagem de cana modelo CTC (COPERSUCAR, 1983).	197
Figura 72 - Detalhe dos aspersores em tanques de resfriamento de efluentes para a fábrica de açúcar.	198
Figura 73 - Torres de arrefecimento (ou resfriamento) para o circuito de reúso da fábrica de açúcar.	199
Figura 74 - Decantadores/Flotadores (DFF) modelo CTC instalado em uma usina.	203
Figura 75 - Decantador de fuligem circular com fundo cônico em funcionamento em uma usina.	204
Figura 76 - Esquema de um sistema de recuperação de condensados da fábrica (Fonte: CTC).	209
Figura 77 - Caixas separadoras de óleo (e areia) para tratamento do efluente da lavagem de veículos em uma usina.	212
Figura 78 - Balanço teórico de K ₂ O e potencial de área fertirrigada com vinhaça.	218
Figura 79 - Tanque em concreto para o recebimento e distribuição da vinhaça da destilaria equipado com duas torres de resfriamento de vinhaça, em uma usina.	219
Figura 80 - Caminhão tipo rodotrem para o transporte da vinhaça ao campo.	220
Figura 81 - Variação do custo da fertirrigação com vinhaça natural com a distância média da aplicação e distância econômica em relação à adubação mineral (adaptado de ELIA NETO et al., 2008).	221
Figura 82 - Bicarga descarregando vinhaça em tanque pulmão na lavoura (COPERSUCAR, 1998).	224
Figura 83 - Esquema de adutora de recalque, destacando-se a altura manométrica total (COPERSUCAR, 1988).	225
Figura 84 - Seção trapezoidal típica de canais de condução de vinhaça.	226

Figura 85 - Tanque de armazenamento de vinhaça impermeabilizado com geomembranas e protegido com cerca para evitar acesso de pessoas e animais.	228
Figura 86 - Aspersion tipo montagem direta succionando de canal.	230
Figura 87 - Carretel enrolador succionando do canal.	231
Figura 88 - Aspersão com carretel enrolador acoplado diretamente no caminhão.	231
Figura 89 - Uso das águas residuárias na irrigação ou fertirrigação dos canaviais.	235
Figura 90 - Esquema da produção e energia elétrica do biogás da vinhaça (adaptado de LAMÔNICA, 2006a).	240
Figura 91 - Esquema (corte) de uma mesa de alimentação com o sistema de limpeza de cana a seco.	241
Figura 92 - Vedação (blindagem) do mancal de moenda (COPERSUCAR, 1983).	242
Figura 93 - Esquema de um separador de arraste tipo centrífugo.	243
Figura 94 - Esquema de um condensador barométrico de alta eficiência (CAE).	246
Figura 95 - Esquema de um condensador Evaporativo (CEV).	247
Figura 96 - Diagrama de evaporação de 5º efeito com sangria de vapor vegetal no 1º efeito para cozimento e aquecimento do caldo da fábrica.	249
Figura 97 - Diagrama da sangria de vv2 para cozimento e vv3, vv2 e vv1 para aquecimento escalonado do caldo da fábrica.	249
Figura 98 - Diagrama de sangria de vv2 para cozimento e de vv4, vv3, vv2 e vv1 para aquecimento escalonado do caldo.	250
Figura 99 - Esquema da sangria de vv1 na destilaria para produção de etanol hidratado, sangria de vv2 para o cozimento e para o aquecimento do caldo da fábrica as sangrias escalonadas dos três primeiros efeitos da evaporação.	250
Figura 100 - Esquema da sangria de vv1 na destilaria para produção de etanol anidro, sangria de vv2 para cozimento, e para o aquecimento as sangrias escalonadas dos três primeiros efeitos da evaporação.	251
Figura 101 - Limpeza da área de secagem e ensaque utilizando lavadora automática de pisos.	252
Figura 102 - Aspiração de sujidades do piso da área de enclausuramento (ensaque).	253
Figura 103 - Limpeza de equipamentos e piso com uso de produtos sanitizantes aprovados pelo Ministério da Saúde.	253
Figura 104 - Limpeza do piso da área de ensaque.	254
Figura 105 - Sequência mostrando o impacto da gota de chuva em solo úmido e descoberto (Fonte: Naval Research Laboratory/USDA – Soil Conservation Service).	259
Figura 106 - Plantio direto da cana na entrelinha da soqueira erradicada com herbicida, em área com planejamento de sulcação para colheita mecânica.	261
Figura 107 - MEIOSI com cultivo intercalar de soja com colheita mecânica.	262
Figura 108 - MEIOSI com utilização de <i>Crotalaria spectabilis</i> .	262
Figura 109 - Sulcação simultânea ao tombamento da <i>Crotalaria juncea</i> , com utilização do implemento tombador frontal.	263
Figura 110 - Sentido da sulcação a partir de terraceamento causando “sulcos mortos” dentro do talhão.	264
Figura 111 - Área anual de renovação à taxa de 15% e ano de término do processo.	265
Figura 112 - Mapa do Zoneamento Agroambiental (ZAA) do estado de São Paulo, e localização das usinas e destilarias do estado (composto pelo CTC).	275

Lista de Tabelas

Tabela 1 -	Consumo de água doce por continentes (adaptado da fonte: www.worldwater.org citado em ANA, 2008).	29
Tabela 2 -	Energia nas partes da cana (adaptado de LAMÔNICA, 2006).	44
Tabela 3 -	Autoconsumo de energia no processamento industrial da cana.	45
Tabela 4 -	Demanda da produção do setor sucroenergético (RODRIGES, 2006).	46
Tabela 5 -	Distribuição percentual da produção de cana nas regiões brasileiras (Fonte: UNICA, 2008a).	48
Tabela 6 -	Áreas de canas e unidades industriais sucroenergéticas do Estado de São Paulo na safra 2008/2009 e suas influências territoriais nas UGHRIs.	51
Tabela 7 -	Fórmulas NPK para os ciclos de cana planta e cana soca.	57
Tabela 8 -	Controle de pragas na cana-de-açúcar (resumido de ALMEIDA et al., 2005).	59
Tabela 9 -	Usos médios da água em unidades produtoras de açúcar e etanol.	69
Tabela 10 -	Quantidade de água de resfriamento dos mancais de moendas.	84
Tabela 11 -	Quantidade de água de resfriamento dos trocadores de calor do óleo das turbinas e equipamentos da área de extração e moagem.	86
Tabela 12 -	Características do leite de cal conforme o grau Beaumé (°Bé).	92
Tabela 13 -	Parâmetros de operação em evaporador de 5º efeito com sangrias no 1º efeito (pré-evaporador).	104
Tabela 14 -	Perdas percentuais de etanol por evaporação em dornas abertas em função da temperatura e da graduação alcoólica final do vinho (FORMAGGIO & FINGUERUT, 1990).	121
Tabela 15 -	Estimativa da quantidade de vapor necessário para o processo considerando um “mix” de 50 % de produção entre etanol e açúcar.	128
Tabela 16 -	Padrões legais de emissão de poluentes atmosféricos para caldeira a bagaço (existentes e novas) e padrões de qualidade do ar das legislações federal e do estado de São Paulo.	131
Tabela 17 -	Características dos retentores de fuligem via úmida modelos CTC.	132
Tabela 18 -	Quantidade de água de resfriamento dos trocadores de calor do óleo de resfriamento de turbogeradores e turbinas de acionamento de bombas e exaustores da área de energia.	134
Tabela 19 -	Padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano (Artigo 11 da portaria MS nº 518).	138
Tabela 20 -	Padrão de turbidez para água pós-filtrada ou pré-desinfetada (Artigo 12 da portaria MS nº 518).	138
Tabela 21 -	Padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde (Artigo 14 da portaria MS nº 518).	139
Tabela 22 -	Padrão de radioatividade para água potável (Artigo 15, Portaria MS nº 518).	141
Tabela 23 -	Padrão de aceitação para consumo humano (Artigo 16, Portaria MS nº 518).	141
Tabela 24 -	Parâmetros limites da qualidade do tratamento de águas de caldeiras aquatubulares adotado pela ASME, 1994.	142
Tabela 25 -	Classificação de caldeiras de acordo com as pressões.	150

Tabela 26 -	Consequências das impurezas da água de caldeiras.	151
Tabela 27 -	Tipos de programas de tratamento interno de águas de caldeiras.	155
Tabela 28 -	Valores máximos permissíveis na água interna das caldeiras nos tratamentos convencional, complexiométrico, disperso-solubilizante e conjugado.	157
Tabela 29 -	Valores máximos permissíveis na água interna das caldeiras com tratamento de precisão.	157
Tabela 30 -	Carga orgânica potencial e remanescente e o equivalente populacional dos despejos da indústria sucroalcooleira (base 1997).	160
Tabela 31 -	Resumo das características dos despejos de usinas e destilarias em geral.	161
Tabela 32 -	Evolução da característica físico-química média das águas residuárias industriais enviadas para a lavoura de cana (ELIA NETO e ZOTELLI, 2008).	171
Tabela 33 -	Caracterização de águas residuárias de algumas seções das usinas (ELIA NETO e ZOTELLI, 2008).	172
Tabela 34 -	Resultados físico-químicos de 28 amostras de águas residuárias de usinas sem refinaria anexa, associadas ao CTC (ELIA NETO e ZOTELLI, 2008).	173
Tabela 35 -	Qualidade dos condensados da evaporação de múltiplo efeito em levantamento do CTC (HOMEM et al., 2000).	175
Tabela 36 -	Resultados físico-químicos da flegmaça obtidos de levantamento do CTC (CRISTOFOLETTI et al., 1998).	176
Tabela 37 -	Caracterização físico-química da vinhaça obtida de levantamentos realizados no CTC.	177
Tabela 38 -	Características qualiquantitativas de vinhaça procedentes de mostos de melaço, caldo e misto (Fonte: "Utilização de Restilo como Fertilizante em Solos Cultiváveis com Cana-de-açúcar - Relatório Final", CETESB,1982).	178
Tabela 39 -	Comparação dos resultados obtidos com os preconizados na literatura.	179
Tabela 40 -	Evolução das taxas de captação, consumo e lançamento de água na indústria canavieira (ELIA NETO, 2008).	185
Tabela 41 -	Disponibilidade e demanda de captação de água superficial no Estado de São Paulo.	186
Tabela 42 -	Características da caixa de decantação de areia das águas da lavagem de cana.	192
Tabela 43 -	Características dos decantadores circular modelo CTC para os efluentes da lavagem de cana.	195
Tabela 44 -	Características do predecantador modelo CTC para os efluentes da lavagem de cana com excesso de areia.	197
Tabela 45 -	Parâmetros médios utilizados para os efluentes quentes da fábrica de açúcar conforme os equipamentos da fábrica.	199
Tabela 46 -	Parâmetros do sistema de resfriamento com torres dos efluentes quentes da destilaria.	202
Tabela 47 -	Parâmetros característicos dos decantadores/flotadores de fuligem modelos CTC (COPERSUCAR, 1983).	203
Tabela 48 -	Composição média da fuligem (COPERSUCAR, 1983).	205
Tabela 49 -	Vazões dos efluentes mornos de resfriamento de equipamentos.	205
Tabela 50 -	Produção e uso dos condensados da fábrica de açúcar.	206
Tabela 51 -	Comparação da qualidade dos condensados com os valores máximos permissíveis na água interna das caldeiras nos tratamentos convencional, complexiométrico, disperso-solubilizante e conjugado.	207
Tabela 52 -	Reúsos dos condensados da fábrica de açúcar no processo.	208

Tabela 53 -	Balanço das perdas de água nos circuitos fechados de tratamento devido a purgas, evaporação e perdas devido a incorporações de água nos produtos e resíduos.	210
Tabela 54 -	Balanço final de reúso dos condensados para o “mix” de produção de 50%.	211
Tabela 55 -	Parâmetros para o dimensionamento do tratamento de esgoto doméstico.	214
Tabela 56 -	Comparação dos resultados físico-químicos da vinhaça com os do guia para interpretação da qualidade de água para irrigação. Fonte: BRASON, 1980, citado por PENATTI & DONZELLI (2000).	216
Tabela 57 -	Parâmetros médios considerados no transporte do rodotrem.	222
Tabela 58 -	Parâmetros médios do transporte rodoviário de vinhaça por rodotrem (60 m ³) bate e volta.	224
Tabela 59 -	Tipos de sistema de aplicação de vinhaça nas lavouras de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo (SOUZA, 2005).	229
Tabela 60 -	Parâmetros envolvidos no dimensionamento do sistema de aspersão com carretel enrolador na fertirrigação.	232
Tabela 61 -	Parâmetros convencionais de projeto e operação de biodigestores UASB (ELIA NETO et al., 1988).	238
Tabela 62 -	Efeito de alguns compostos na biodigestão anaeróbia.	239
Tabela 63 -	Economia de vapor e água devido às sangrias de diversos efeitos.	251
Tabela 64 -	Principal legislação no âmbito federal	272

1. Introdução

André Elia Neto

O setor sucroenergético apresenta uma cadeia produtiva em que várias de suas etapas, se não gerenciadas adequadamente, podem provocar impactos ambientais indesejados, principalmente associados ao solo e à água. Em bacias hidrográficas com menor disponibilidade de água, pode ser também um competidor expressivo pelos recursos hídricos, com destaque nas regiões em que a cana-de-açúcar necessita de irrigação plena.

Historicamente, foi formada uma idéia entre as entidades ligadas ao meio ambiente e aos recursos hídricos de que a agroindústria sucroalcooleira é uma grande consumidora de água, o que realmente era procedente, em face dos valores de captação de água que o setor realizava no processo industrial. De maneira geral, isto não se aplica à produção de cana, visto que, diferentemente da maioria dos países produtores, o Brasil e principalmente a região canavieira Centro-Sul, não utiliza água para a irrigação plena dos canaviais. O uso desse recurso ocorre somente em certas regiões, onde se tem a irrigação de salvamento ou suplementar com lâminas de água pequenas e normalmente utilizando águas residuárias do processo industrial.

Mais recentemente, o setor sucroenergético adotou uma postura mais moderna, com grande preocupação quanto à conservação e ao uso racional da água, estabelecendo programas rigorosos de gestão ambiental e de recursos hídricos. Essa preocupação pode ser verificada desde a etapa de produção da cana até a de armazenamento do álcool produzido, passando por uma grande modernização dos processos na indústria, em que o reúso de água é realizado cada vez mais intensamente.

O processo de tomada de decisão para uma gestão ambiental eficaz da água não representa tão somente a necessidade de conformidade legal da atividade industrial, mas também a demonstração de responsabilidade social do setor produtivo. Além disso, o setor sucroenergético tem importante atuação no mercado internacional e um número crescente de países vem exigindo certificação ambiental de produtos, processos de produção e serviços. Como se vê, a competitividade comercial exigirá, de forma cada vez mais presente, a reavaliação dos processos produtivos e a adoção de práticas de produção mais limpas, que otimizem os usos dos recursos naturais, dentre estes a água, um bem essencial à vida.

Este manual é destinado a disponibilizar informações ambientais, especialmente as mais relacionadas com o gerenciamento de recursos hídricos, para todos os interessados na adoção e utilização de processos industriais afinados com os conceitos do desenvolvimento sustentável e voltados à melhoria da qualidade ambiental em relação à utilização dos recursos hídricos.

Apresenta de forma resumida o perfil do setor sucroenergético, a descrição genérica das principais etapas da atividade industrial associadas à produção de cana, açúcar e de etanol e os aspectos de uso e reúso de água relacionados com cada uma das etapas do processo industrial, destacando-se os avanços já alcançados em termos de economia de água.

É resultado de um esforço conjunto realizado pelas entidades patrocinadoras, por um lado a ANA, que busca ser reconhecida pela sociedade como a referência na gestão e regulação dos recursos hídricos e na promoção do uso sustentável da água e por outro lado, as entidades representantes da indústria paulista e do setor sucroenergético. Congrega utilizadores da água para a produção e transformação de bens industriais para o desenvolvimento da sociedade, neste caso a UNICA, a FIESP e o CTC.

PANORAMA DO USO DA ÁGUA





Aspersão de águas residuárias e vinhaça como reúso na fertirrigação da lavoura canavieira.

2. Panorama do uso da água

André Elia Neto

A água é fundamental para a vida, sendo parte constituinte de todos os seres vivos de nosso planeta .

Conforme BRANCO (1993), há duas teorias do surgimento de água no planeta. Aprisionamento das águas congeladas dos cometas e, a mais aceita, formação conjunta com o planeta, com a liberação de moléculas de H₂O na forma de vapor no processo de formação dos minerais, principalmente silicatos. Felizmente, a água se mantém grande parte no estado líquido, pela feliz coincidência da distância da Terra em relação ao Sol.

A importância da água não pode ser vista apenas sob o ponto de vista biológico, mas também com relação às atividades produtivas, devendo o pleno acesso e o uso múltiplo das águas serem assegurados pela gestão eficaz dos recursos hídricos. Estes múltiplos usos podem ser agrupados como consuntivo (quando a água utilizada não retorna imediatamente aos recursos hídricos locais, como abastecimento urbano, irrigação e abastecimento industrial), e não consuntivo, quando não existe consumo de água na atividade, como produção de energia elétrica, lazer, piscicultura, navegação e usos ecológicos.

2.1. No Mundo

Conforme é estimado pela ONU, 1,8 bilhão de pessoas deverão conviver com absoluta escassez de água no planeta na proximidade do ano 2025, apesar de cerca de 70% da superfície da Terra ser coberta por água.

Estima-se que, do volume total de água do planeta, mais de 97% sejam constituídos de água salgada e uma parte ínfima se encontra em forma de vapor, sendo a parte restante a denominada “água doce”. O problema é que maior parte da água doce está indisponível, armazenada nas geleiras e em partes mais profundas do solo, restando relativamente muito pouco de água doce para ser facilmente utilizada. Para complicar, as atividades humanas têm causado séria degradação dos recursos hídricos existentes, diminuindo gradativamente sua disponibilidade para usos mais exigentes em termos de qualidade.

Neste sentido é necessário que se desenvolvam técnicas e pesquisas que adiem, minimizem ou mesmo evitem o “estresse” hídrico no mundo. Podem-se delinear algumas alternativas neste sentido, que certamente implicam em tomadas de decisão e investimentos:

- Redução do desperdício de água;
- Pesquisa e Desenvolvimento que minimize o consumo e evite o desperdício de água;
- Tratamento e reúso da água;
- Preservação de mananciais e gestão de recursos hídricos.

Pelo fato de a água potável ser um recurso finito e com reservas limitadas, se repartindo desigualmente pela superfície terrestre, os especialistas têm alertado que, se o consumo continuar crescendo como nas últimas décadas, todas as águas superficiais do planeta estarão comprometidas por volta do ano 2100, caracterizando uma situação de estresse hídrico.

O “estresse hídrico” é definido como o limite em que a disponibilidade hídrica encontra-se perigosamente próxima a valores baixos de demanda: segundo a ONU, quando inferior a 1.000 m³ anuais por habitante, ou segundo o Banco Mundial, quando a disponibilidade for inferior a 2.000 m³ anuais por habitante.

O estresse hídrico ou carência de água está, portanto, associado a uma combinação de efeitos naturais, demográficos, sócio-econômicos e até culturais, ou seja: chuvas escassas ou mal distribuídas, alto crescimento demográfico, desperdício no uso da água e poluição de mananciais. O mais sério é que o agente renovador e distribuidor de água doce da natureza, o ciclo hidrológico, pode vir a ser afetado pelas mudanças climáticas globais, contribuindo para agravar as expectativas.

A Figura 1 apresenta a distribuição dos recursos hídricos no mundo, que totalizam 55.273 km³/ano, evidenciando os blocos dos países desenvolvidos e em desenvolvimento.

A distribuição relativa dos recursos hídricos no planeta é mostrada na Figura 2. Já a Figura 3 apresenta a distribuição geográfica populacional no mundo.

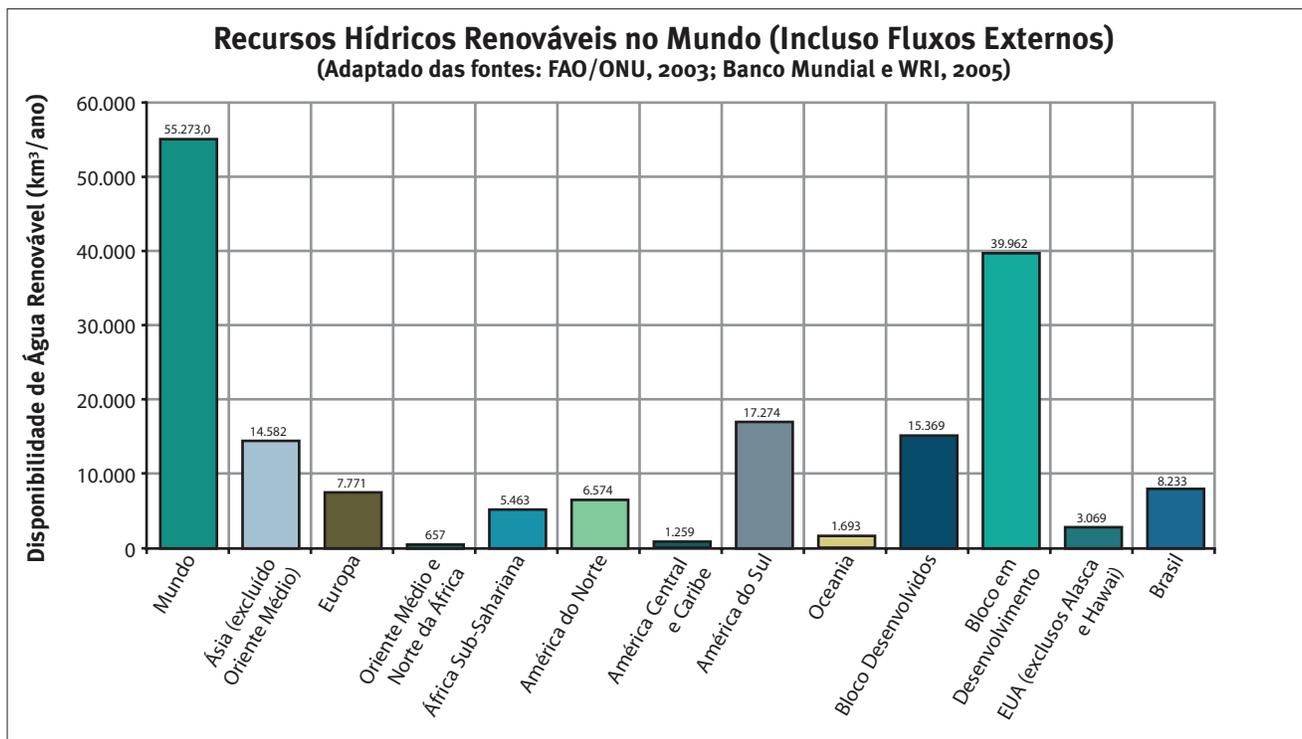


Figura 1 - Distribuição dos recursos hídricos renováveis no mundo.

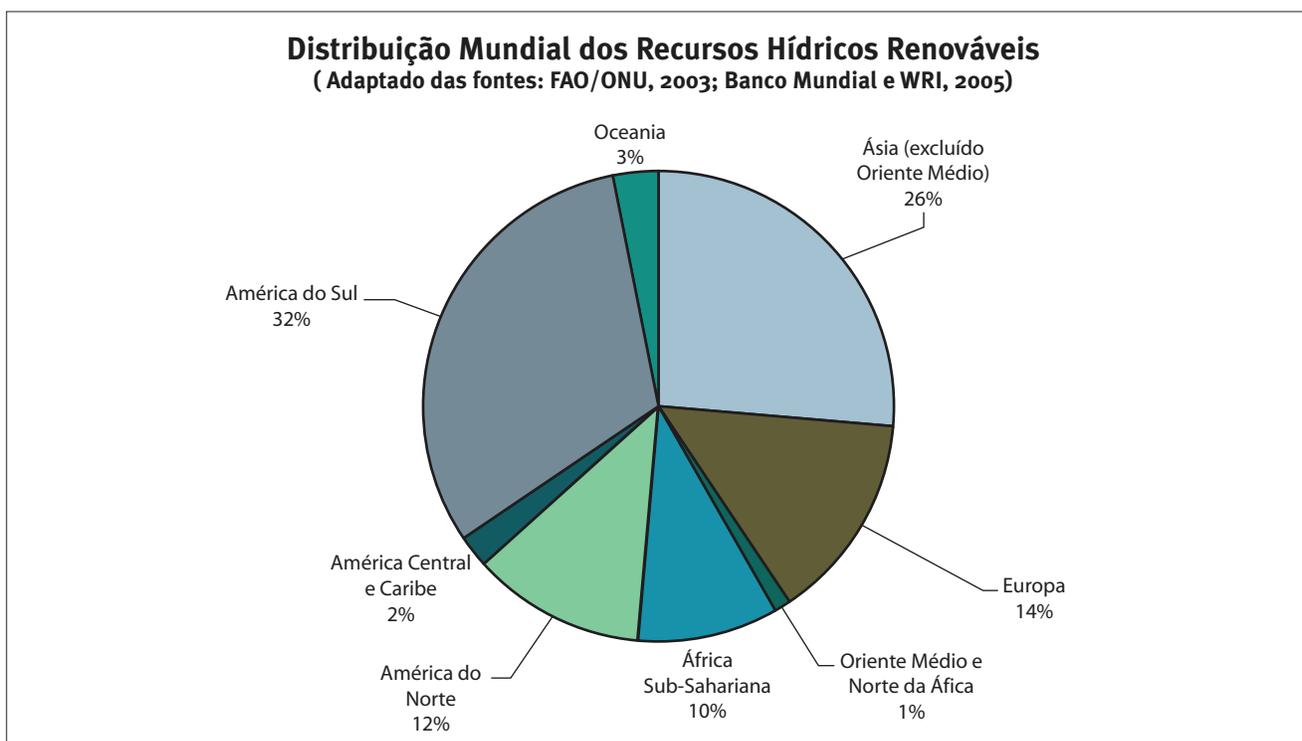


Figura 2 - Distribuição relativa dos recursos hídricos renováveis no planeta.

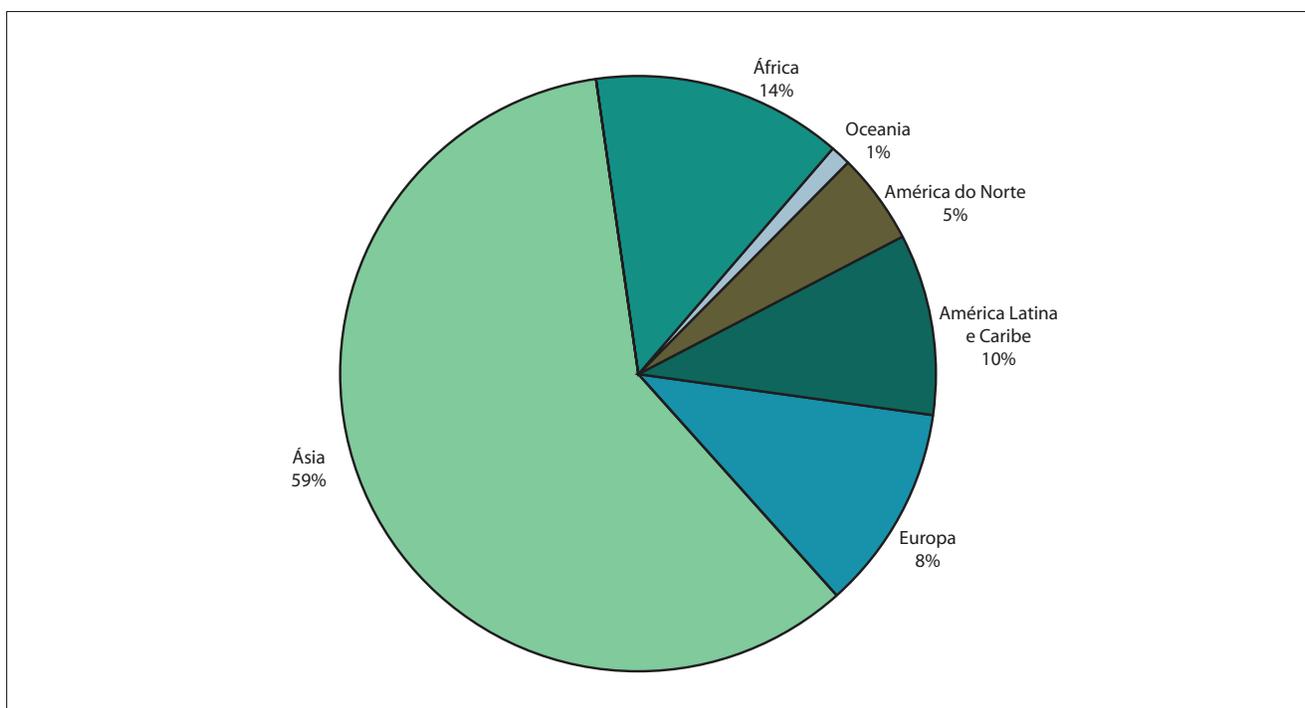


Figura 3 - Distribuição percentual da população no planeta.

Basicamente, destas duas informações, disponibilidade de água e população, pode-se constatar onde existe escassez de água, ou seja, as menores relações “água disponível por habitante”.

A população da Terra em 2005 foi estimada em 6,5 bilhões de habitantes, cuja metade aproximadamente está concentrada em apenas cinco países: China,

Índia, EUA, Indonésia e Brasil. A ONU sinaliza para uma população entre 9 e 10 bilhões em 2050. A Tabela 1 resume a demanda de água nos continentes, mostrando também que o maior consumo se dá na agricultura, portanto um uso consuntivo que influencia mais diretamente o conflito da água em termos de quantidade.

Tabela 1 - Consumo de água doce por continentes (adaptado da fonte: The World's Water (www.worldwater.org), citado em ANA (2008))

Continentes	Demanda (2000)		Consumo [%]		
	[km ³ /ano]	[m ³ /hab.ano]	Doméstico	Industrial	Agrícola
África	151,99	7.738	10	4	86
América do Norte e Central	608,93	6.868	11	33	56
América do Sul	106,21	6.164	9	6	85
Ásia	1.495,65	16.252	11	7	82
Europa	311,87	13.757	15	52	33
Antiga União Soviética	269,87	19.515	7	13	80
Oceania	16,93	1.374	56	6	38
Total	2.961,45				

Alguns autores estabelecem que o consumo anual no mundo seja um pouco maior que o apresentado na Tabela 1, da ordem de 3.802 km³/ano, dependendo da metodologia, neste caso, sendo considerados

os fluxos externos de contribuição de água nos países e continentes. Esta distribuição é apresentada graficamente na Figura 4.

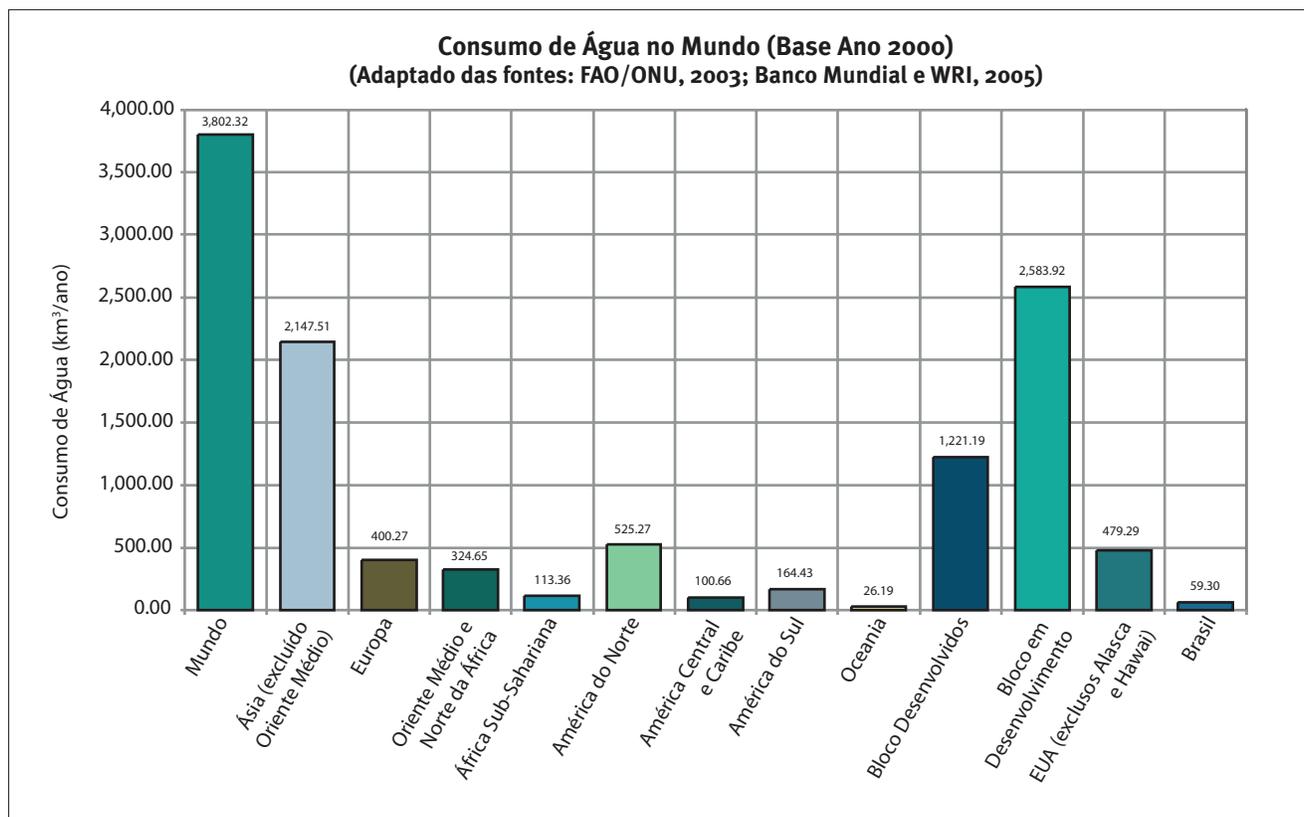


Figura 4 - Distribuição do consumo de água no mundo no ano 2000.

Na Figura 5, por sua vez, é apresentada a distribuição geográfica do consumo relativo de água no mundo, notando-se um equilíbrio em relação aos blocos continentais considerados, com exceção da América do Norte e Europa que relativamente têm menor consumo de água.

Verificam-se também na Figura 5 que, globalmente, o Oriente Médio e Norte da África, são as re-

giões com menores disponibilidades de recursos hídricos *per capita*, estimado em 1.505 m³/habitante.ano. Este valor indica uma região com estresse hídrico quando se considera o limite adotado pelo Banco Mundial (1.500 m³/habitante.ano), estando perigosamente próximo do valor considerado pela ONU como crítico, 1.000 m³/habitante.ano.

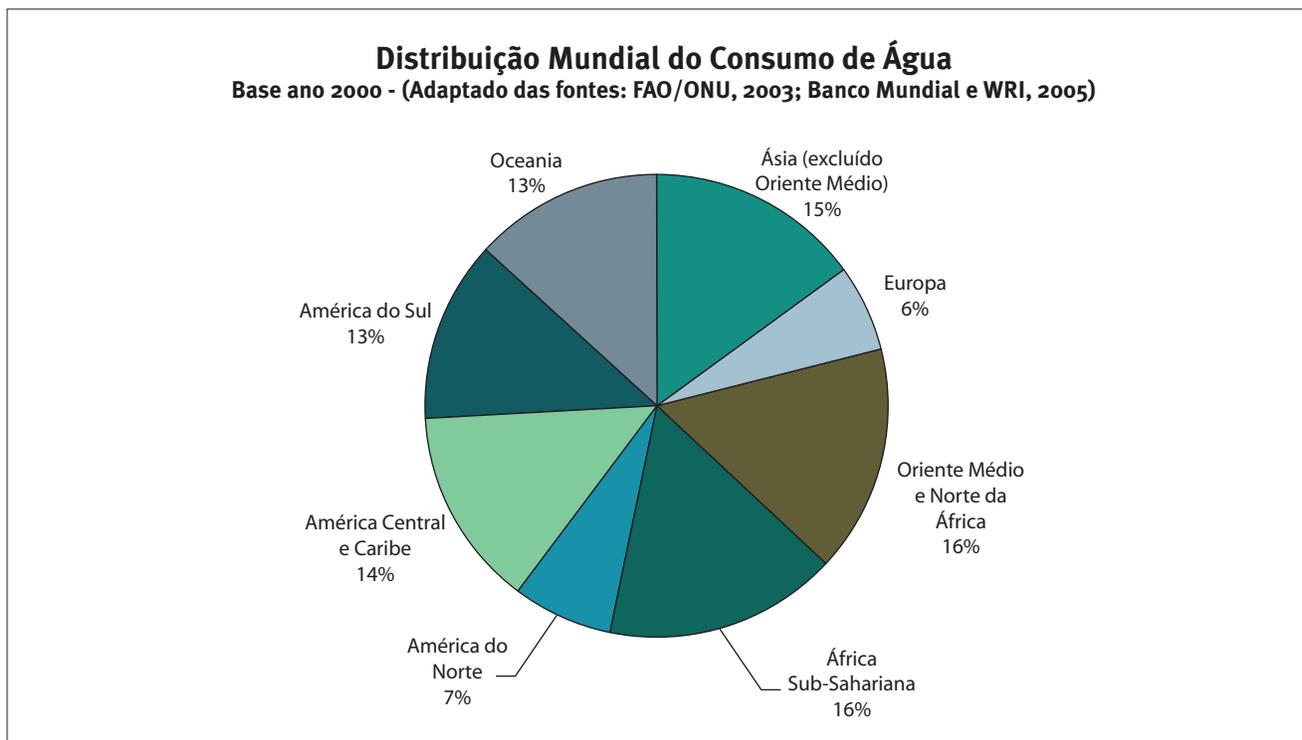


Figura 5 - Distribuição geográfica relativa do uso de água doce no Mundo.

Quando se divide o consumo pela população, a América do Norte, mais especificamente os EUA, passa a ser o bloco que mais consome água per capita no mundo, 1.663 m³/habitante.ano contra uma média mundial de 623 m³/habitante.ano, conforme é mostrado na Figura 6.

Os EUA têm consumo per capita de aproximadamente 2,7 vezes a média mundial. Se o mundo usasse água igual aos EUA, em 2050 o consumo seria 5,2 vezes maior que hoje, sem dúvida uma situação

insustentável que exauriria este vital recurso natural.

Considerando as atividades humanas, a distribuição relativa dos usos se dá em sua maior parte na agricultura (70%), em seguida na indústria (20%) e o restante doméstico (10%), conforme ilustrado na Figura 7. O uso mais intensivo de água na agricultura se dá principalmente nos países do terceiro mundo, enquanto que na Europa e América do Norte, – em suma, nos países desenvolvidos –, o maior consumo se dá na indústria.

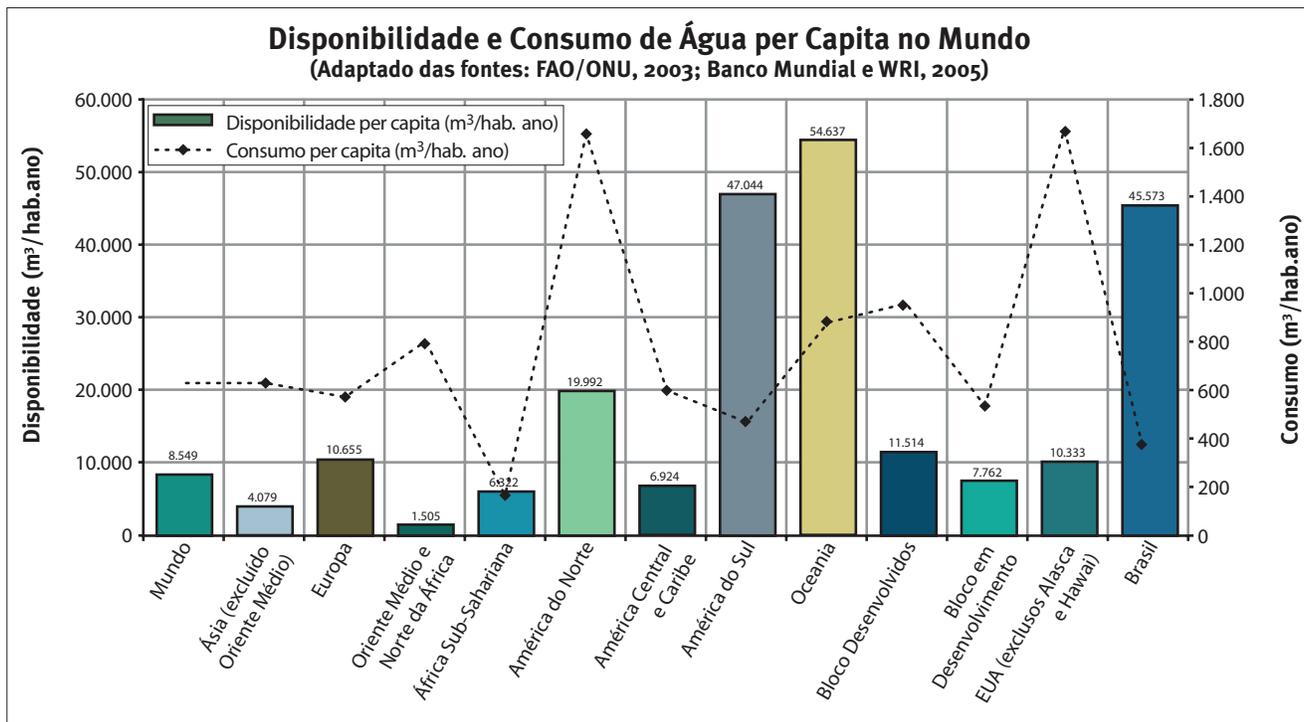


Figura 6 - Distribuição geográfica da disponibilidade e consumo per capita da água doce no Mundo.

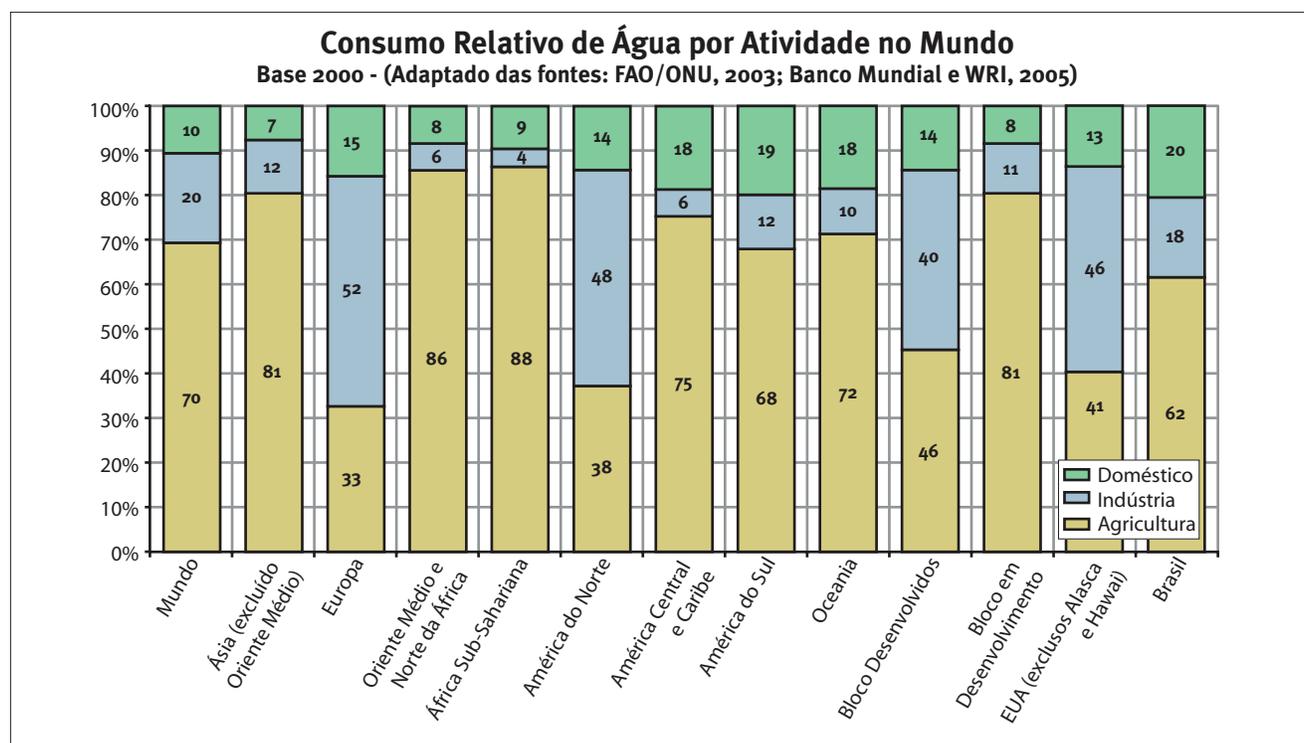


Figura 7 - Distribuição do uso de água no mundo por atividade (WRI, 2005/FAO 2003).

2.2. No Brasil

O Brasil, localizado em sua maior parte na Zona Intertropical, com domínio de climas quentes e úmidos, recebe chuva em cerca de 90% do seu território, normalmente variando de 1.000 a 3.000 milímetros anuais. A única grande área que foge a este padrão é o Sertão Nordestino, região que ocupa cerca de 10% do território nacional.

Devido a estas características climáticas e às condições geomorfológicas dominantes, o Brasil possui importantes excedentes hídricos cujo resultado é a existência de uma das mais vastas e densas redes de drenagem fluvial do mundo. Como consequência, nossa produção hídrica equivale a pouco mais que metade do total da América do Sul. Embora não haja um consenso sobre o assunto, estima-se que nosso país detenha algo entre 12% e 15% dos recursos hídricos totais do mundo (OLIC, 2003).

Segundo dados da WRI (2005) apresentados anteriormente na Figura 1, a disponibilidade no Brasil é de 8.233 km³/ano, que comparada com a disponibilidade hídrica renovável mundial de 55.237 km³/ano, resulta em uma disponibilidade relativa de aproximadamente 15% destes recursos no mundo.

Como visto, o Brasil possui abundância de águas superficiais, porém esses recursos hídricos não estão distribuídos equitativamente pelo território. Quatro grandes bacias hidrográficas são responsáveis por 85% de nossa produção hídrica: Amazônica; Tocantins-Araguaia; São Francisco; e Paraná. A Figura 8 apresenta esquematicamente as quantidades relativas de disponibilidade de água no Brasil, bem como a distribuição relativa populacional e territorial.

Nas regiões hidrográficas Amazônica e Tocantins-Araguaia, a produção hídrica corresponde a 73% do total do país. Nessas áreas, de forma geral, as densidades demográficas são muito baixas, variando de 2 a 5 hab./km². No outro extremo, na região hidrográfica Paraná, com apenas 6,5% da produção hídrica, as densidades demográficas dominantes estão entre 25 e 100 hab./km², cerca de 20 vezes mais que a região Norte. A bacia do Paraná conta com as maiores metrópoles do país, com as áreas mais dinâmicas da economia brasileira, sendo os mananciais mais exigidos e poluídos do país.

A disponibilidade per capita no Brasil é estimada em 45.573 m³/habitante.ano (WRI, 2005), como visto anteriormente na Figura 6, muito embora também não haja consenso sobre o número exato. De qualquer forma, considerando a demanda pelo uso da água no Brasil em 345 m³/habitante.ano, a situação brasileira é bastante privilegiada, com menos que 1% em relação a sua disponibilidade.

Nenhuma unidade federativa do Brasil apresenta disponibilidade de água *per capita* inferior a 1.000 m³ anuais por habitante, porém os estados do Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e o Distrito Federal, apresentam índices menores que 2.000 m³ anuais por habitantes, abaixo, portanto, do patamar de estresse hídrico defendido pelo Banco Mundial.

A aparente abundância de água no Brasil tem sustentado uma cultura de desperdícios. Os problemas de abastecimento na atualidade ainda estão restritos a poucas áreas e decorrem da combinação de vários fatores, entre eles: da irregularidade das condições climáticas (Sertão do Nordeste); do crescimento exagerado do consumo; e da degradação ambiental.

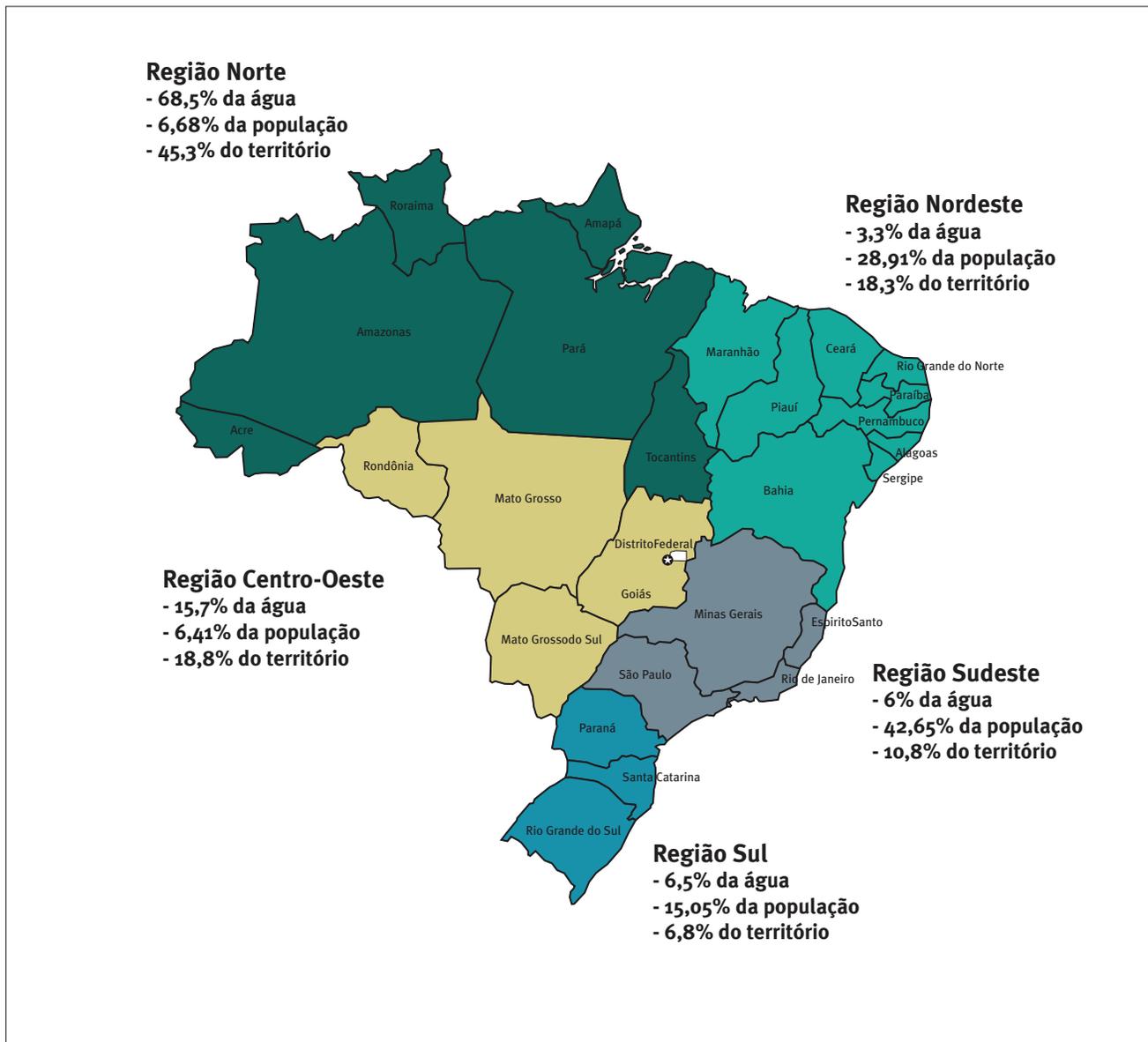
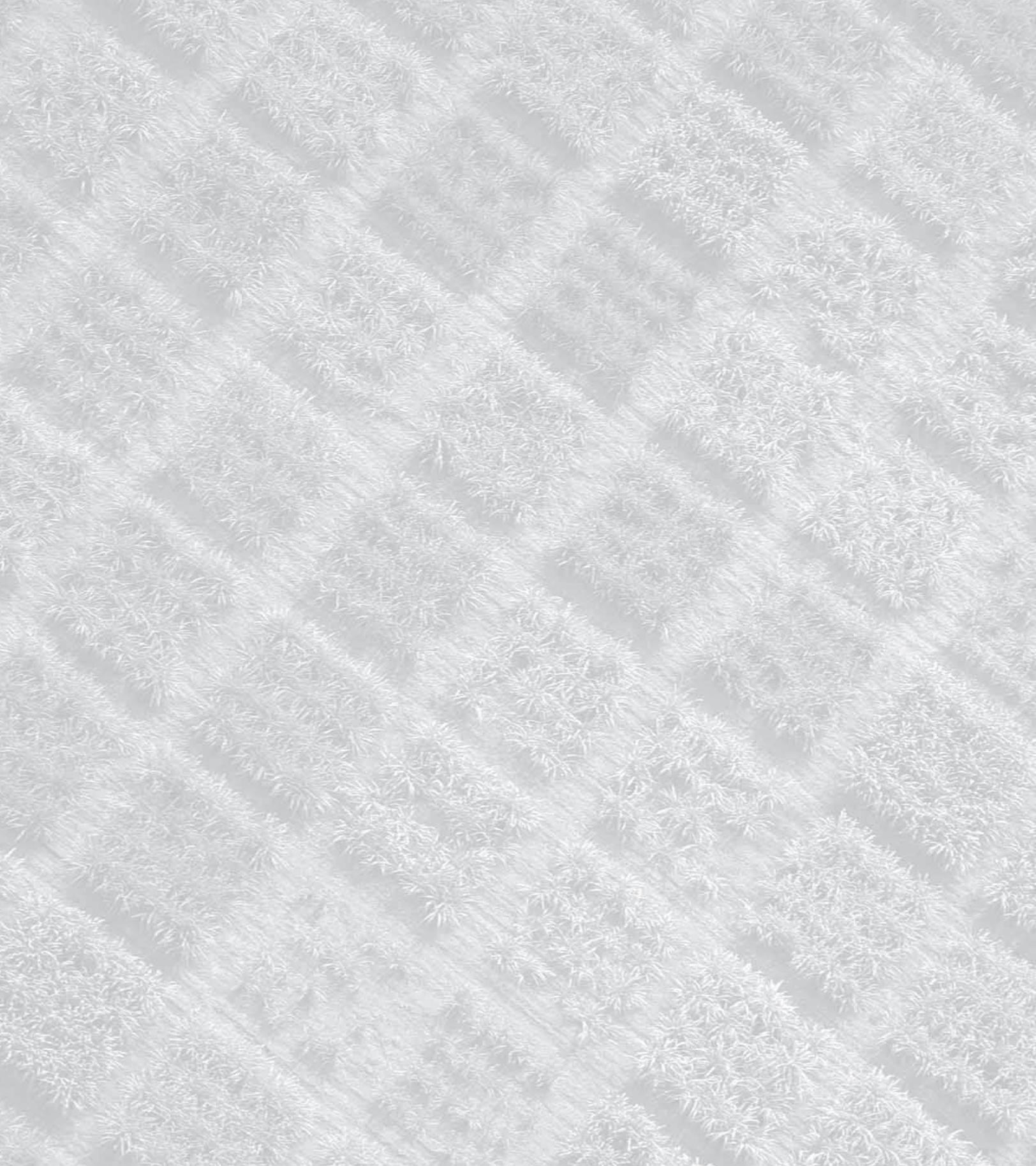


Figura 8 - Distribuição relativa dos recursos hídricos, da população e do território brasileiro (adaptado de dados do DNAEE, 1992 citado por UNIAGUA, 2007).

An aerial photograph of a sugarcane plantation. The rows of green sugarcane plants are planted in a grid pattern on reddish-brown soil. The perspective is from directly above, looking down at the field.

PERFIL DO SETOR SUCROENERGÉTICO



Detalhe de canteiros com espécies experimentais de cana em desenvolvimento no CTC.

3. Perfil do setor sucroenergético

André Elia Neto

3.1. Histórico

Na Antiguidade, o açúcar era uma especiaria exótica, sendo utilizada apenas como tempero ou remédio. A origem provável da cana-de-açúcar data de 6 mil anos a.C. em regiões próximas à Índia. O termo sânscrito “sarkara” deu origem a todas as versões da palavra açúcar nas línguas indo-europeias: “sukkar” em árabe, “saccharum” em latim, “zuccherò” em italiano, “seker” em turco, “zucker” em alemão, “sugar” em inglês (COPERSUCAR, 2006).

A cana foi introduzida na China por volta de 800 a.C. e o açúcar já era produzido em 400 a.C., porém só a partir de 700 d.C. começou a ser comercializado. No século 12, o açúcar chegou à Europa, havendo um grande interesse devido às novas bebidas, como o café, o chá e o chocolate serem adoçados com açúcar. Em 1493, Cristóvão Colombo iniciou o cultivo da cana-de-açúcar nas Antilhas e a partir daí, a história do açúcar no mundo ganhou novas dimensões.

As primeiras mudas chegaram ao Brasil em 1532, na expedição de Martim Afonso de Souza. No início da colonização brasileira, a cana-de-açúcar se espalhou, principalmente pelo Nordeste, por causa das condições climáticas propícias, da mão-de-obra africana e devido à maior proximidade com a Europa. A planta se espalhou devido ao solo fértil e clima tropical quente e úmido e com a utilização da mão-de-obra escrava vinda da África, a colônia brasileira enriqueceu Portugal com as atividades dos engenhos brasileiros ocorrendo o mesmo com o açúcar produzido na América Central, na colonização de franceses, espanhóis e ingleses, espalhando o açúcar por toda a Europa.

Para que a cultura prosperasse, foi necessária a criação de engenhos: as “fábricas” onde a cana virava açúcar. Essas instalações sustentaram a economia açucareira brasileira até o desenvolvimento de novas técnicas em colônias de países concorrentes. Com o surgi-

mento do açúcar de beterraba na Europa, iniciou-se o fim do “ciclo do açúcar” no Brasil, que conheceu uma fase de decadência iniciada no século XVIII até o final do século XIX.

Mesmo assim, a cana-de-açúcar continuou a ser cultivada em São Paulo por engenhocas de pinga e de rapadura e a fazer parte das tradicionais lavouras da capitania bandeirante. Foi com a vinda do Morgado de Matheus, 1765, que de novo a cultura da cana-de-açúcar foi incentivada no Estado de São Paulo, na região conhecida por quadrilátero do açúcar: Campinas, Itu, Capivari e Piracicaba.

Em plena revolução industrial, o uso do motor a vapor acionando as moendas construídas em aço, a evaporação múltiplo efeito, o cozedor ao vácuo e as centrífugas para separação do açúcar dão um enorme impulso a modernização da produção de açúcar. Estes equipamentos possibilitaram às novas indústrias, tanto de beterraba, como de cana, um novo patamar tecnológico de produção e eficiência, impossível de ser atingido pelos engenhos de açúcar de cana tradicionais, baseados em moendas de madeira movidas por animais ou rodas d’água, tachos de cozimento abertos, aquecidos a fogo direto e purga de méis por gravidade (JUNQUEIRA, 2006).

Enquanto as modernas fábricas se multiplicavam e novas regiões produtoras surgiam no mundo no Brasil os engenhos tradicionais ainda persistiam. O imperador do Brasil, D. Pedro II, um entusiasta das novas tecnologias, em 1857 elaborou um programa de modernização da produção de açúcar baseado em um novo conceito produtivo – os Engenhos Centrais, que deveriam somente moer a cana e processar o açúcar, ficando o cultivo de cana exclusivamente por conta dos fornecedores. Nessa época Cuba liderava a produção mundial de açúcar de cana com 25% do total e o açúcar de beterraba, produzido no Europa e EUA, significava 36% da produção mundial. O Brasil contribuía com apenas 5% de um total de 2.640.000 t de açúcar em 1874 (JUNQUEIRA, 2006).

Foram implantados 12 Engenhos Centrais dos 87 planejados. O primeiro deles, Quissamã, localizado na região de Campos, entrou em operação em 12/07/1877. No entanto o desconhecimento operacional dos novos equipamentos, a falta de interesse dos fornecedores, que preferiam produzir aguardente ou mesmo açúcar pelos velhos métodos, e outras causas, contribuíram para a derrocada do modelo proposto para os Engenhos Centrais, que em sua maioria, acabaram sendo arrematados pelos próprios fornecedores de equipamentos.

As novas indústrias assim constituídas também tinham canas próprias, tornando-as mais independentes de fornecedores. A essas novas unidades somaram-se outras, de iniciativa privada, tanto no Nordeste, que concentrava o grosso da produção brasileira, como em São Paulo. Essas novas unidades foram denominadas de "usinas de açúcar".

Na virada do século, com terras menos adequadas ao café, Piracicaba, que também já possuía em sua região três dos maiores Engenhos Centrais do estado e usinas de porte como a Ester, a Santa Bárbara e a Monte Alegre, rapidamente se tornou o maior centro produtor de açúcar de São Paulo. A partir da década de 1910, impulsionadas pelo crescimento da economia paulista, os engenhos de aguardente foram rapidamente se transformando em usinas de açúcar, dando origem aos grupos produtores mais tradicionais do estado na atualidade. Foi nessa época, que Pedro Morganti, juntamente com os irmãos Carbone e outros pequenos refinadores de açúcar formaram a Cia. União dos Refinadores, uma das primeiras refinarias de grande porte do Brasil.

Em 1920, o imigrante italiano Mário Dedini com experiência em usinas de açúcar, que originalmente viria trabalhar na Usina Amália, de Francisco Matarazzo, também um dos pioneiros da indústria paulista, acabou indo para a Usina Santa Bárbara. Fundou em Piracicaba uma oficina mecânica juntamente com Pedro Ometto, os "capitães da indústria paulista", iniciando a fabricação de peças e reforma de velhos engenhos, sendo responsáveis pela consolidação da indústria pesada voltada ao setor sucroenergético, entre as quais a Dedini Indústria de Base, que logo se

transformaria na primeira fábrica de equipamentos para a produção de açúcar no Brasil.

Porém as exportações foram prejudicadas com o "crash" da bolsa de Nova Iorque, em 1929, com a queda dos preços internacionais de açúcar. O governo de Getúlio Vargas incentivou o consumo de etanol combustível e tornou obrigatória a mistura de 5% de etanol na gasolina utilizada no País, em 1931, criando também o IAA – Instituto do Açúcar e do Etanol, com o objetivo de assegurar o equilíbrio do mercado. Neste período o crescimento da produção de etanol expandiu a cultura da cana-de-açúcar no Sudeste, especialmente em São Paulo, com o produto ganhando mais espaço na mistura carburante diante das dificuldades de importação de petróleo, na Segunda Guerra Mundial.

Em 1959 é fundada a Copersucar, uma cooperativa que congregava cerca de uma centena de usineiros paulistas, e que teve um papel fundamental na busca de novas tecnologias para o setor. Na agricultura a busca por novas variedades de cana mais produtivas e ao mesmo tempo mais resistentes às pragas e doenças, iniciada em 1926, por ocasião da infestação dos canaviais pelo mosaico, foi também intensificada. Entidades como a Copersucar, o IAC - Instituto Agrônomo de Campinas e o IAA - PLANALÇUCAR foram responsáveis por grandes avanços nesta área.

Outro marco no desenvolvimento tecnológico da agroindústria sucroalcooleira, com destaque mundial em pesquisa e desenvolvimento é o CTC - Centro de Tecnologia Canavieira (antigo Centro de Tecnologia Copersucar), criado em 1970, sendo responsável pelo desenvolvimento de uma grande parte das tecnologias hoje utilizadas nas usinas do país, incluindo a criação das variedades de cana-de-açúcar "SP" e "CTC", que hoje ocupam aproximadamente 50% dos canaviais brasileiros.

O apoio do governo à produção de etanol se intensificou com as duas crises internacionais do petróleo, em 1973 e 1979. O etanol chegou a superar o açúcar no "mix" de fabricação, de meados dos 1980 até a década de 90, se igualando atualmente com uma leve vantagem para a produção de etanol. A interferência estatal estava com os dias contados, e ao final dos anos 1990, o mercado estava livre, desde então, desenvolve sua autoregulação (UNICA, 2004).

3.2. Caracterização do setor

O setor sucroenergético está passando por um novo ciclo de crescimento desde meados de 1995, principalmente com o aumento da exportação de açúcar e com uma retomada do crescimento do consumo do etanol a partir de 2001, parte exportada e parte pela preferência do uso de etanol no carro bicomcombustível “flexfuel”. Na Figura 9 são apresentadas as evoluções

brasileiras das produções de cana, açúcar e etanol desde 1971 até o ano de 2007. Na safra de 2007/2008, conforme a UNICA (2009), a produção agroindustrial canavieira alcançou os patamares de 22,5 milhões de metros cúbicos de etanol, 30,8 milhões de toneladas de açúcar, com a moagem de 493 milhões de toneladas de cana em uma área plantada de 6,75 milhões de hectares avaliada pelo programa CANASAT (UNICA, 2009a).

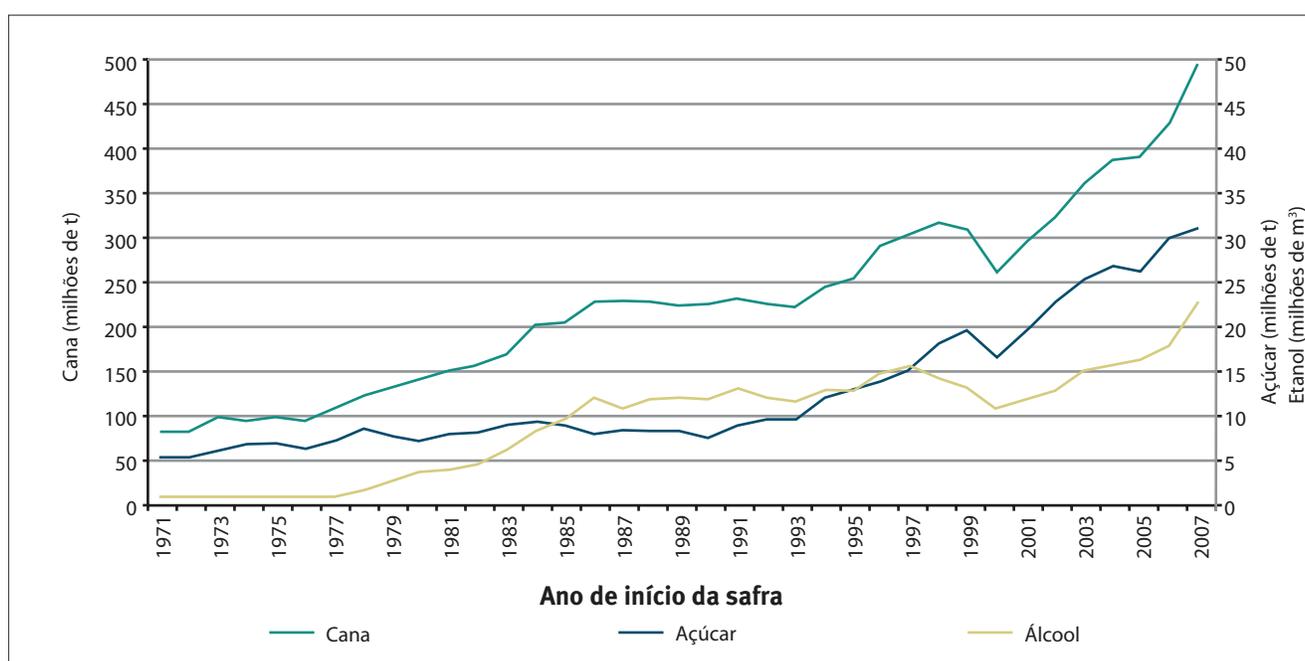


Figura 9 - Evolução da produção de cana, açúcar e etanol no Brasil de 1971 a 2007.

3.2.1. Cana-de-açúcar

Cultivada desde os primórdios da colonização do Brasil por volta de 1530, a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma planta semiperene, da família das gramíneas, originária da Índia, que permite cerca de cinco cortes por plantio. No Brasil, a agroindústria da cana-de-açúcar teve início pouco antes da invasão holandesa, em 1630, na região Nordeste. A partir de então, começou o desenvolvimento do cultivo da cana-de-açú-

car em toda a costa brasileira, estimulado por um clima favorável e solos de boa qualidade, encontrando condições favoráveis para se desenvolver no Brasil, sendo as principais exceções o Rio Grande do Sul e Santa Catarina, devido ao risco de incidência de geadas. Na região canavieira Centro-Sul e, mais especificamente, no estado de São Paulo, as variedades de cana estão divididas em três blocos: cana de ano e meio, cana de inverno e cana de ano.

- Cana de ano e meio: plantada entre fevereiro e maio, tem boa produtividade, com tempo de crescimento de 15 a 18 meses e variedades precoces, médias e tardias.
- Cana de inverno: plantada entre o final de maio a agosto/setembro, desenvolve-se no período de temperaturas mais baixas, podendo ser adotada quando há opção de irrigação. Seu período de ocupação da terra oscila, em média, de 12 a 14 meses.
- Cana de ano: plantada de setembro a novembro, no início das precipitações de primavera e exige solos mais férteis. As variedades precisam ficar prontas para a colheita do meio para o fim da safra. São necessários tratamentos culturais específicos na fase de desenvolvimento da planta, incluindo controle de pragas e de ervas daninhas.

No plantio, deve haver planejamento visando à colheita e ao processamento em todo o período da safra, de tal forma que se tenha o maior teor de sacarose da variedade plantada no momento da colheita, havendo também três agrupamentos de variedades com características diferentes de tempo de colheita. São plantadas em proporções adequadas (período de maturação ou período em que se perde menos sacarose), ou seja, cana precoce, cana média e cana tardia. Pode-se inclusive lançar mão de maturadores para que se colha a cana com o maior teor de sacarose possível fora do ciclo normal da variedade, normalmente antecipando em 45 dias a maturação da cana, para possibilitar a colheita com alto rendimento no início de safra, ou ainda retardando a maturação quando conveniente para o fim de safra. Sob o aspecto de maturação tem-se:

- Cana precoce: Grupo de variedade de cana em que se colhe no início da safra, pois há um razoável teor de sacarose nos primeiros meses de safra (maio e junho) não muito distante do ponto máximo de maturação que normalmente é em setembro.
- Cana média: Grupo de variedade de cana-de-açúcar em que se colhe no meio da safra, pois o ponto de maturação se dá de julho a setembro.
- Cana tardia: Grupo de variedade de cana para ser colhida no final da safra, pois amadurece tardia-

mente e mantém um bom teor de sacarose após o mês de setembro, sendo indicada para ser colhida em outubro e novembro.

Existem três programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil, o do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), com as variedades tipo IAC; o da Ridesa - Rede Interuniversitária do Desenvolvimento Sucroenergético, com a UFSCar como o maior promotor do desenvolvimento no Centro-Sul, programa herdado do antigo Planalsucar com as variedades RB (República do Brasil); e o do CTC, antigo Centro de Tecnologia Copersucar com as variedades SP (São Paulo) e atualmente, Centro de Tecnologia Canavieira com a continuação do programa passando as novas variedades a denominar-se CTC. Há também outro programa sendo iniciado pela empresa Canavialis/Monsanto, ainda sem lançamento de mercado e, outro programa na Usina da Barra com a variedade PO (Pedro Ometto), com menor expressão, atualmente paralisado.

3.2.2. Açúcar

O consumo anual per capita de açúcar dos brasileiros é de 52 kg, valor relativamente alto comparado à média mundial de 22 kg por habitante/ano. O produto é importante e eficaz complemento energético da alimentação sendo usado amplamente para consumo doméstico e na indústria alimentícia brasileira. No caso do consumo doméstico, o açúcar é um produto de demanda inelástica, ou seja, seu incremento se dará em função do crescimento vegetativo, da ordem de 1,1% ao ano. Já para o açúcar utilizado pelas indústrias, espera-se um incremento no consumo, sobretudo nas de refrigerantes, de chocolates, de alimentos e de sorvetes.

Das 30,8 milhões de toneladas de açúcar produzida no Brasil em 2008, pouco menos de 1/3 foi destinada ao mercado interno, exportando-se cerca de 2/3 da produção.

No mercado externo, mesmo com as barreiras protecionistas, a participação do Brasil no mercado livre de açúcar tem aumentado na última década. As perspectivas no médio prazo indicam que as exportações de

açúcar devem sofrer um acréscimo nos próximos anos, em face ao otimismo no setor pela queda de barreira na parcela do açúcar subsidiado da Europa que é voltada à exportação.

Em 2008 o mundo produziu 165 milhões de toneladas de açúcar (JORNAL DA CANA, 2008), distribuídas em 120 países, a maior parte a partir de cana-de-açúcar, aproximadamente 75%, enquanto 25% a

partir da beterraba. O Brasil participa com a maior parte da produção mundial, aproximadamente 18,5%. A Figura 10 apresenta a evolução da exportação de açúcar no Brasil desde 1997, verificando-se uma queda de crescimento em 2000, porém retomando a tendência de crescimento, chegando próximo a 20 milhões de toneladas por ano em 2008.

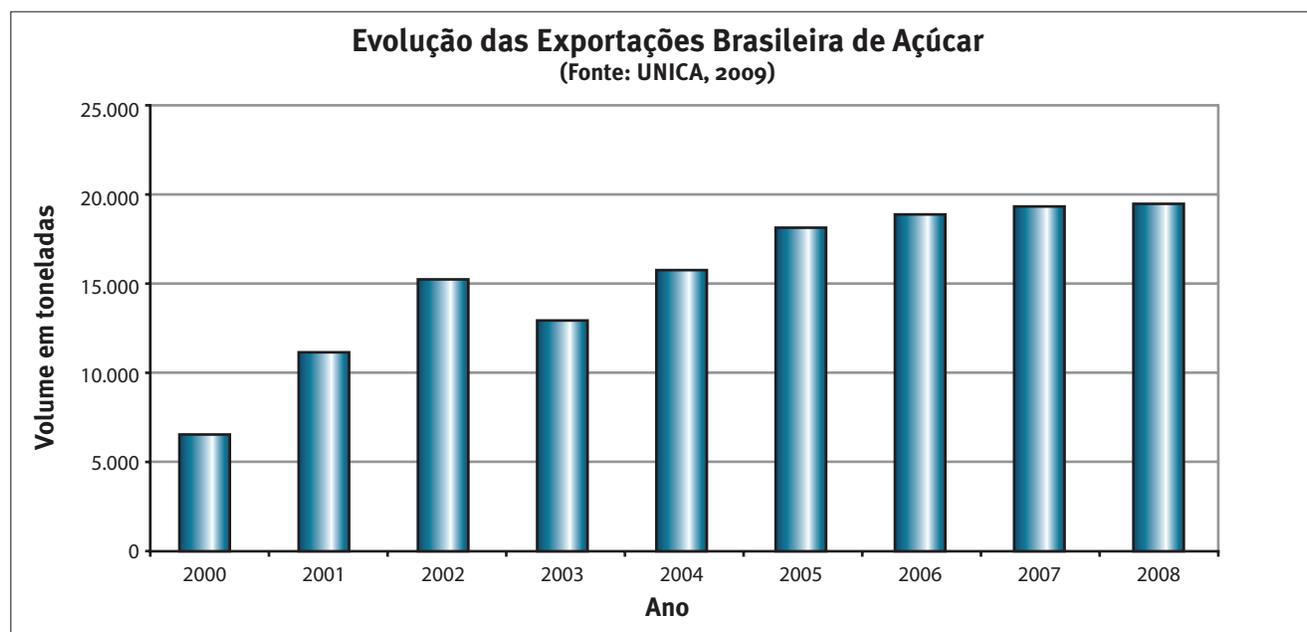


Figura 10 - Evolução da exportação de açúcar no Brasil a partir de 1996 (UNICA, 2009).

3.2.3. Etanol

A maior parte do etanol produzido no Brasil é de uso carburante automotivo, embora também o etanol seja utilizado nos setores industriais de bebida, químico, farmacêutico e de limpeza. Atualmente o combustível de cerca de 10 milhões de veículos que rodam no Brasil é o etanol hidratado, ou seja, cerca de um terço

da frota nacional; o anidro é misturado na proporção de 25% em toda a frota brasileira, de 29 milhões de veículos (UNICA, 2009), acumulada desde 1957 (somente veículos leves do ciclo Otto). O gráfico apresentado na Figura 11 mostra a evolução da fabricação de veículo "flexfuel", chegando a 2 milhões de veículos no ano de 2007 e a queda da fabricação dos veículos leves à gasolina, com apenas cerca de 200 mil unidades por ano.

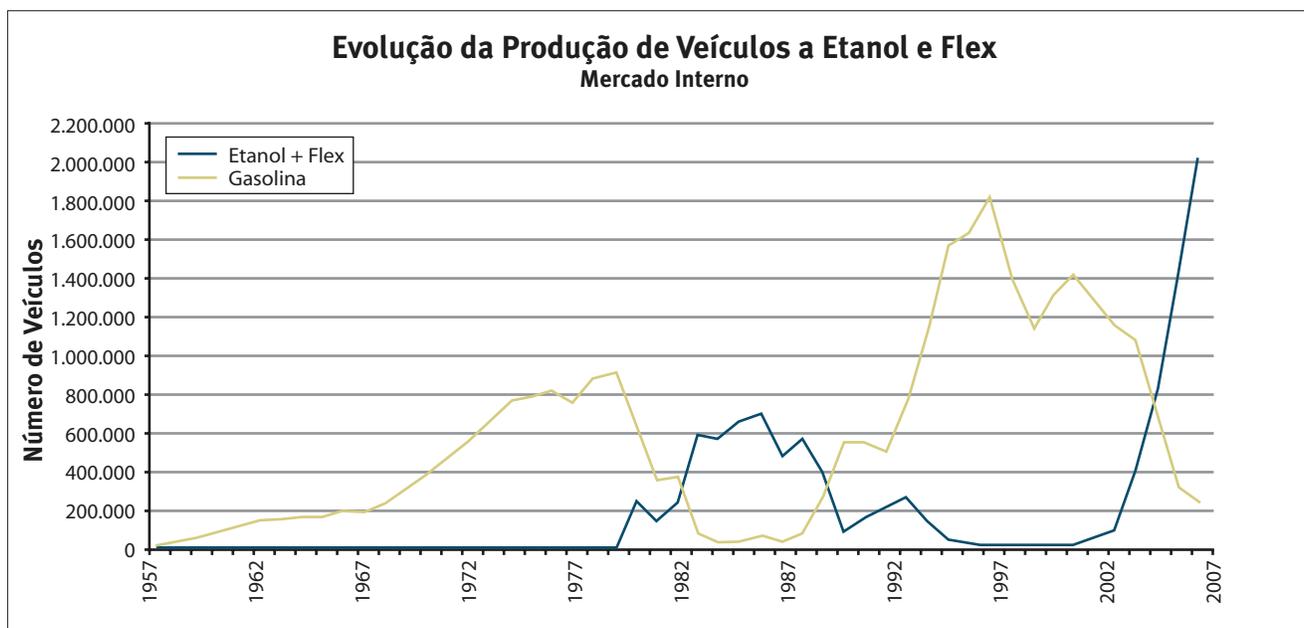


Figura 11 - Evolução anual da produção de veículo “flexfuel+etanol” e veículos leves a gasolina (UNICA, 2009).

O Brasil alcançou a produção de 22,5 milhões de metros cúbicos de etanol ao final da safra 2008/2009, sendo responsável por aproximadamente 28% da produção mundial, estimada em cerca de 79 milhões de metros cúbicos no ano de 2008 (LICHT, 2009), com cerca de 30 países produtores. Praticamente a metade da produção de etanol é originada do processamento da cana-de-açúcar e a outra parte de outras matérias primas, principalmente o milho.

A produção de etanol para exportação, que em 2008 representou 23% da produção no país, deverá crescer em ritmo acelerado à medida que outros países se dispuserem a aumentar a concentração de etanol na gasolina. A Figura 12 apresenta a evolução da exportação de etanol no Brasil.



Figura 12 - Evolução da exportação de etanol no Brasil (UNICA, 2009).

Tudo indica que, a médio e longo prazo, o Brasil passe a ser o maior exportador mundial de etanol, tanto de anidro, com maior valor agregado, quanto hidratado, comprado para transformar-se em anidro no exterior. A expectativa do setor, calcada na crescente demanda mundial de etanol devido as suas qualidades ambientais, bem como por ser produzido a partir de matéria-prima renovável, é de que o consumo chegará a 116 bilhões de litros em todo o mundo, com base na mistura de 10% de etanol na gasolina (RODRIGUES, 2006).

3.2.4. Cogeração de energia elétrica

A cana-de-açúcar é composta de 1/3 de caldo e 2/3 de biomassa formada por palha, ponteiro e bagaço. Do caldo já se fabrica o açúcar e o etanol. O restante representa um potencial de matéria-prima que começa a ser explorado, muito embora a maior parte do bagaço já seja utilizada como insumo energético para a indústria sucroenergética.

Na safra 2008/2009, o Brasil moeu 493 milhões de toneladas de cana-de-açúcar correspondentes a 86 milhões tep (tonelada equivalente de petróleo), conforme se resume na Tabela 2. Caso o aproveitamento da cana fosse total, o sistema de produção canavieiro teria um potencial de energia equivalente a 95% da energia atualmente ofertada pelo petróleo, ou seja, 90,125 milhões de tep, conforme apresentado no BEN-2007 (MME, 2009).

Tabela 2 - Energia nas partes da cana (adaptado de LAMÔNICA, 2006)

Cana-de-Açúcar	Energia [MJ]	Equiv. Petróleo
1 tonelada de cana (colmos)		
140 kg de sacarose	2.300	0.174 tep
280 kg de bagaço a 50 % de umidade (~140 kg MS)	2.500	
280 kg de palha a 50 % de umidade (~140 kg MS)	2.500	
Total	7.300	
Safra 08/09		
493 milhões de toneladas de cana ou	7.300 MJ/t cana	85,8 milhões tep, ou 617,3 milhões bep
6,75 milhões de hectares de cana plantada		

tep: tonelada equivalente de petróleo, unidade de medida de energia equivalente, por convenção = 10.000 Mcal, ou 41.868 MJ (1cal = 4,1868 Joule).

bep: barril equivalente de petróleo, unidade de medida de energia equivalente, por convenção = 1.390 Mcal, ou 5.819,7 MJ, ou 0,139 tep.

MJ: matéria seca.

Toda a energia necessária na fabricação de açúcar e etanol é proveniente da queima do bagaço em fornalhas que aquecem caldeiras, que geram vapor. Este fornece energia térmica (calor) ao processo e energia mecânica para a movimentação dos equipamentos⁴ e geradores de eletricidade, para consumo próprio e venda. A utilização do bagaço, considerado como aproveitamento de um resíduo, traz um importante diferencial na produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, pois a dependência de energia fóssil é mínima, mais voltada às operações agrícolas com o uso do diesel e, participações do petróleo na cadeia produtiva de insumos, materiais e equipamentos.

Em um balanço global realizado por MACEDO

(2005) e atualizado posteriormente conforme citado em publicação da UNICA (2008), a produção de etanol gera 9,3 mais energia do que a consumida (energia fóssil). Este significativo ganho energético é explicado pelo fato de se utilizar o bagaço para a produção da energia térmica e eletromecânica necessária, além de se ter uma sobra de bagaço para produção de energia elétrica em cogeração disponibilizada na rede. Para efeito de comparação o etanol produzido de trigo, beterraba e milho têm relações bem menores, respectivamente 2,2 e 1,4, conforme se visualiza na Figura 13, mostrando o pequeno ganho energético e a forte dependência destas cadeias de produções de etanol com a energia fóssil.

⁴ Turbinas e turbobombas.

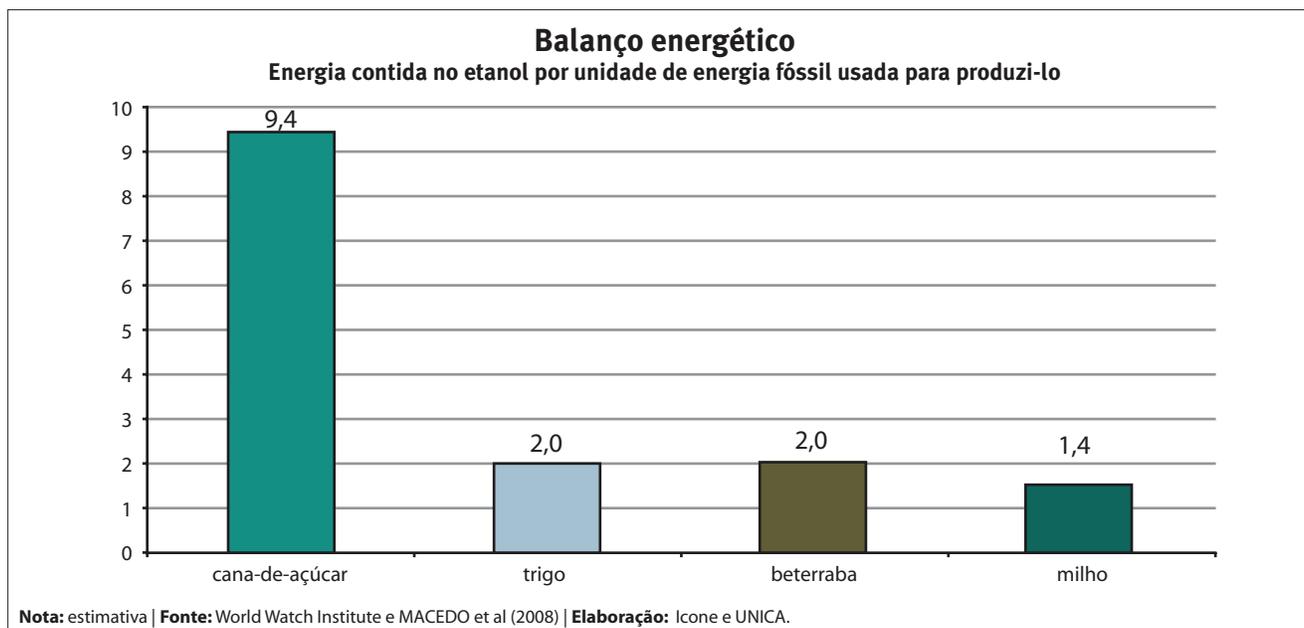


Figura 13 - Energia contida no etanol por unidade de energia fóssil consumida conforme a cadeia produtiva (UNICA, 2008).

As necessidades de energia nos níveis atuais de tecnologia são da ordem de 360 kWh/t cana, como é demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Autoconsumo de energia no processamento industrial da cana

Uso da Energia	Taxa de Utilização por Tonelada de Cana
Energia elétrica	12 kWh/t cana
Energia mecânica para acionamentos	16 kWh/t cana
Energia térmica	330 kWh/t cana

Fonte: MACEDO, 2005

A cogeração de energia elétrica já pode ser considerada como o terceiro produto canavieiro e incrementa mais a produtividade do setor na direção do aproveitamento integral da cana-de-açúcar.

Conforme a UNICA (2008), no início de 2008, as usinas de açúcar e etanol brasileiras apresentavam um potencial médio de geração de excedentes de energia equivalente a 1.800 Megawatts Médios (MWm), o que corresponde a apenas 3% das necessidades do Brasil. Com o aumento da utilização de biomassa da cana-de-açúcar e a implementação de caldeiras de alta eficiência, estimativas sugerem que até 2015 essa geração poderia aumentar para até 11.500 MW médios, ou 15% da demanda de energia elétrica do País.

3.2.5. Tendências do mercado

A cana de açúcar está iniciando um novo ciclo de negócios, o 3º grande salto, segundo RODRIGUES (2006). O setor sucroenergético está em fase de grande

expansão devido a três fatores de natureza diferentes, que ocorrem simultaneamente:

1. Atendimento ao mercado interno do etanol: crescente demanda de etanol, como sucesso comercial dos veículos “flexfuel”;
2. Atendimento ao mercado externo do etanol: crescente demanda de etanol devido às questões ambientais globais, ajudado pelas constantes crises de preço de petróleo e a necessidade de obtenção de segurança energética dos países; e
3. Atendimento a demanda externa de açúcar: devido à competitividade brasileira e à redução do subsídio à exportação de açúcar na União Européia.

A Tabela 4 resume as demandas projetadas para 2013 para o setor sucroenergético, levando a uma necessidade de matéria prima (cana-de-açúcar) para atendê-la, segundo RODRIGUES (2006), de 673 milhões de toneladas de cana, estimativas bem próximas aos 493 milhões de toneladas colhidas em 2008 no Brasil (UNICA, 2009a).

Tabela 4 - Demanda da produção do setor sucroenergético (RODRIGUES, 2006)

Produto	Projeção 2013
Açúcar	
Mercado interno	12,82 bilhões de toneladas
Mercado externo	27,00 bilhões de toneladas
Total	39,82 bilhões de toneladas
Etanol	
Mercado interno	24,95 bilhões de litros
Mercado externo	5,90 bilhões de litros
Total	30,95 bilhões de litros
Cana-de-açúcar (c/ 143,4 kg de ATR/t cana)	673 milhões de toneladas

3.2.6. Distribuição geográfica do setor

No Brasil, distinguem-se duas regiões canaveiras: a Norte-Nordeste, com aproximadamente 12% da produção nacional, e a Centro-Sul, com os restantes 88%, na safra de 2007/2008, cabendo a observação de que a região canaveira Norte-Nordeste, há cerca de duas décadas passadas, participava com aproximadamente 25% da produção brasileira de cana.

A maior peculiaridade entre as duas regiões ca-

navieiras é a safra em período distinto devido à diferente condição climática. Enquanto na região canaveira Centro-Sul, a safra ocorre de abril a dezembro, na região Norte-Nordeste a safra começa em setembro do mesmo ano finalizando em março do ano seguinte. Em ambos os períodos ocorre a seca necessária para a maturação da cana e para criação de condições favoráveis para a colheita.

Na Figura 14, a partir de dados da UNICA (2009) apresentam-se as evoluções das colheitas de cana em ambas as regiões canaveiras, percebendo-se a participação relativa entre elas na produção brasileira.

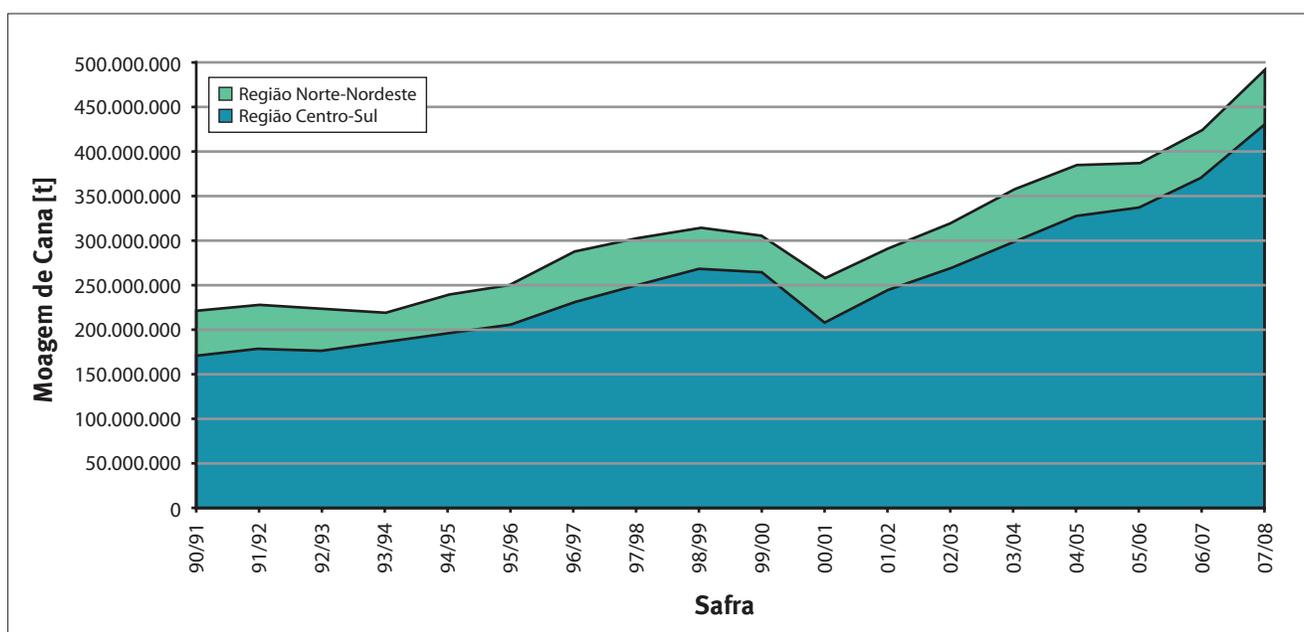


Figura 14 - Evolução da colheita da cana e participação relativa das regiões canaveiras Norte-Nordeste e Centro-Sul (UNICA, 2009).

Já a distribuição da produção nacional da cana de acordo com as Regiões administrativas brasileiras é apresentada na Tabela 5, de acordo com dados da

UNICA (2008a), mostrando a grande concentração da produção no Sudeste, com 68,9% da produção nacional de cana.

Tabela 5 - Distribuição percentual da produção de cana nas regiões brasileiras

Regiões Brasileiras	% da Produção
Norte	0,2
Sul	8,2
Centro-Oeste	10,3
Nordeste	12,4
Sudeste	68,9

(Fonte: UNICA, 2008a)

Enquanto na região canavieira Centro-Sul há 281 unidades (UNICA, 2009), na Norte-Nordeste contam-se 75 unidades. Considerando-se a produção de cana regionalizada da safra 2007/2008, a capacidade média de produção das unidades do Norte-Nordeste é de aproximadamente 815 mil toneladas por ano, enquanto no Centro-Sul esta capacidade é quase o dobro, aproximadamente 1.540 mil toneladas por ano.

No mapa das bacias hidrográficas brasileiras, apresentado na Figura 15, elaborado pelo CTC especialmente para este manual, pode-se visualizar a distribuição geográfica das aproximadamente 356 unidades

produtoras sucroenergéticas do país. A maioria destas unidades se concentra na bacia hidrográfica do Rio Paraná, mostrando que nesta bacia há grande uso de água pelo setor sucroalcooleiro, dentro das demandas totais do setor industrial, por se tratar da região com maior desenvolvimento econômico do país.

Outro mapa interessante elaborado pelo CTC especialmente para este manual é o apresentado na Figura 16, podendo-se visualizar a distribuição geográfica das 196 unidades produtoras sucroenergéticas paulistas em funcionamento por Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH).

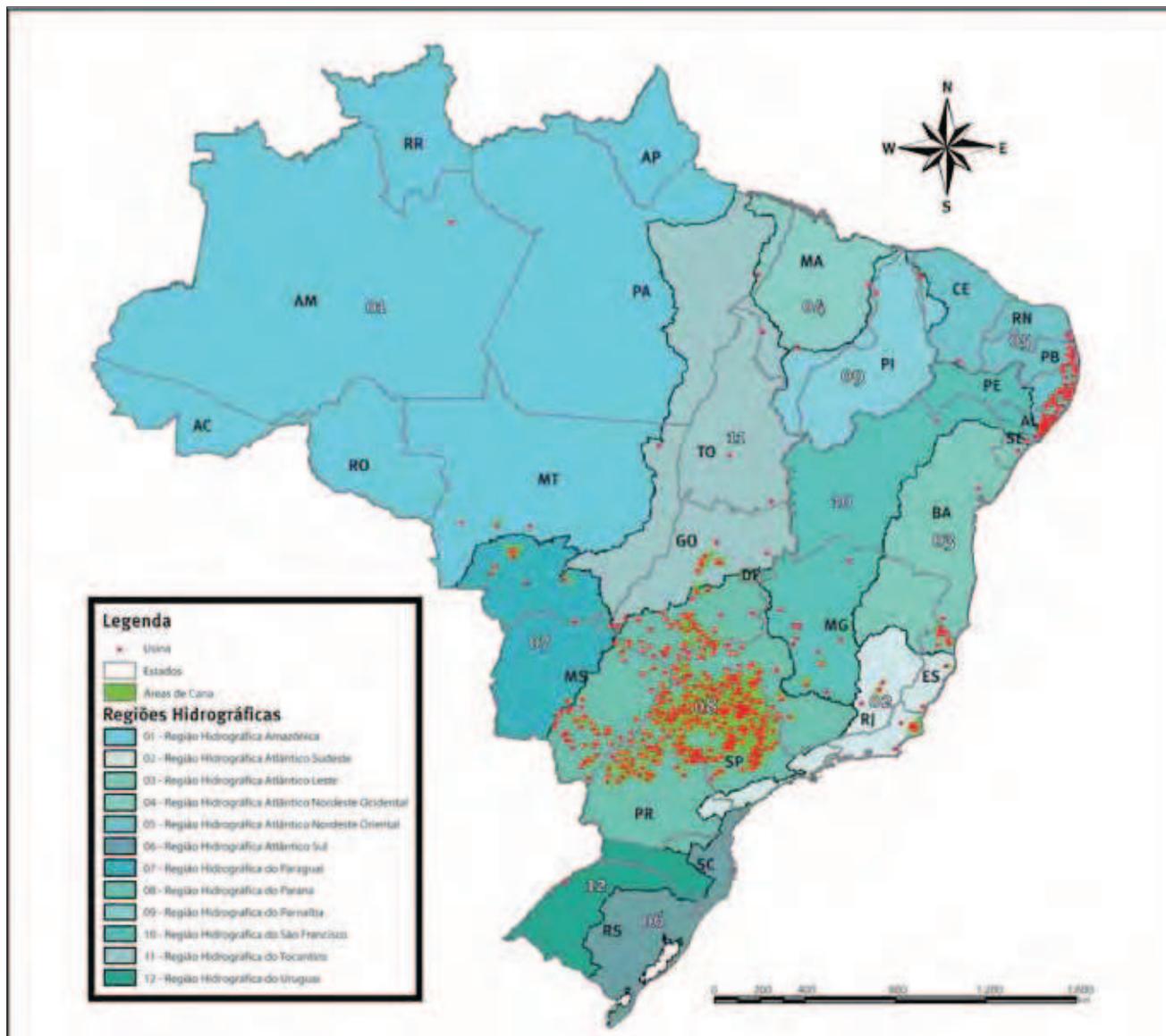


Figura 15 - Distribuição geográfica das usinas e destilarias conforme as bacias hidrográficas da federação (Fonte CTC).

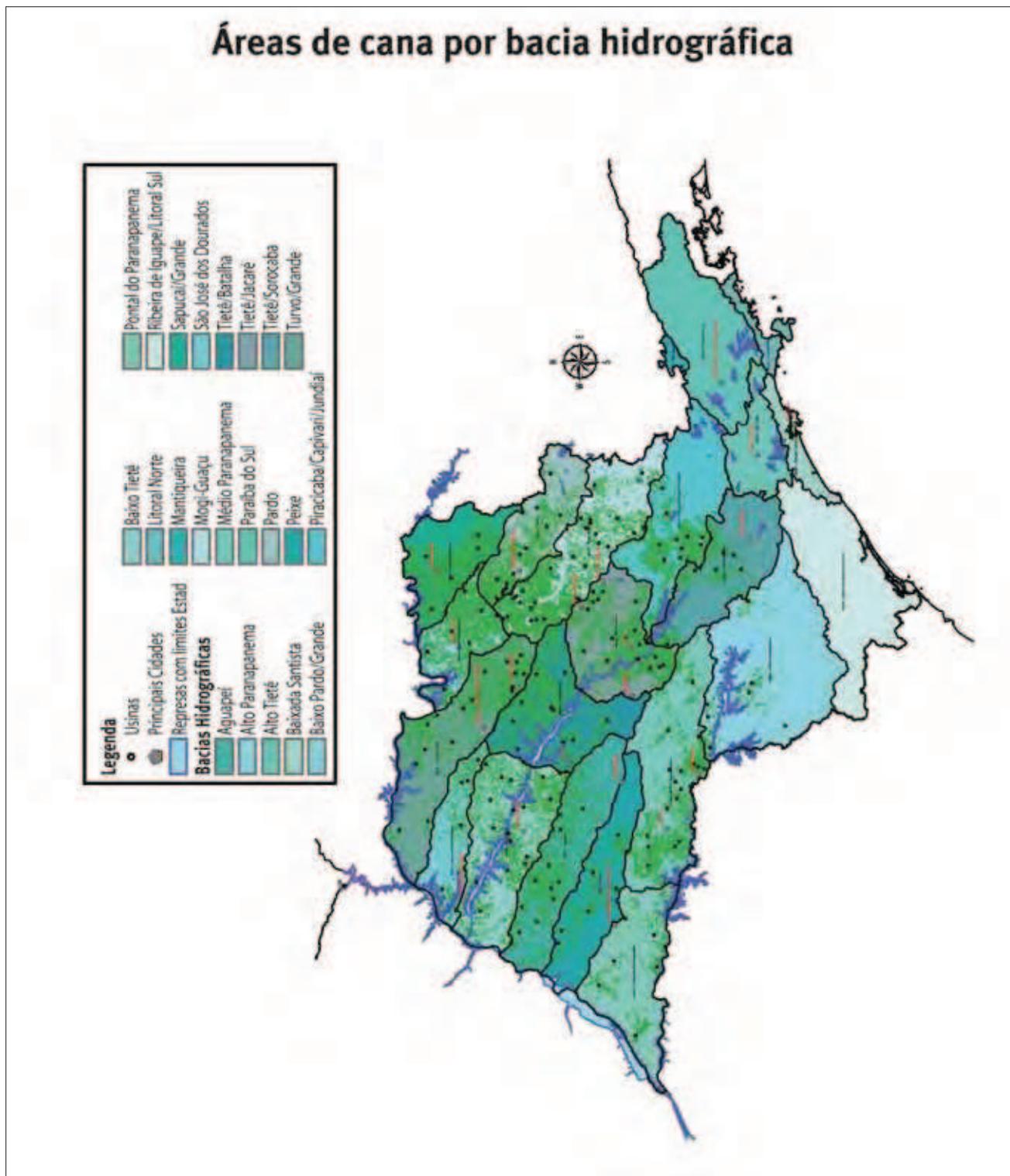


Figura 16 - Distribuição geográfica das usinas e destilarias conforme as UGRHIs do Estado de São Paulo (elaborado pelo CTC em 2009).

Na Tabela 6 relacionam-se as áreas de cana e unidades industriais instaladas e funcionando nas UGRH's, comparando-se a ocupação territorial da cana plantada que em média foi de 22,1%. Observa-se que relativamente a UGRH do Baixo Pardo Grande é a mais densamente cultivada com cana, com 55,1% do seu território, e que a maior concentração de usinas é

na UGRH do Rio Mogi Guaçu, com 30 usinas (15% das unidades do estado).

Este mapeamento de usinas, por UGRH's no Estado de São Paulo e por bacias hidrográficas federais, permitirá detalhar futuros estudos de demanda e oferta e a influência do setor na questão dos usos dos recursos hídricos.

Tabela 6 - Áreas de canas e unidades industriais sucroenergéticas em funcionamento no Estado de São Paulo na safra 2008/2009 e suas influências territoriais nas UGRH's.

UGRH		Nº de Usinas		Área de Cana		Ocupação
Nome	Área [ha]	Unid.	[%]	[ha]	[%]	[%]
Aguapeí	2.559.700	11	5,6	305.677,42	6,3	11,9
Alto Paranapanema	2.273.000	7	3,6	66.042,06	1,4	2,9
Baixo Pardo/Grande	703.000	8	4,1	387.174,76	8,0	55,1
Baixo Tietê	1.534.700	18	9,2	423.525,78	8,7	27,6
Mogi Guaçu	1.465.300	30	15,3	577.510,56	11,9	39,4
Médio Paranapanema	1.676.300	17	8,7	382.360,80	7,9	22,8
Pardo	881.800	14	7,1	29.7672,29	6,1	33,8
Peixe	1.239.300	7	3,6	136.992,69	2,8	11,1
Piracicaba/Capivari/Jundiaí	1.520.500	10	5,1	265.808,87	5,5	17,5
Pontal do Paranapanema	1.183.800	6	3,1	129.802,23	2,7	11,0
Sapucai/Grande	907.700	7	3,6	348.270,40	7,2	38,4
São José dos Dourados	682.500	6	3,1	103.796,51	2,1	15,2
Tietê/Batalha	1.339.400	12	6,1	389.174,62	8,0	29,1
Tietê/Jacaré	1.153.700	20	10,2	477.009,54	9,8	41,3
Tietê/Sorocaba	1.209.900	6	3,1	144.436,35	3,0	11,9
Turvo/Grande	1.597.500	17	8,7	414.789,03	8,6	26,0
Total	21.928.100	196	100	4.850.043,92	100,0	22,1



PROCESSO AGROINDUSTRIAL



Avanços tecnológicos demandam a constante renovação dos equipamentos nas usinas.

4. Processo agroindustrial

André Elia Neto
Alberto Shintaku
Jorge Luis Donzelli

Neste capítulo se abordará de forma sucinta as etapas do processamento agroindustrial desde a produção de cana até a fabricação dos produtos principais, açúcar e etanol, passando pelos processos de alguns co-produtos como levedura seca e a produção de energia elétrica a partir da combustão do bagaço de cana.

4.1. Produção da cana-de-açúcar

4.1.1. Planejamento, preparo do solo e adubação

O planejamento do plantio deve ser realizado pelo menos um ano antes do início da moagem, devendo contemplar a escolha dos componentes da produção, como variedades adequadas ao ambiente de produção, adubos, defensivos, máquinas, e serviços; o custo de sua implantação e a adoção de um cronograma físico-financeiro.

Primeiramente, tem-se o preparo do solo, considerando as eventuais limitações, como compactação, falta de nutrientes, pragas e ervas daninhas perenes, que precisam ser eliminadas. Quando houver condições adequadas, pode-se adotar o plantio direto, que reduz o risco de erosão. Hoje o manejo da palha da cana sobre o solo é uma necessidade, por prevenir o início da erosão e contribuir para o processo de conservação do solo.

O plantio da cana dependerá das condições de solo, clima e variedades para que se obtenha a maior produtividade possível. Na época do plantio a cana depende da umidade do solo, resultado das chuvas ou da irrigação; e da temperatura média da terra, que não deve ser inferior a 20°C, o que poderia prejudicar a germinação.

- Preparo do solo

Nessa fase, são aplicados corretivos de fertilidade, como calcário, gesso e fosfato, seguindo-se da aração no caso da opção pelo plantio convencional e das medidas necessárias para evitar a erosão do solo.

- Gradagem do solo:

Objetiva erradicar as soqueiras da cana ou pastagens, eliminar a compactação superficial do solo, melhorar a aeração e infiltração de água, sendo esta operação realizada com uma grade aradora com 16 a 20 discos de 30" ou 32". Como opção a esta operação, pode-se utilizar o destruidor mecânico de soqueiras ou realizar o preparo de solo reduzido, com aplicação de herbicida para a eliminação das soqueiras.

- Terraceamento:

Nesta operação é realizada a manutenção dos terraços existentes ou a construção de novos, quando necessário. Há dois tipos principais: "base larga" ou "embutido", funcionando como uma barreira para o livre fluxo superficial da água e combatendo a erosão. São demarcados em nível, usando-se vários equipamentos como terraceador e tratores de esteira com lâmina dianteira.

- Correção do solo:

A aplicação de calcário como corretivo do solo presta-se à adequação do pH do solo, com a vantagem de funcionar como fonte de cálcio e magnésio para a cana. Sua distribuição é feita superficialmente, com aplicadores espalhadores apropriados, sendo posteriormente incorporado mecanicamente ao solo. Pode-se acrescentar o uso do gesso como fonte de cálcio e enxofre.

- Aração ou subsolagem:

A descompactação total do solo se faz através do uso de subsoladores equipados com hastes que atingem uma profundidade de até 50 cm ou com arado de "aiveca", quando a subsolagem

não permite uma boa descompactação do solo devido a sua alta umidade. Com esta operação, elimina-se qualquer compactação do solo, melhorando a capacidade de infiltração e retenção de água e criando um ambiente propício ao desenvolvimento e formação das raízes das plantas.

- Gradagem de nivelamento:

Objetiva nivelar o terreno e eliminar os torrões do solo, decorrente da subsolagem ou da aração. A gradagem de nivelamento é realizada com uma grade de 20 discos de 26", finalizando o preparo do solo para o plantio de cana ou da cultura em rotação. Recomenda-se a utilização criteriosa desta operação, pois pode-se compactar novamente o solo após a subsolagem.

• Adubação

Visa à recomposição da fertilidade do solo, necessária para o bom desenvolvimento da cana planta e da cana-soca. Na adubação da cana-de-açúcar são aplicados macro e micronutrientes, além dos fertilizantes orgânicos oriundos do processo industrial, como a vinhaça, a torta e a fuligem, que os contém em sua composição.

- Adubação nos sulcos para o plantio de cana:

Nesta operação são abertos sulcos em torno de 30 cm de profundidade onde é aplicado o fertilizante recomendado com base no resultado da análise química do solo. O implemento utilizado é o sulcador-adubador com bico tipo "beija-flor".

- Aplicação da torta de filtro:

A torta de filtro, misturada ou não com fuligem, compostada ou não, é transportada para as áreas de reforma do canavial e aplicada nos sulcos de plantio. Normalmente é também utilizada na cana soca após o terceiro corte, com o objetivo de melhorar a fertilidade do solo. Tratores com carretas realizam a aplicação diretamente no sulco de plantio, sendo a dosagem utilizada de até 15 toneladas de composto, em peso seco, por hectare.

- Aplicação de fertilizantes minerais:

A recomendação da adubação mineral para a cultura da cana-de-açúcar também é feita com base nas análises químicas do solo. As matérias-primas (adubos simples) mais utilizadas nas formulações são:

a) Fertilizantes Nitrogenados:

Uréia:

É o produto com maior concentração nitrogenada disponível (45 a 46% de N). O nitrogênio da uréia está todo na forma orgânica e quando é aplicada ao solo, no fundo do sulco de plantio, o nitrogênio passa rapidamente para a forma amoniacal, não havendo, portanto, perdas por lixiviação do íon positivo NH_4^+ uma vez que ocorre a sua retenção pelas partículas da argila. O nitrogênio da forma amoniacal é nitrificado (NO_3^-), sendo também nesta forma absorvido pela planta.

Nitrato de amônio:

Também é bastante utilizado nas formulações devido o seu alto teor de nitrogênio (31 a 34% de N). O nitrato de amônio é um fertilizante totalmente solúvel em água, contendo nitrogênio em iguais proporções nas formas nítrica e amoniacal, sendo prontamente assimilável pela plantas.

b) Fertilizantes Fosfatados:

Fosfato de amônio:

O monoamônio fosfato (MAP) e o diamônio fosfato (DAP) são os mais populares fertilizantes fosfatados para cana-de-açúcar, devido aos seus altos conteúdos em nutrientes. O MAP tem 11% de N e 50% de P_2O_5 e o DAP tem 18% de N e 46% de P_2O_5 .

Superfosfatos:

O superfosfato simples é obtido pela reação de fosfato natural moído com ácido sulfúrico e contém 18% de P_2O_5 , além de cálcio (18 a 20% Ca) e enxofre (10 a 12% de S). O superfosfato triplo, que é produzido com o uso de ácido fosfórico em vez de ácido sulfúrico, possui uma concentração mínima de 41% de P_2O_5 , contendo também 12 a 14% de cálcio.

c) Fertilizantes Potássicos

Cloreto de potássio:

O cloreto de potássio é a maior fonte de potássio para a formulação de fertilizantes. A ocorrência em diversas reservas, a facilidade de seu processamento e seu elevado teor de potássio, permitem

sua distribuição econômica na maior parte do mundo. Apresenta concentração de 58 a 60% de K_2O .

- Formulações NPK:

A Tabela 7 apresenta as fórmulas NPK mais utilizadas para os ciclos de cana planta e cana soca.

Tabela 7 - Fórmulas NPK para os ciclos de cana planta e cana soca

Estágio da Cana	Recomendação CTC* (kg/ha)			Fórmula N - P ₂ O ₅ - K ₂ O***			Relação N - P ₂ O ₅ - K ₂ O		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O						
Planta	30 a 60	60 a 120	0 a 140	10	20	20	1	2	2
Soca em vinhaça**	0 a 100	0	0	32	00	03	10	-	1
Soca	100 a 120	0 a 30	0 a 130	20	05	20	4	1	4
Planta em vinhaça**	0	60 a 120	0 a 140	00	18	00	-	1	-

* Recomendação de adubação do CTC para cana-de-açúcar em função dos teores de nutrientes do solo. Fonte: FARONI et al., 2008.

** Valores dependentes da dose de vinhaça aplicada e dos teores de nutrientes nela contidos.

*** Exemplos de fórmulas comerciais.

4.1.2. Plantio, uso de defensivos, fertirrigação, tratos culturais e rotação de cultura

No plantio é escolhida a variedade de cana a ser plantada no local conforme o planejamento por ambiente de produção. O plantio pode ser manual envolvendo uma grande quantidade de mão de obra ou mecanizado com máquinas especiais que vêm sendo desenvolvidas.

- Viveiro de muda de cana-de-açúcar

Os viveiros de cana utilizados para muda são plantados no ano anterior à sua utilização, de acordo com planejamento prévio da época de plantio, da variedade de cana a ser plantada e do tipo de solo, entre outros fatores. Prioriza-se a utilização de cana-planta com idade entre 7 e 11 meses, livre de doenças e pragas e com gemas saudáveis para o sucesso da germinação.

Os cuidados fitossanitários no campo iniciam-se a partir de 4 a 6 meses após o plantio dos viveiros, realizando-se visitas com o intuito de inspecionar e verificar a presença de doenças e eventuais misturas varietais. As principais doenças monitoradas e controladas são: carvão, mosaico, escaldadura e ferrugem. Em caso positivo, retira-se a cana dos viveiros e havendo índice de infestação considerado alto, não se faz a multiplicação. Os viveiros normalmente são utilizados para um plantio, tornando-se após esse período área comercial, ou seja, a cana ali produzida é destinada para a indústria. Por se tratar muitas vezes de material ainda em expansão, os viveiros são utilizados até dois plantios (soqueira de muda).

- Plantio manual

As mudas oriundas do corte manual são transportadas por caminhões, com capacidade de 12 toneladas, até o local de plantio, onde há descarregamento manual e distribuição no sulco de plantio. Na distribuição das mudas, o caminhão

entra no talhão de cana em local previamente demarcado, chamado de banqueteta. Nesse espaço não é feita a sulcação inicial para facilitar a locomoção do veículo no talhão. A distribuição, colocação da muda no sulco de plantio e picação da muda são feitas por uma equipe composta por cerca de 20 pessoas.

Após a passagem do caminhão na banqueteta, sulca-se a área para que receba a muda previamente depositada na entrelinha ao lado. Cada membro de uma equipe tem sua função (distribuição no caminhão, colocação de muda no sulco de plantio e picação da muda com facão). Após a distribuição da muda é realizado o fechamento do sulco de plantio com colocação de terra sobre a muda, operação feita mecanicamente com um trator de pequeno porte e implemento denominado cobridor. Dependendo da variedade e da época do ano, devem ser plantadas de 12 a 16 gemas por metro, para evitar falhas no canavial.

- **Plantio mecanizado**

É utilizada uma máquina especialmente desenvolvida, que recebe as mudas de cana do viveiro colhidas mecanicamente por estrutura de colheita adaptada com kit de emborrachamento para não danificar as gemas. A plantadora abre o sulco, dosa o adubo, distribui os toletes com 3 gemas (de 20 a 25 gemas por metro linear), aplica o defensivo agrícola (fungicida) e finaliza com o cobrimento das mudas. Para correção de falhas, pode-se utilizar o recobrimento manual com enxada.

- **Fertirrigação**

A fertirrigação é realizada nas áreas mais próximas da usina, que são sistematizadas para receber a vinhaça e as águas residuárias. É realizada em áreas de cana planta ou soqueiras de cana através da aspersão dos resíduos e efluentes industriais com o objetivo de fornecer a quantidade adequada de potássio, em média 185 kg/ha de K_2O , ou mesmo aumentar a concentração do potássio no

solo em até 5% da CTC (Capacidade de Troca Catiônica), conforme é preconizado pela Norma CETESB P4.231.

- **Defensivos agrícolas e controle biológico**

Visando ao controle de pragas e ervas invasoras da lavoura da cana, utilizam-se agroquímicos, em algumas situações, e controle biológico, em outras.

- Controle de plantas invasoras:

Para controlar as plantas invasoras são utilizados herbicidas aplicados através de pulverizadores acoplados a tratores. Esta operação é acompanhada por técnico responsável e por tratoristas devidamente treinados, sendo seguidas normas de segurança, tais como: utilização de EPI e verificação de condições climáticas ideais para aplicação do produto.

A recomendação do herbicida é feita através de uma análise técnica, na qual se estabelece a necessidade de cada produto, de acordo com o índice de infestação da erva daninha de cada área. Normalmente, são utilizados herbicidas da classe toxicológica III e IV, com uma grande gama de princípios ativos como: ametrina, clomazone, diuron, glifosato, hexazinona, isoxaflutole, metribuzin, tebuthiuron e sulfentrazone, selecionados de acordo com o tipo de planta (folhas largas ou folhas estreitas), ou do tipo de situação (pré ou pós emergente), tanto em cana soca como em cana planta.

- Controle de pragas da cana de açúcar:

As pragas que ocorrem nas lavouras canavieiras apresentam importância em função dos danos que causam aos colmos, perfilhos, folhas, sistema radicular e base de colmos, desde a implantação até a reforma, ocorrendo, em geral, maior infestação nos canaviais com maior número de cortes (ALMEIDA et al., 2005). A Tabela 8 resume os tipos de praga e controle.

Tabela 8 - Controle de pragas na cana-de-açúcar (resumido de ALMEIDA et al., 2005)

Praga	Tipo de controle	Procedimento
Broca da cana-de-açúcar (<i>Diatraea saccharalis</i>)	Controle biológico	Liberação de vespas de <i>Cotésia flavipes</i> (2 adultos para cada broca apta encontrada no campo)
Lagartas desfolhadoras	Sem controle	Normalmente, não é recomendado o controle (o dano já foi causado e as perdas são insignificantes)
Cigarrinha das raízes ⁽¹⁾ (<i>Mahanarva fimbriolata</i>)	Controle biológico	<i>Fungo Metarhizium anisopliae</i> na dose de 1 kg de composto (fungo+arroz) por hectare
Cigarrinha das folhas ⁽²⁾ (<i>Mahanarva posticata</i>)		
Formigas cortadeiras	Inseticidas	Isclas tóxicas com baixas concentrações em substâncias atrativas (bagaço, óleo de soja e casca de amendoim) ou por termonebulização
Besouro migdolus (<i>Migdolus fryanus</i>)	Inseticidas	Aplicação em áreas infestadas no sulco de plantio sobre a muda de cana já distribuída.
Sphenophorus ou besouro bicudo da cana-de-açúcar (<i>Sphenophorus levis</i>)	Mecânico	Destruição antecipada das soqueiras nas áreas infestadas, destinadas à reforma.
Cupins e outras pragas de solo	Inseticidas	Aplicado em áreas infestadas no plantio, conforme avaliação prévia
Broca gigante ou catnia ⁽³⁾ (<i>Castnia licus</i>)	Mecânico	Retirada dos rizomas infestados e catação das larvas

(1) Praga de importância em São Paulo e regiões limítrofes

(2) Praga de importância no Nordeste

(3) Praga de importância no Nordeste, porém com ocorrência detectada em São Paulo

- Tratos culturais das soqueiras de cana-de-açúcar
Esta operação consiste na realização simultânea da escarificação e aplicação e incorporação do adubo na entrelinha da cana-de-açúcar. Para aplicação de herbicida nas soqueiras de cana-de-açúcar são utilizados tratores com pulverizadores acoplados. Esta operação é realizada de 10 a 30 dias após o corte da cana, seguindo os mesmos critérios técnicos de segurança e de acompanhamento descritos na aplicação de herbicida da cana planta.
- Rotação de cultura e adubação verde
Na reforma do canavial, que ocorre em média a cada 4 anos, pratica-se a rotação de cultura ou a adubação verde. O objetivo é alternar o ciclo da

cana com outras culturas, normalmente com leguminosas, como amendoim e soja, ou com a adubação verde, com crotalaria juncea ou mucuna preta, visando-se à melhoria das características físicas e biológicas do solo. A rotação de cultura quebra o ciclo de algumas pragas e doenças, fixa nitrogênio no solo e incorpora matéria orgânica ao mesmo. Com esta prática, além dos benefícios agrônômicos, têm-se benefícios ambientais, com a conservação do solo propiciada pela manutenção da cobertura no solo em tempo de chuva, e benefícios econômicos, com a receita decorrente da produção de grãos.

4.1.3. Colheita da cana

Etapa que envolve a colheita, carregamento e transporte da cana para a indústria. A colheita da cana-de-açúcar pode ser manual ou mecânica, de acordo com a topografia da plantação e dos recursos disponíveis para se investir no maquinário, e em atendimento à legislação através do PEQ (Programa de Eliminação da Queimada da Cana).

- Controle de maturação

A maturação da cana é um processo fisiológico, dependente de vários fatores, como o estresse hídrico ou de temperatura, que necessita de controle adequado para proporcionar a obtenção do teor máximo potencial de sacarose, das diversas variedades de cana cultivadas.

A liberação do talhão de cana para a colheita é realizada mediante amostragens de cana coletadas no campo, que são encaminhadas para o laboratório, onde são submetidas a uma análise tecnológica (teor de sacarose). Quando se quer adiantar ou retardar o processo natural de maturação da cana, lança-se mão do artifício de pulverização do canavial com maturadores químicos.

- Queimada da cana

A operação de despalha de cana a fogo tem por objetivo facilitar o corte, de maneira a aumentar a produtividade do trabalhador, diminuir os riscos de acidentes e otimizar o transporte. A queimada da palha é regularizada de acordo com cada unidade e sua localização, sendo prática em processo gradativo de eliminação na lavoura canavieira.

- Colheita Mecanizada

A colheita mecanizada deve ser realizada em terrenos com menos de 12% de declive, com colheitadeiras dotadas de dois extratores de palha. A regulagem ou desligamento de um dos extratores determina a quantidade de palha que ficará no

campo e a que será transportada para a indústria, cujo aproveitamento energético já é uma realidade em algumas usinas. Os maiores atrativos deste novo sistema de colheita são os benefícios ambientais, como: a cobertura do solo com a palha, aumentando a sua proteção contra os agentes erosivos; a própria eliminação da queimada, com os efeitos positivos na qualidade do ar; e, a produção de energia extra a partir da biomassa, mitigando o efeito estufa.

- Corte e carregamento

O carregamento mecânico da cana colhida manualmente é realizado com carregadoras convencionais tipo garra, acopladas em tratores. Após a queimada, cortam-se eitos de 5 linhas (5 “ruas”), com auxílio do facão (“podão”), colocando as canas inteiras despontadas dispostas em montes, formando um alto “colchão” de cana. Isso tem como objetivo diminuir as impurezas da carga (palha, pedra e principalmente terra), pois quando as canas são elevadas, as carregadeiras podem fincar as garras no chão, levando terra junto com a cana.

No caso da colheita mecanizada, o carregamento é realizado concomitantemente com o corte pelas colheitadeiras mecânicas, que descarregam a cana picada diretamente nos caminhões para transporte ou em unidades de transbordo. Assim, não há contato da cana com a superfície do solo, como na colheita manual. O controle de perdas deve ser realizado conjuntamente com o desenrolar da colheita e as ações corretivas devem ser adotadas caso as perdas sejam excessivas.

- Transporte de cana.

O transporte da cana é realizado por unidades transportadoras, compostas de um cavalo mecânico e carretas, denominados romeu-e-julieta, rodotrem e treminhão. No caso de cana picada, utilizam-se carrocerias fechadas do tipo gaiola.

4.2. Industrialização da cana-de-açúcar

4.2.1. Recepção e preparo da cana e extração do caldo

- Balança e laboratório de análise do teor de sacarose

Os caminhões que transportam a cana até a usina são pesados antes e após o descarregamento em balanças eletrônicas, obtendo-se assim o peso real da cana pela diferença entre as duas medidas. Algumas cargas são aleatoriamente selecionadas e amostradas por sonda extratora. O material coletado é homogeneizado, triturado e analisado em laboratório para determinação do teor de sacarose na matéria-prima. Este controle no laboratório de pagamento de cana pelo teor de sacarose (PCTS) além de determinar a qualidade da matéria-prima recebida para pagamento dos fornecedores de cana pela ATR (açúcar total recuperável), proporciona ainda dados para o controle agrícola, o controle de moagem e para o cálculo do rendimento industrial.

- Descarregamento da cana
Normalmente o descarregamento da cana é direto, ou seja, é feito com o uso de guindastes tipo "Hillo" nas mesas alimentadoras e, no caso de cana picada, através de um tombador hidráulico para basculamento dos caminhões. O descarregamento no pátio de cana atualmente é pouco utilizado.
- Alimentação e preparo da cana
A cana é descarregada na mesa alimentadora ou diretamente nas esteiras quando for picada. A cana inteira pode ser lavada com água, já a cana picada não é lavada, podendo ser limpa com sopragem de ar (limpeza a seco) para a retirada das impurezas vegetais. As mesas de recebimento de cana com limpeza a seco possuem peneiras e

fundo falso para facilitar a remoção das impurezas minerais.

A cana limpa é conduzida pela esteira metálica para ser preparada, primeiramente no picador com jogo de facas oscilantes para picar a cana em pedaços menores. Trata-se de um equipamento rotativo, que gira no mesmo sentido do movimento da cana na esteira. Em seguida, a cana picada é desfibrada em um equipamento que utiliza martelos oscilantes, aumentando a densidade da massa e formando um material mais homogêneo e com fibras longas, rompendo as células para facilitar a etapa seguinte de extração do caldo. Antes de seguir para a extração a massa de cana passa por um eletroímã visando à retirada de materiais ferrosos que possam estar acidentalmente presentes na cana.

- Extração de caldo
Após preparada, a cana é encaminhada para a extração do caldo em moendas ou, alternativamente, em difusores.
Na moagem, a cana passa por um conjunto de 3 rolos de esmagamento denominados ternos. Normalmente, as moendas são constituídas de 4 a 6 ternos. Inicialmente, a cana entra num duto para aumentar a densidade da massa (Chute Donnelly), depois é esmagada no primeiro terno, obtendo-se o caldo primário, seguindo a massa para o segundo até passar no último terno, de onde o bagaço final segue para as caldeiras. Neste processo ocorre a embebição da massa em cada terno de moenda em contracorrente com a direção da moagem, favorecendo a lixiviação da sacarose contida na massa, obtendo-se a partir do segundo terno, o caldo misto.
Na difusão, diferentemente da moenda, não ocorre esmagamento, propiciando-se a extração de caldo da cana por lixiviação em contracorrente da camada de cana desfibrada, como na moenda, porém com cerca de 13 recirculações de caldo ao invés de 3 a 5 como na moagem. A cana desfibrada alimenta um transportador de cana com fundo perfurado para permitir a passagem do caldo extraído. A camada de cana preparada

dentro do difusor é de aproximadamente um metro e a água de embebição é aplicada no final do difusor na temperatura de 90°C. No final do difusor, a massa passa por um conjunto de moenda com a função de retirar o caldo residual do bagaço.

4.2.2. Tratamento e concentração do caldo

- Tratamento de caldo

O caldo de cana obtido no processo de extração apresenta impurezas solúveis ou insolúveis, que são eliminadas no tratamento de caldo por processo físico-químico. O tratamento químico consiste na coagulação, floculação e precipitação destas impurezas, que são eliminadas por sedimentação.

- Sulfitação

Somente na fabricação de açúcar branco há a etapa da sulfitação, que consiste na absorção do SO₂ (anidrido sulfuroso) pelo caldo, em contracorrente com o SO₂ gasoso proveniente da queima do enxofre em fornos.

- Caleação

A caleação é o processo de adição do leite de cal (Ca(OH)₂) ao caldo, elevando o seu pH a valores da ordem de 6,8 a 7,2. O leite de cal é produzido na usina através da “queima” da cal virgem (CaO) em tanques apropriados (hidratadores). Esta neutralização tem por objetivo a eliminação de corantes do caldo, a neutralização de ácidos orgânicos e a formação de sulfito e fosfato de cálcio, produtos estes que, ao sedimentarem, arrastam impurezas presentes no líquido.

- Aquecimento

O aquecimento do caldo, após a calagem, é realizado em equipamento tipo casco-tubo, que é

aquecido com vapor saturado (de escape ou vegetal). O caldo é aquecido a aproximadamente 105°C, com a finalidade de acelerar e facilitar a coagulação e floculação de colóides e não-açúcares protéicos; emulsificar graxas e ceras, acelerando o processo químico e aumentando a eficiência da decantação; além de possibilitar a degasagem do caldo.

- Clarificação do caldo

Nesta etapa, utiliza-se um decantador ou clarificador contínuo, seguindo o caldo clarificado para as outras etapas do processo, fabricação de açúcar ou destilação do etanol. O lodo do fundo do decantador é enviado para a filtração.

- Filtração

As impurezas sedimentadas na etapa anterior se constituem no lodo, que é enviado para o setor de filtração com o objetivo de recuperar açúcar. A filtração é realizada com o auxílio de equipamentos rotativos a vácuo para a extração do caldo e tem como resíduo uma torta, que é enviada à lavoura para ser utilizada como fertilizante de solo.

- Concentração do caldo

O caldo clarificado é evaporado em evaporadores de múltiplo efeito, visando ao aumento da sua concentração inicial, em torno de 15°Brix, para a faixa de 60 a 65°Brix, quando recebe o nome de xarope.

O evaporador de múltiplo efeito é formado por caixas, ligadas em série, de maneira que o caldo sofre uma concentração progressiva da primeira à última. São vários os arranjos deste equipamento sendo o mais utilizado o de 5 efeitos. No primeiro efeito (ou pré-evaporador) é injetado vapor de escape, formando vapor vegetal que é utilizado no segundo efeito e assim, sucessivamente, até o último efeito, onde o vapor final é condensado em um condensador barométrico sob vácuo.

4.2.3. Fabricação de açúcar cristal

- **Cozimento**
O xarope é conduzido à seção de cozimento, onde continua sua concentração para a formação dos cristais de açúcar. São utilizados equipamentos denominados cozedores (ou vácuos), semelhantes às caixas dos evaporadores, que trabalham individualmente sob vácuo por bateladas. A evaporação da água dá origem a uma mistura de 45% de cristais envolvidos em mel (solução açucarada), que recebe o nome de massa “A” e tem concentração de 90 a 92°Brix.
- **Cristalização**
A massa cozida é descarregada nos cristalizadores, tanques horizontais dotados de mexedores, onde irá ocorrer o seu resfriamento lento. Esta operação visa recuperar parte da sacarose que ainda se achava dissolvida no mel, pois pelo resfriamento haverá deposição da sacarose nos cristais existentes, aumentando inclusive o tamanho dos mesmos.
- **Centrifugação**
A massa resfriada segue para centrifugas constituídas por um cesto perfurado, fixado a um eixo vertical e acionado por um motor que o gira a alta velocidade. A ação da força centrífuga faz com que o mel atravesse as perfurações da tela do cesto, ficando retidos, em seu interior, somente os cristais de sacarose. O processo é otimizado pela lavagem do açúcar com água quente para diminuir a viscosidade do mel. O mel removido é coletado em um tanque e retorna aos cozedores para recuperação do açúcar ainda presente, em um processo de cozimento chamado de massa “B”. O mel final deste segundo cozimento (ou até de um terceiro, massa “C”, com produção de melaço) é enviado para a fabricação de etanol. O açúcar descarregado das centrifugas apresenta alto teor de umidade (0,5 a 2%), bem como temperatura elevada (65 a 85°C), devido à sua lavagem com vapor.
- **Secagem e acondicionamento do açúcar**
O resfriamento e a secagem do açúcar são reali-

zados em secador rotativo, constituído por um tambor metálico através do qual passa, em contracorrente com o açúcar, um fluxo de ar succionado por um exaustor. Ao deixar o secador, com uma temperatura entre 35 e 40°C e umidade na faixa de 0,03 a 0,07%, o açúcar está pronto para ser enviado ao ensaque.

- **Acondicionamento do açúcar**
Do secador, o açúcar é recolhido a uma moega com fundo afunilado, que o despeja de forma descontínua, diretamente na embalagem localizada em cima de uma balança, realizando, portanto, a operação de ensaque e pesagem. No caso de açúcar a granel, o mesmo segue do secador, através de esteiras, para um silo armazenador com balança de pesagem em linha.

4.2.4. Fabricação do etanol

- **Preparo do Mosto**
O mosto é uma solução açucarada utilizada na fermentação alcoólica. Quando se tem a destilaria de álcool anexa ao processo de fabricação de açúcar, as diferentes proporções de caldo misto, caldo primário, mel, melaço e água que compõem o mosto, dependerão do resultado do processo de fabricação de açúcar. Após o preparo do mosto, que consiste basicamente no acerto do brix (quantidade de ATR) para se obter o teor alcoólico desejado na fermentação, o mosto é resfriado a 35°C, aproximadamente.
- **Fermentação**
A fermentação pode ser feita por batelada ou de forma contínua, ou ainda pela associação das duas tecnologias. O processo de fermentação utilizado nas destilarias do Brasil é o Melle-Boinot, cuja característica principal é a recuperação de leveduras através da centrifugação do vinho. Esta levedura recuperada, antes de retornar ao processo fermentativo, recebe um tratamento, que consiste em diluição com água e adição

de ácido sulfúrico até o pH de 2,5, eliminando-se bactérias indesejáveis e formando o assim chamado pé-de-cuba, que é retornado à dorna de fermentação.

O processo de transformação dos açúcares em etanol ocorre em tanques, denominados dornas de fermentação, onde há a mistura do mosto e do pé-de-cuba. O tempo de fermentação varia de 6 a 8 horas. Ao final deste período praticamente todo o açúcar é consumido. Ao terminar a fermentação, o teor médio de etanol nestas dornas é de 7 a 11°GL, recebendo a mistura o nome de vinho fermentado.

Por ser a fermentação uma reação bioquímica exotérmica, há grande desprendimento de calor do processo e, devido à necessidade da temperatura ser mantida baixa (abaixo de 34°C), é preciso realizar o resfriamento das dornas com água, com o auxílio de serpentinas ou trocadores de calor a placas.

O gás CO₂ proveniente das dornas é canalizado e lavado em torres de absorção visando à recuperação do etanol arrastado, que retorna ao processo.

- Destilação

A destilação consiste na separação das substâncias componentes do vinho, basicamente água, etanol, etanóis superiores, ácido acético e aldeídos, por meio dos seus diferentes pontos de ebulição. Primeiramente, o vinho é conduzido para a destilação na coluna “A”, onde é injetado vapor (de borbotagem ou indireto) tendo-se 3 saídas: a vinhaça, que é o resíduo da destilaria; o etanol de cabeça ou de segunda, uma mistura hidroalcoólica com teor de 92° a 94°GL; e, o flegma, uma mistura de vapores hidroalcoólicos de 45° a 50°GL.

O flegma, produto principal desta fase, é submetido a um segundo processo, o de retificação (coluna “B”), no qual se eleva o grau alcoólico e se elimina parte das impurezas ainda existentes. Nesta fase, tem-se a produção de etanol hidratado (92,6°INPM), flegmaça (resíduo de retificação do flegma), o óleo fúsel (uma mistura concentrada das impurezas do flegma) e etanol de

segunda. Os dois últimos são subprodutos comercializáveis, e a flegmaça é um efluente incorporado à vinhaça ou às águas residuárias. O processo pode prosseguir visando à produção do etanol anidro (99,3°INPM), através da sua desidratação na coluna “C”, utilizando-se ciclohexano para formação da mistura ternária que resulta na retirada da água do álcool hidratado.

O etanol (hidratado ou anidro) produzido é resfriado, medido e armazenado em tanques cilíndricos verticais próximos da destilaria, ou seja, no parque de tanques de etanol, donde será expedido para comercialização.

4.2.5. Geração de energia

Nesta etapa do processo é gerada energia mecânica, térmica e elétrica para utilização no processo de fabricação de açúcar e álcool e, se houver eletricidade excedente, para ser destinada à venda. Esta geração de calor e potência se dá num processo de cogeração, utilizando-se o bagaço da cana-de-açúcar como combustível, baseado no processo termodinâmico conhecido como ciclo a vapor de Rankine, que é amplamente utilizado para geração de energia mecânica e elétrica em larga escala, a partir da queima de combustível.

O bagaço é queimado em uma caldeira que gera vapor, que é expandido em uma turbina a vapor, que transforma parte da energia contida no vapor em energia mecânica e esta é convertida em elétrica no gerador acoplado à turbina a vapor. O vapor que deixa o escape da turbina é utilizado como energia térmica para o processo, que após o seu uso é condensado e retorna para a caldeira.

- Caldeiras:

A maioria das usinas gera vapor na pressão de 22 bar, a uma temperatura de 300°C. Esta condição de vapor leva a usina à auto-suficiência energética e possibilita a geração de um pequeno excedente de bagaço e energia elétrica. A grande demanda por excedentes de energia elétrica tem levado as usinas a optarem pela geração de vapor

em alta pressão (em torno de 65 bar) e temperatura (entre 480 e 515°C), havendo estudos para se implantar caldeiras com pressão superior (até 90 a 105 bar).

As caldeiras são aquatubulares, com queima em suspensão, e suas fornalhas possuem na parte inferior um sistema de grelhas onde ocorre a queima da parcela de combustível que não queimou em suspensão. As grelhas podem ser do tipo rotativa, onde a retirada de cinzas é constante, do tipo “pin hole”, em que a retirada das cinzas é feita pela injeção de vapor, ou do tipo basculante, onde o acionamento do sistema hidráulico é feito manualmente.

Os gases de combustão das caldeiras a bagaço são caracterizados basicamente por dois poluentes: o NOx e o material particulado (MP). A emissão de NOx se situa dentro dos valores estabelecidos em lei (até 350 mg/Nm³), porém a concentração de MPs é bem alta, em torno de 7.000 mg/Nm³. Como o limite de emissão fixado na resolução CONAMA n° 382/2006 para capacidades de geração maiores que 75 MW é 200 mg/Nm³, para atendimento à legislação é necessária a instalação de lavador de gases via úmida.

- Turbogenerador:

Turbogenerador é um gerador de energia elétrica acionado por uma turbina. A turbina a vapor é uma máquina térmica que converte a energia contida no vapor em energia mecânica, enquanto o gerador converte a energia mecânica em energia elétrica. A parcela da energia do vapor não convertida em energia mecânica deixa a turbina na forma de energia térmica no vapor de escape, que é utilizado no processo de fabricação onde fontes de calor são necessárias.

As turbinas podem ser de extração ou de contra-pressão. Denomina-se turbina de contra-pressão quando a pressão de vapor de escape da turbina é superior à pressão atmosférica, e isto só se justifica quando se deseja utilizar este vapor como fonte de calor. Quando se deseja produzir apenas energia elétrica, o vapor de escape é condensado e retorna para a caldeira e, neste caso, a pressão

de escape é inferior à pressão atmosférica (entre 0,06 e 0,15 bar), sendo a turbina denominada de condensação.

Algumas usinas vêm investindo na geração de energia excedente para comercialização através da instalação de turbinas de extração e condensação. A extração na pressão de 2,5 bar fornece vapor para o processo, sendo o restante do vapor condensado para gerar apenas energia elétrica, necessitando-se de uma torre de resfriamento com grande uso de água para a condensação do vapor.

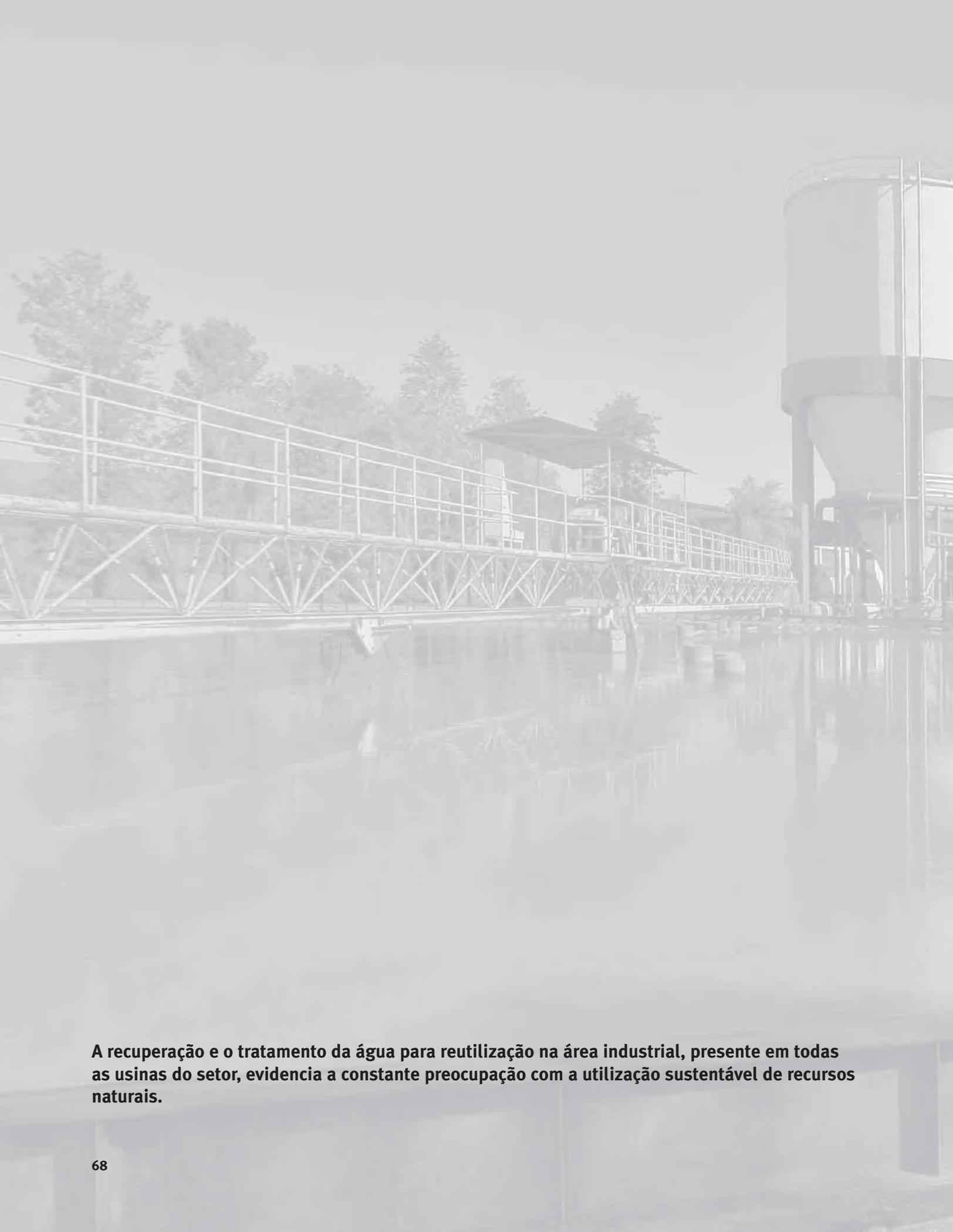
4.2.6. Fabricação de levedura seca

Além dos produtos tradicionais, muitas usinas possuem instalações para produção de levedura seca, matéria prima para a produção de ração animal. A levedura retirada do processo de fabricação do etanol, com concentração de 60%, é diluída a 20% e deixada em repouso por 4 horas, fazendo com que ocorra o consumo da energia armazenada e se tenha o máximo do aproveitamento de etanol.

A levedura diluída é enviada a uma coluna de destilação própria que opera a uma temperatura aproximada de 75°C. Nesta operação se recupera o etanol residual contido no leite de levedura, que após a condensação é enviado junto com o vinho para a destilação. A retirada de fundo da coluna é enviada a um equipamento de secagem do tipo “spray-dryer”, também conhecido como secador pulverizador, que consiste numa câmara cilíndrica vertical em que o material a ser seco é pulverizado na forma de pequenas gotículas e entra em contato com o gás quente, que fornece o calor necessário para completar a evaporação do líquido. Depois de completada a secagem, o gás é resfriado e os sólidos são separados, ficando as partículas mais grossas no fundo da câmara e as partículas finas que são arrastadas pelo gás separadas nos ciclones e adicionadas com as partículas de fundo. A levedura seca inativa é embalada em sacos de 25 kg e armazenada em local coberto.

USOS E REÚSOS DE ÁGUA E GERAÇÃO DE EFLUENTES





A recuperação e o tratamento da água para reutilização na área industrial, presente em todas as usinas do setor, evidencia a constante preocupação com a utilização sustentável de recursos naturais.

5. Usos e reúsos de água e geração de efluentes

André Elia Neto
Alberto Shintaku

Na Tabela 9 se encontra um resumo dos usos específicos médios de água na indústria sucroalcooleira, bem como a distribuição percentual destes usos nas diversas etapas e setores da produção. Trata-se de uma adaptação e atualização de valores históricos e consagrados, obtidos do acúmulo de conhecimento do CTC, desde a década de 1970 quando ainda integrado a Copersucar, com a publicação “Combate à Poluição: Avaliação do Programa Copersucar” (COPERSUCAR, 1980).

O uso médio de uma usina com destilaria anexa com um “mix” de produção de 50% de cana para açú-

car e 50% para a produção do etanol, é de 22 m³/t cana, valor pouco diferente de estimativas anteriores (21 m³/t cana). Observa-se que os usos não são estáticos ao longo do tempo, como pode ser observado em relação à lavagem de cana, que vem diminuindo significativamente com tendência a zerar devido à tecnologia de produção mais limpa de limpeza de cana a seco. Outro ponto que se ressalta é que presentemente está se somando o uso do vapor nas etapas de produção de energia como uso de água, o que antes era apenas considerado na produção do vapor na caldeira e não em seus usos intermediários e finais.

Tabela 9 - Usos médios da água em unidades produtoras de açúcar e etanol

Setor	Finalidade	Uso Específico	Uso médio		
			[m ³ /t cana]	[%]	
Alimentação, preparo e extração (moendas e difusores)	Lavagem de cana	2,200 m ³ /t cana total	2,200	9,9	
	Embebição	0,250 m ³ /t cana total	0,250	1,1	
	Resfriamento de mancais	0,035 m ³ /t cana total	0,035	0,2	
	Resfriamento óleo	0,130 m ³ /t cana total	0,130	0,6	
Subtotal			2,615	11,8	
Tratamento de caldo	Resfriamento coluna sulfitação ^(*)	0,100 m ³ /t cana açúcar	0,050	0,2	
	Preparo de leite de cal	0,030 m ³ /t cana total	0,030	0,1	
	Preparo de polímero ^(*)	0,015 m ³ /t cana açúcar	0,008	0,0	
	Aquecimento do caldo	p/açúcar ^(*)	160 kg _{-vapor} /t cana açúcar	0,080	0,4
		p/etanol ^(*) e ^(*)	50 kg _{-vapor} /t cana etanol	0,025	0,1
	Lavagem da torta	0,030 m ³ /t cana total	0,030	0,1	
Condensadores dos filtros	0,300 a 0,350 m ³ /t cana total	0,350	1,6		
Subtotal			0,573	2,6	

continua

Tabela 9 - Usos médios da água em unidades produtoras de açúcar e etanol (continuação)

Setor	Finalidade	Uso Específico	Uso médio	
			[m ³ /t cana]	[%]
Fábrica de açúcar ^(*)	Vapor para evaporação	0,414 t/t cana açúcar	0,207	0,9
	Condensadores/multijatos evaporação	4 a 5 m ³ /t cana açúcar	2,250	10,2
	Vapor para cozimento	0,170 t/t cana açúcar	0,085	0,4
	Condensadores/multijatos cozedores	8 a 15 m ³ /t cana açúcar	5,750	26,0
	Diluição de méis e magas	0,050 m ³ /t cana açúcar	0,030	0,1
	Retardamento do cozimento	0,020 m ³ /t cana açúcar	0,010	0,0
	Lavagem de açúcar (1/3 água e 2/3 vapor)	0,030 m ³ /t cana açúcar	0,015	0,1
	Retentor de pó de açúcar	0,040 m ³ /t cana açúcar	0,020	0,1
Subtotal			8,367	37,8
Fermentação ^(*)	Preparo do mosto	0 a 10 m ³ /m ³ etanol residual	0,100	0,5
	Resfriamento do Caldo	30 m ³ /m ³ etanol	1,250	5,6
	Preparo do pé-de-cuba	0,010 m ³ /m ³ etanol	0,001	0,0
	Lavagem gases CO ₂ fermentação	1,5 a 3,6 m ³ /m ³ etanol	0,015	0,1
	Resfriamento de dornas	60 a 80 m ³ /m ³ etanol	3,000	13,6
Subtotal			4,366	19,7
Destilaria ^(*)	Aquecimento (vapor)	3,5 a 5 kg/m ³ etanol	0,360	1,6
	Resfriamento dos condensadores	80 a 120 m ³ /m ³ etanol	3,500	15,8
Subtotal			3,860	17,4
Geração de Energia	Produção de vapor direto	400 a 600 kg/t cana total	0,500	2,3
	Dessuperaquecimento	0,030 L/kg vapor	0,015	0,1
	Lavagem de gases da caldeira	2,0 m ³ /t vapor	1,000	4,5
	Limpeza dos cinzeiros	0,500 m ³ /t vapor	0,250	1,1
	Resfriamento óleo e ar dos turbogeradores	15 L/kW	0,500	2,3
	Água torres de condensação ^(*)	38 m ³ /t vapor	6,0 ^(*)	27,1
Subtotal			2,265	10,2
Outros	Limpeza pisos e equipamentos	0,050 m ³ /t cana total	0,050	0,2
	Uso potável	70 L/funcionário.dia	0,030	0,1
Subtotal			0,080	0,4
Total			22,126	100

Obs. (*) itens que não participam do processo do etanol;

(*) os que não participam do processo de açúcar;

(*) os que participam apenas no caso de produção de energia excedente não sendo computado nas somas;

(*) recuperando-se o calor do caldo para mosto.

Este uso médio varia pouco em função do tipo de usina – se destilaria anexa ou autônoma ou somente usina de açúcar –, ou mesmo em função do “mix” de produção, pois os usos não comuns na produção de açúcar e etanol se compensam em termos de volumes, como pode ser observado no gráfico da Figura 17. Nesta figura, verifica-se que a fábrica de açúcar usa em média 38% da água e a fermentação e destilação utilizam, juntas, cerca de 37% desse recurso. Os demais usos se repartem

em 12% para a seção de alimentação, notadamente ainda refletindo o uso para a lavagem de cana e para a geração de energia própria para a usina (10%).

Ainda na Tabela 9, chama-se a atenção ao novo uso de água na produção de energia elétrica excedente ($6 \text{ m}^3/\text{t}$ cana) que não está contabilizado na média da produção de açúcar e álcool que, no entanto, é um valor significativo (27,3%) para o caso de grande produção de excedente energético.

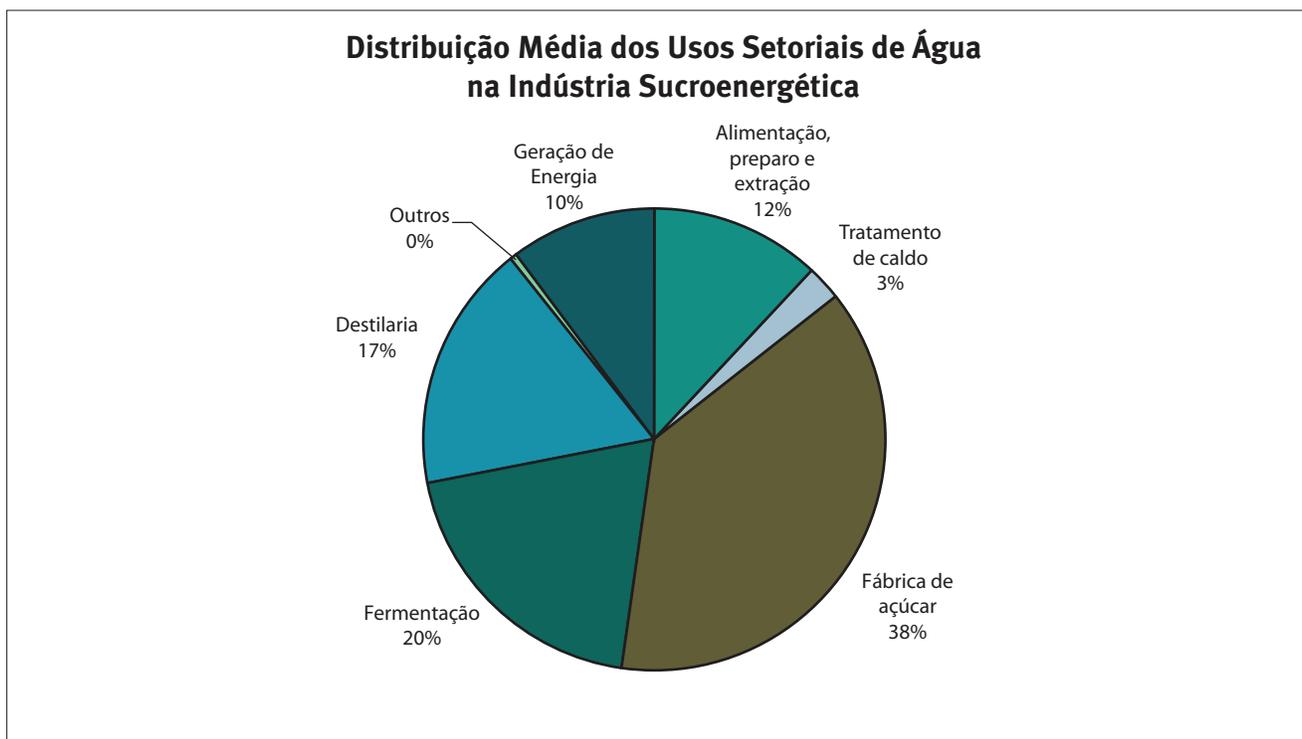


Figura 17 - Distribuição média dos usos setoriais de água na indústria sucroenergética

A estimativa de uso médio em aproximadamente 22 m³/t cana não reflete necessariamente a captação e nem o consumo de água, este definido como a água que não retornou ao corpo receptor. Devem ser consideradas as reutilizações da água nos vários circuitos, com ou sem tratamento, e mesmo aspectos de racionalização dos usos da água, chegando-se a uma captação bem menor, como se verá adiante, conforme o estágio de reutilização que a unidade industrial se encontra.

Nas Figuras 18 e 19, observa-se a distribuição média das necessidades de usos de água para a condição média da indústria sucroenergética em duas situações: a atual e a de pouco mais de 10 anos atrás (ELIA NETO, 1996). Verifica-se que quatro grandes circuitos

agregam quase que 90% da necessidade de água industrial, ressaltando-se o fato de que o peso da lavagem de cana vem diminuindo (de 25% para 10%) e que as águas para lavagem de gases hoje representam 5% do uso. As maiores porcentagens de uso de água ainda se dão na necessidade de resfriamento de água da fábrica (evaporador e cozedor), aumentando a sua importância relativa de 29% para 36%, e no resfriamento da destilaria (dornas, caldo e condensadores), cujo peso relativo se manteve na faixa de 33% a 35%. Com isto, antevêm-se os pontos em que se pode agir mais prontamente para se ter resultados significativos de redução de captação e consumo de água em um programa de racionalização e conservação da água.

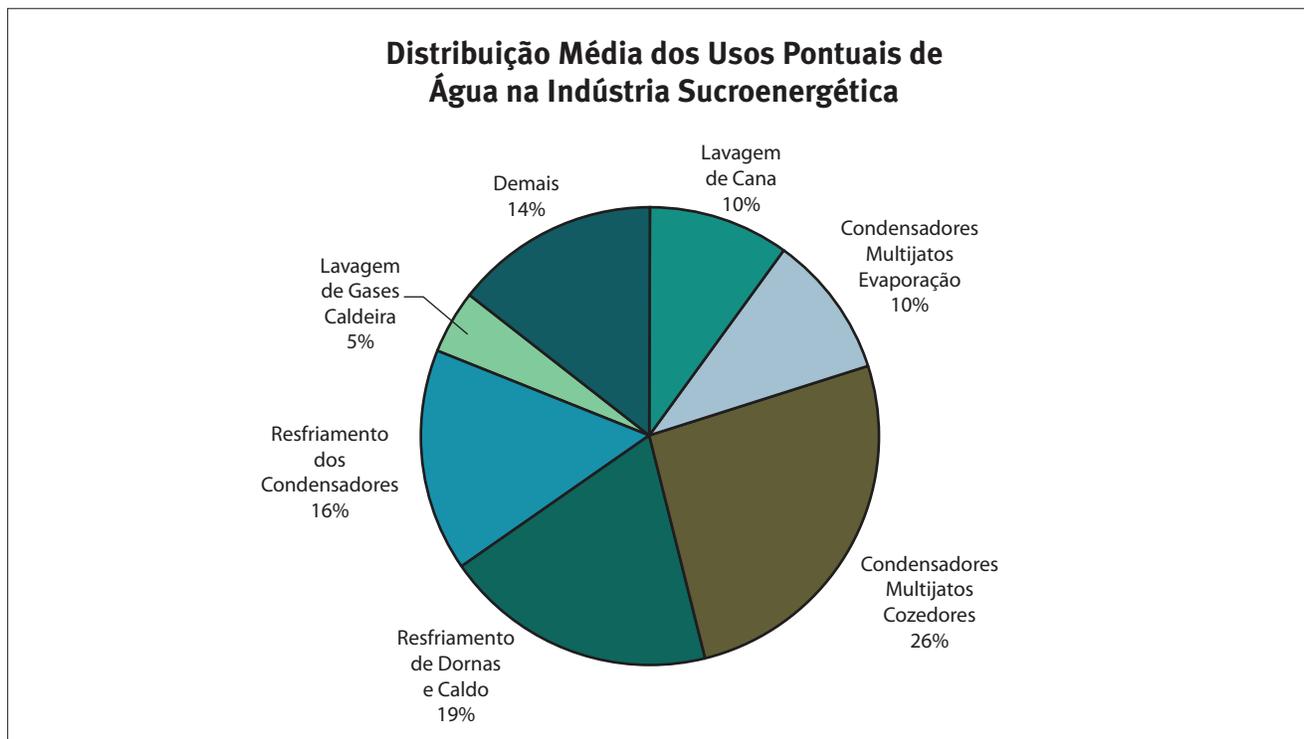


Figura 18 - Distribuição média dos usos pontuais de água na indústria sucroenergética, situação atual.

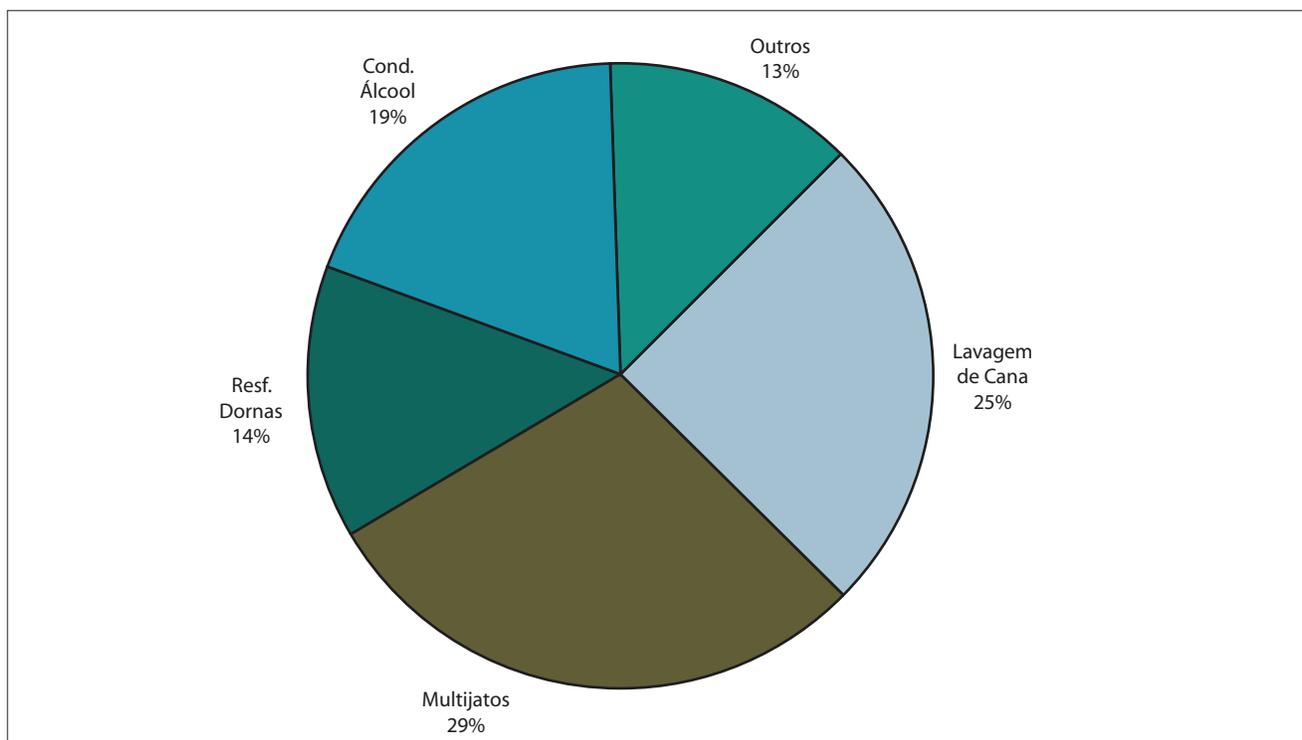


Figura 19 - Distribuição média dos usos pontuais de água na indústria canavieira, situação passada (ELIA NETO, 1996).

5.1. Balanço material de água (Balanço hídrico industrial)

O balanço material de água de uma atividade industrial, ou mais comumente conhecido como balanço hídrico industrial, é uma excelente ferramenta para iniciar o processo para maximizar o uso e reúso de água, pois permite diagnosticar visualmente a situação atual da indústria e os pontos aonde se possa intervir prontamente para se obter a pretendida redução da captação. Pode-se agir no tipo de equipamento, no processo ou ainda simplesmente na cultura da empresa e de seus funcionários, sendo este conjunto de procedimentos atualmente denominado “Produção mais Limpa (P+L)”.

O primeiro passo é a necessidade de conhecimento do processo (balanço de massa e de vapor no

caso da indústria canavieira), com os levantamentos dos circuitos de água e efluentes, permitindo-se o planejamento do uso dos recursos hídricos e alterações necessárias. Normalmente, os resultados são apresentados em forma de diagrama de bloco ou, como se apresentará neste manual, em forma de fluxograma para que tenha caráter mais didático. Assim, é abordado todo o processo industrial e suas combinações na produção sucroenergética, visando a identificar, quantificar e qualificar o uso e reúso da água e as correntes de efluentes.

No fluxograma da Figura 20 são apresentados os grandes setores de uma usina de açúcar com destilaria de etanol anexa. Com base nestas subdivisões, têm-se: Recepção e Preparo da Cana e Extração do Caldo; Tratamento do Caldo; Fábrica de Açúcar; Fermentação; Destilação do Etanol; e, Produção de Energia.

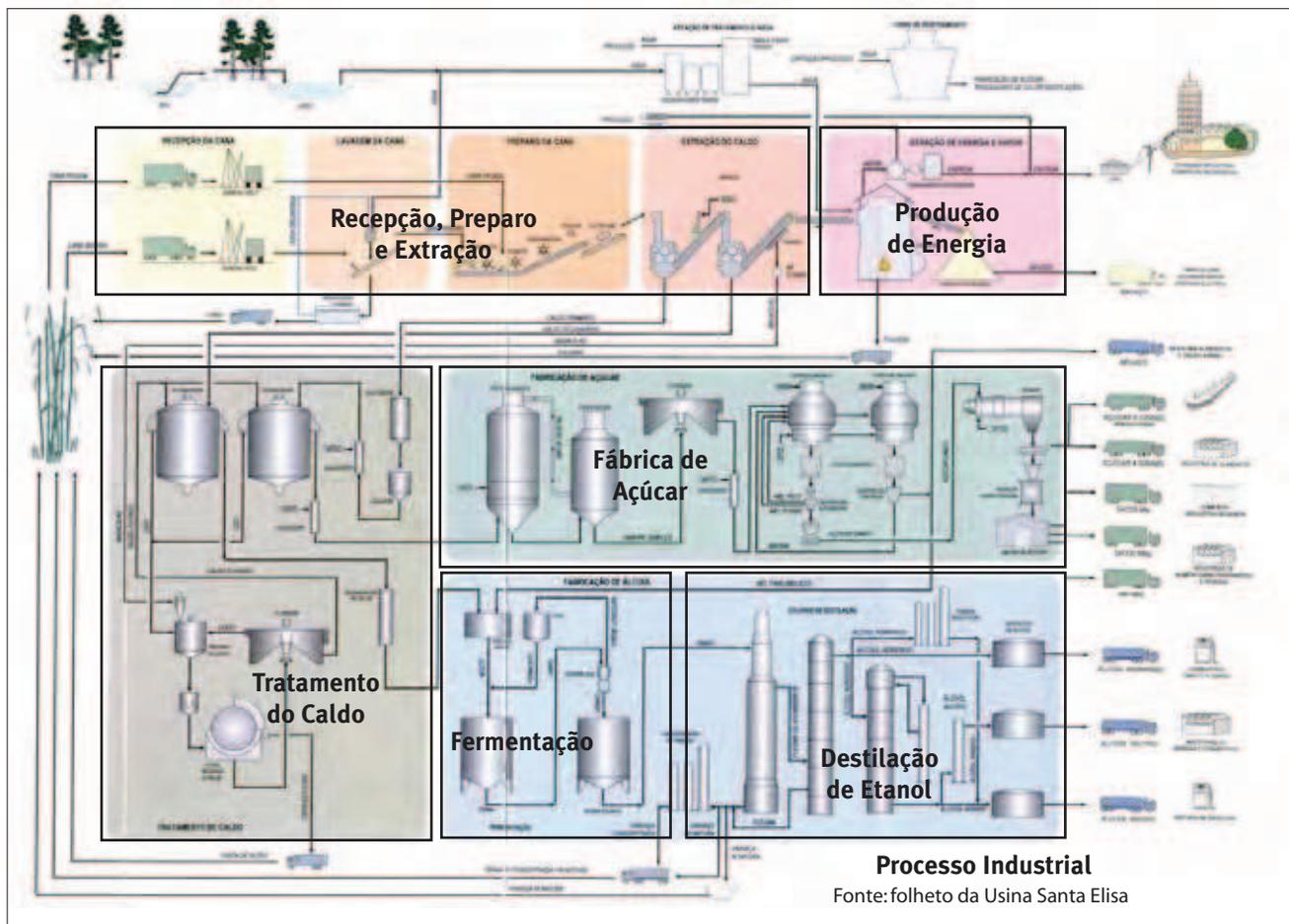


Figura 20 - Fluxograma do processamento industrial da fabricação de açúcar e etanol.

5.1.1. Água na recepção e preparo da cana e extração do caldo

Na Figura 21 é apresentado o fluxograma dos setores de Recepção e Preparo (da cana) e de Extração (do caldo). São as etapas iniciais do processamento industrial, onde a matéria-prima cana-de-açúcar entra inteira ou picada, sendo então lavada, (se inteira) picada, desfibrada e moída, extraindo-se normalmente dois tipos de caldo: o caldo primário para açúcar, que recebe

o ácido fosfórico para auxiliar a decantação mais adiante, e o caldo misto, para o etanol. Produz também o bagaço que é encaminhado para produção de energia nas caldeiras.

Basicamente, existem três usos de água nesta seção: a água para a lavagem da cana, a água de embebição e a água de resfriamento de equipamentos (mancais das moendas e resfriamento do óleo das turbinas e equipamentos). As águas de limpeza de piso e equipamentos serão tratadas em item que aborda os efluentes.

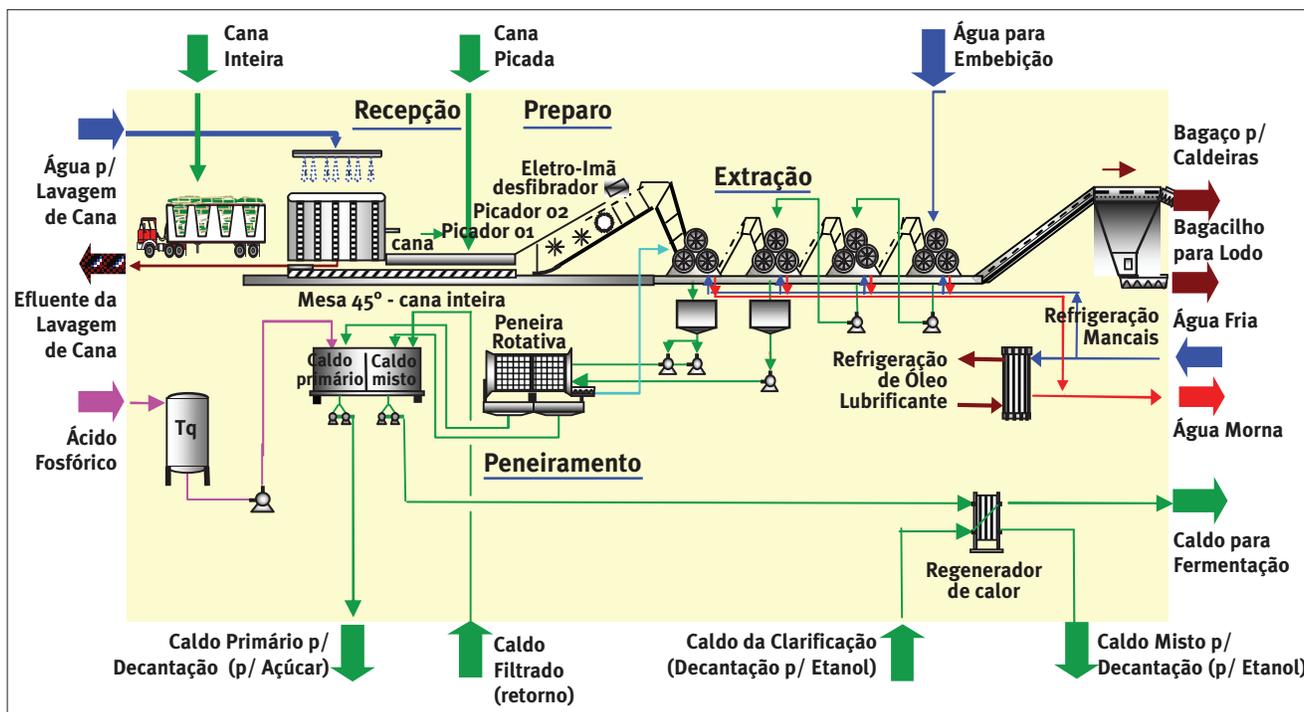


Figura 21 - Fluxograma dos setores de recepção, preparo da cana e extração do caldo.

5.1.1.1. Lavagem da cana

A lavagem da cana objetiva a retirada da terra incorporada na colheita. A cana inteira colhida manualmente após a queima da palha, é amontoada em “ruas”, normalmente disposta em 5 a 7 linhas, sendo daí carregada com máquinas, ocasião em que terra é trazida junto neste processo mecânico de carregamento.

Quando a colheita é mecanizada, no corte da base da cana há eventualmente o arranquio de raízes que trazem terra agregada, sendo parte soprada pela colheitadeira para o terreno e parte carregada junto com a cana. Assim, a cana inteira, colhida manualmente, e a cana picada, colhida com máquinas, vêm acompanhadas de terra. Essa impureza mineral deve ser retirada, na

usina, na mesa de recepção, para evitar a abrasão em equipamentos (tanques, aquecedores, bombas, tubulações e acessórios) e diminuir a terra no caldo que prejudica ou sobrecarrega a decantação do caldo e a filtração do lodo, o que pode influir na qualidade do açúcar.

No gráfico da Figura 22 verifica-se a variação média anual das impurezas minerais em porcentagem de peso de cana, cujo valor médio situa-se em torno de 1% e a faixa varia de 0,14 a 3,21%, dependendo da época da colheita (com chuvas, a impureza mineral é maior), do tipo de solo (se argiloso ou arenoso) e tipo de procedimentos utilizados na colheita (programas de colheita limpa que visam à diminuição das impurezas minerais e vegetais).

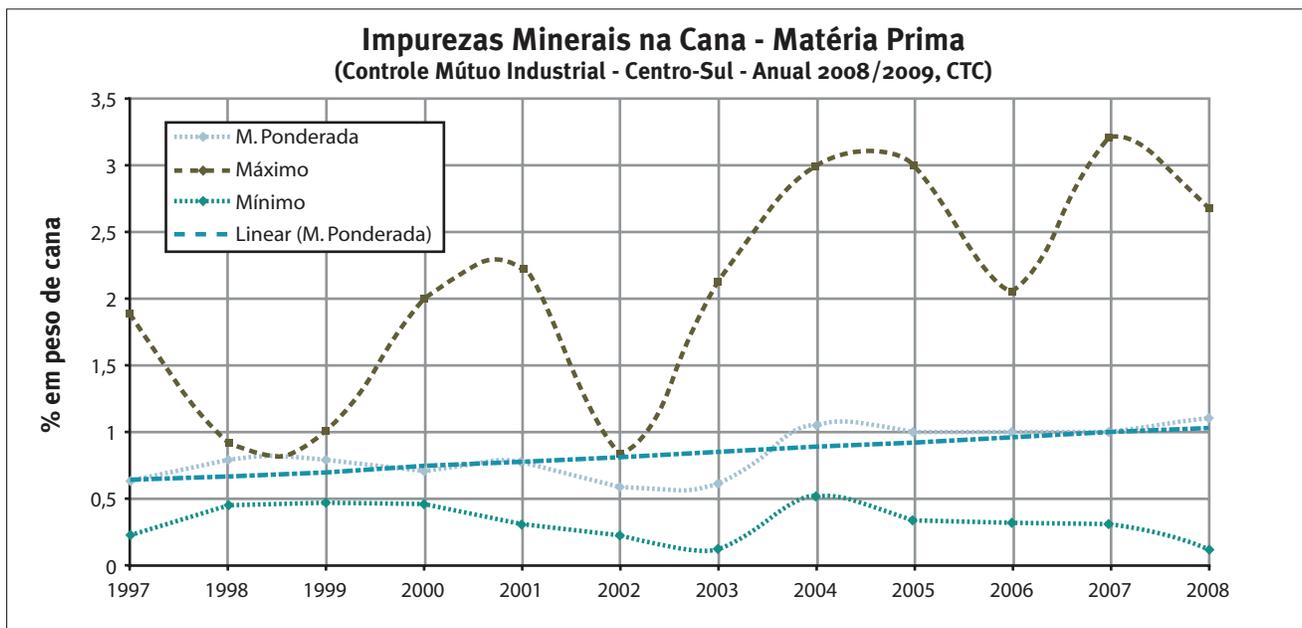


Figura 22 - Variação da média anual da impureza mineral na cana, em % peso de cana, nas usinas da Região Canavieira do Centro-Sul (CTC, 2009).

O gráfico da Figura 23 apresenta, a título de exemplo, a variação média da impureza mineral verificada nas usinas do Centro-Sul participantes do programa Controle Mútuo Agroindustrial (CMAI) do CTC, no ano de 2007 (ELIA NETO et al., 2008), mostran-

do um aumento significativo das impurezas minerais nos meses chuvosos de novembro e dezembro, observando-se que as impurezas vegetais são compostas por palha e pontas e não são removidas na lavagem de cana.

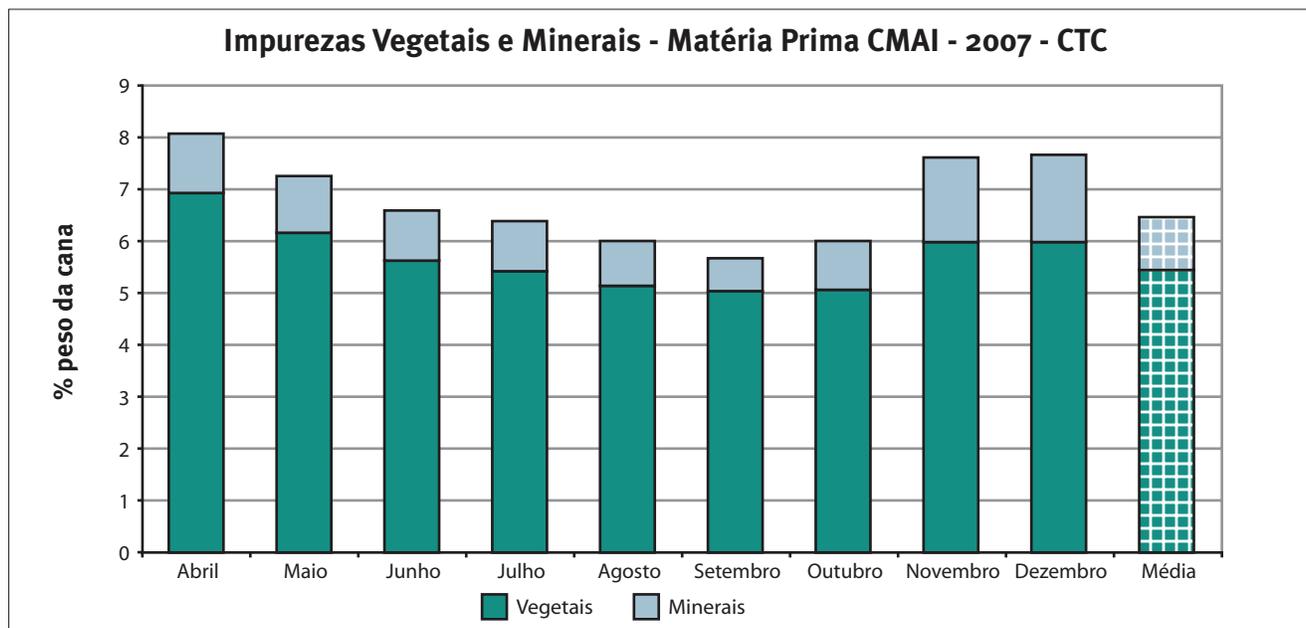


Figura 23 - Variações das médias mensais das impurezas vegetais e das minerais na cana entregue na usina, em % peso de cana (ELIA NETO et al., 2008).

A lavagem da cana implica em perdas de açúcares que são dissolvidos pela água no momento de lavagem na mesa. Na Figura 24, verifica-se a perda de açúcar na água de lavagem de cana no ano de 2007, cuja média situou-se em 444 ppm enquanto que a taxa de água para lavagem foi, em média, 2,2 m³/por tonelada

de cana (considerando toda a cana, lavada e não lavada). Isso implica em perdas de açúcar da ordem de 0,1% de peso da cana, ou cerca de 0,6% da sacarose da cana, valor aparentemente baixo, porém significativo, em termos de poluição ambiental.

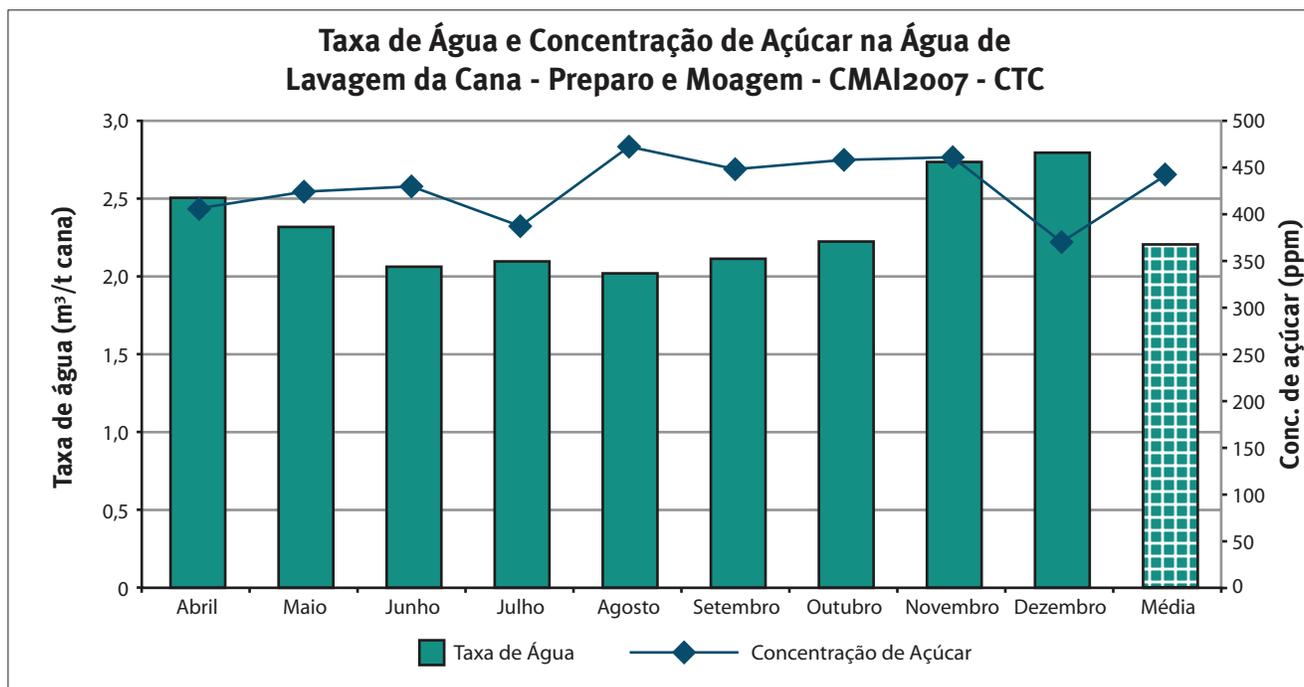


Figura 24 - Variações das médias mensais da taxa de água (m³/t cana) e da concentração de açúcar (ppm) na água de lavagem da cana (ELIA NETO et al., 2008).

A quantidade de água utilizada na lavagem de cana depende basicamente da inclinação da mesa de recepção de cana. No passado, as mesas eram planas ou com inclinações baixas (de 12° a 18°), o que exigia uma maior quantidade de água para cada tonelada de cana lavada, ao redor de 10 m³/t cana total. Com as mesas atuais com inclinação de 45°, a cana recebe a água distribuída no topo da mesa, que cai em contracorrente com a cana, na medida em que esta vem subindo a rampa através de sistema de correntes. Desta forma, há um maior tempo de contato entre água e cana, aumentando-se assim a eficiência da lavagem com taxas de uso de água menores, em torno de 5 m³/t cana total.

Devem ser considerados, também, outros fatores para uma boa operação de lavagem, como a adequação da espessura do feixe de cana e das velocidades das esteiras de cana.

Com a não lavagem da cana-picada devido à perda muito alta de açúcar, e sabendo que uma usina pode receber os dois tipos de cana (inteira e picada), pode-se ter taxas brutas de uso de água de lavagem de cana como informadas: 2,2 m³/t cana total. Tem-se observado uma queda sensível deste uso de água com o tempo, devido ao avanço da colheita mecanizada de cana-picada na região canavieira Centro-Sul, como mostrado no gráfico da Figura 25.

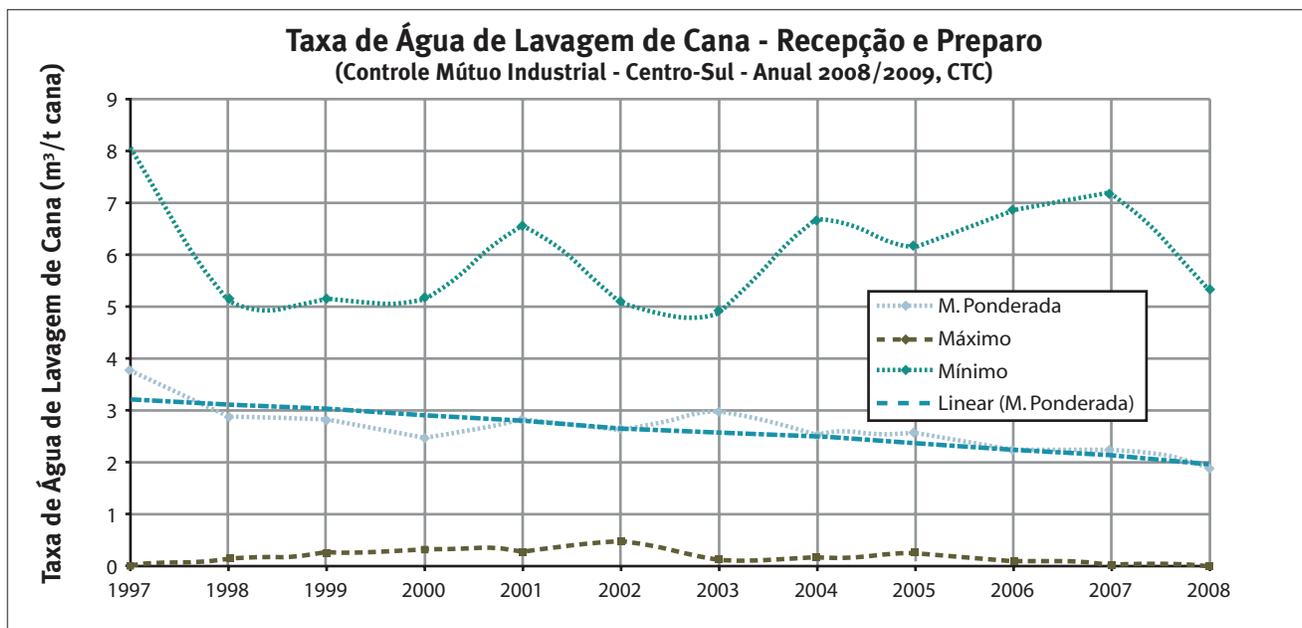


Figura 25 - Variação da média anual da taxa de lavagem de cana, em m³/t cana moída, nas usinas da Região Canavieira do Centro-Sul (CTC, 2009).

Na mesa de recepção e de lavagem de cana, a água é distribuída no seu topo, passa pela cana, arrastando a terra, passa pelo fundo perfurado da mesa e é encaminhada para o sistema de tratamento deste efluente para reúso. Não há grande exigência de qualidade da água para esta operação de limpeza, preocupando-se mais com os aspectos de corrosão (com a correção do pH), abrasão (com a retirada de sólidos) e contaminação. O efluente gerado possui matéria orgânica expressa por DBO₅ de 180 a 500 mg/L, e alta concentração de sólidos.

Com a redução gradativa da queimada na colheita da cana, prevista na legislação e em acordos voluntários, como o Protocolo Agroambiental no Estado de São Paulo (eliminação da queimada em 2014 e 2021

no estado de São Paulo, respectivamente em áreas mecanizáveis e não mecanizáveis), os canaviais serão colhidos com máquinas e a cana será picada, o que torna a limpeza com água inviável devido às perdas consideráveis de açúcar.

A alternativa tecnológica para esta etapa do processo é a eliminação do uso de água, utilizando-se o processo de limpeza de cana a seco, como se verá no item referente à Produção mais Limpa (P+L). Mesmo adotando este sistema, necessita-se de uma pequena parcela de água para limpeza das correntes, esteiras e arraste da terra que se acumula sob a mesa, com exigência de adaptações das mesas e de recolhimento mecânico das impurezas minerais.

5.1.1.2. Embebição das moendas

O objetivo da embebição das moendas é embeber o bagaço com água para dissolver a sacarose ainda contida, aumentando o poder de extração. A água é adicionada no bagaço que alimenta o último terno, sendo o caldo diluído obtido após o esmagamento circulado em contra corrente ao fluxo do bagaço para embeber o terno anterior, assim sucessivamente até ser recolhido no segundo terno. Formando o caldo dito “misto”, que é normalmente encaminhado para a pro-

dução de etanol, podendo ou não receber parte do caldo primário. O caldo primário obtido no primeiro terno normalmente é enviado para a produção de açúcar. A mistura completa de ambos os caldos também é denominada de caldo misto sendo utilizada em destilarias autônomas ou fábricas de açúcar.

Na Figura 26 é apresentada a variação da embebição nos últimos 10 anos com base nos dados do Mútuo - Industrial (CTC, 2009); por sua vez, na Figura 27 é apresentada a variação mensal da embebição no ano de 2007.

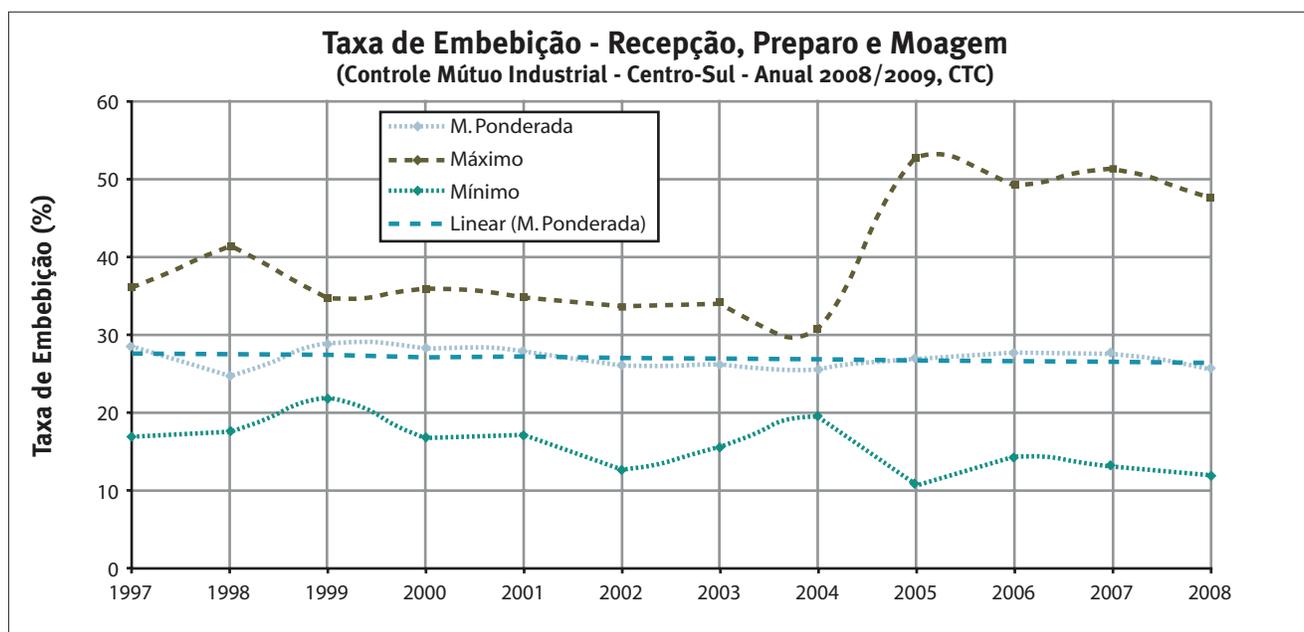


Figura 26 - Variação da média anual da taxa de embebição (%) nas usinas da Região Canavieira do Centro-Sul (CTC, 2009).

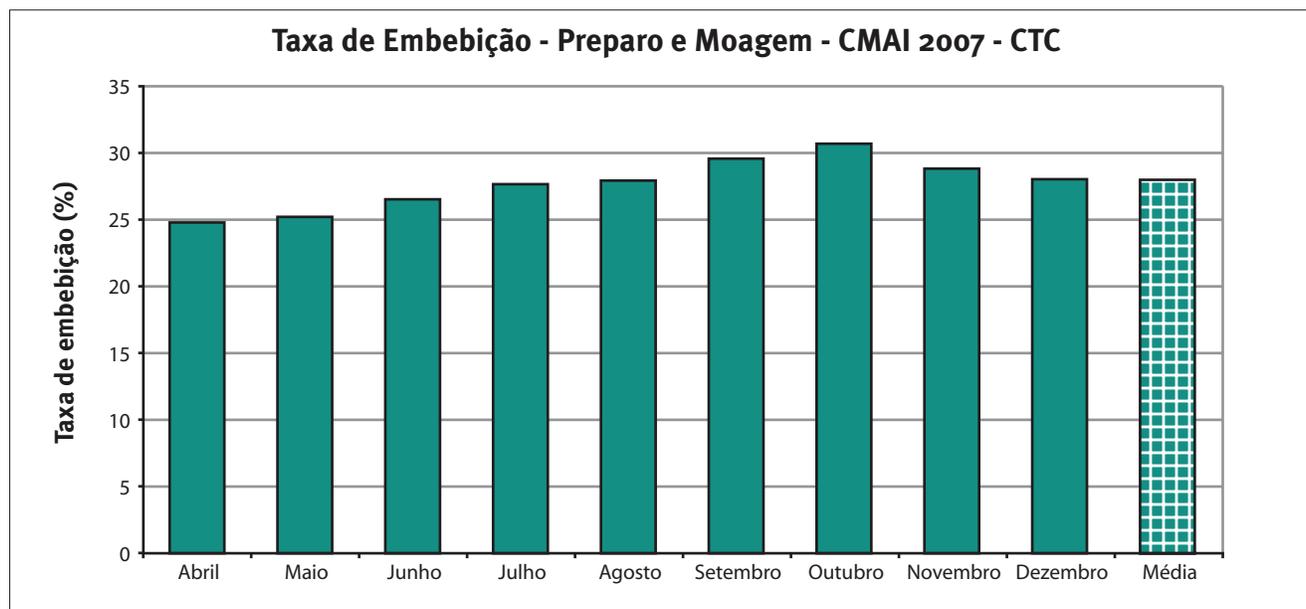


Figura 27 - Variações das médias mensais da taxa de embebição de moendas. (ELIA NETO et al., 2008).

Observa-se que a taxa de embebição média situa-se na faixa de 25 a 30% em peso de cana, ou seja de 25 a 30 m³ de água por tonelada de cana moída. A grande variação da taxa de embebição para mais e para menos, notadamente na faixa de 20 a 40%, refere-se às condições que a usina suporta maior ou menor quantidade de água adicionada ao caldo, uma vez que esta água deverá ser evaporada posteriormente na fábrica. Vale, portanto, a capacidade de evaporação e do balanço térmico (vapor disponível) para equilibrar a água adicionada na embebição. Também deve ser considerado que a extração da sacarose pode ser feita não com moendas, mas com difusores, que requerem maiores taxas de embebição, havendo um significativo número de usinas com este tipo de equipamento. Desta forma, pode-se resumir que quanto maior a taxa de embebição maior será a extração, porém dependerá de: capacidade de evaporação da fábrica de açúcar (evaporadores múltiplos efeitos), disponibilidade de vapor de escape, tipo de equipamento de extração (moendas ou difusores), quantidade de ternos no caso de moendas e aspectos tecnológicos da cana, como pureza e teor de fibra, devendo-se levar em conta em última análise o custo-benefício da maior extração da sacarose residual no bagaço.

Outro aspecto importante para a embebição é a qualidade da água utilizada, que deve possuir uma boa capacidade de dissolução da sacarose, ou seja, água com baixa quantidade de sólidos dissolvidos e temperatura alta. No caso de moendas, a temperatura final da água de embebição não deve ultrapassar o limite de 60°C, pois poderá provocar:

- a) o amolecimento das fibras, que dificulta a moagem;
- b) a formação de neblinas e calor excessivo, o que impossibilita a soldagem manual dos solos de moendas.

Para manter a temperatura numa faixa adequada, normalmente utiliza-se uma mistura de água condensada (mais quente) com água fria. No caso de difusor, não existem estes tipos de problemas e pode-se reutilizar apenas água condensada na embebição.

Preferencialmente, o controle da água de embebição deve ser feito com medidores de vazão, ou seja, o processo direto de determinação da taxa de embebição. Poucas usinas têm este tipo de controle de adição de água, utilizando-se de algumas metodologias para estimar a água adicionada, entre as quais:

- Processo direto: medindo a vazão de água de embebição, calcula-se a taxa de embebição em relação à moagem da cana com o auxílio da Equação 1:

Eq.1:

$$Tx_{embebição} = \frac{Q_{embebição} * 100}{M_{cana}}$$

Em que:

$Tx_{embebição}$ = taxa de água de embebição das moendas em peso percentual de cana [%];

$Q_{embebição}$ = vazão de água para embebição [m³/h];

M_{cana} = peso de cana moída [t/h]

- Processo indireto: a taxa de embebição é calculada a partir do conhecimento do Brix do caldo primário da cana (caldo de primeira prensagem - 1º terno) e do Brix do caldo misto final, assumindo a saída de uma única corrente de caldo na extração, através de um balanço de massa, ou seja, o quanto a solução inicial de açúcar esta sendo diluída pela embebição (Equação 2):

Eq. 3:

$$Tx_{embebição} = \frac{100 * Brix_{cana} - \frac{Fibra_{cana}}{Fibra_{bagaço}} * Brix_{bagaço}}{Brix_{misto}} + \frac{Fibra_{cana}}{Fibra_{bagaço}} * 100 - 100$$

Em que:

$Brix_{cana}$ = teor de sólido dissolvido na cana em relação ao peso da cana [%];

$Brix_{bagaço}$ = teor de sólido dissolvido no bagaço relação ao peso do bagaço [%];

$Brix_{misto}$ = teor de sólido dissolvido no caldo misto em relação ao peso do caldo misto [%];

$Fibra_{cana}$ = teor de fibra na cana [%];

$Fibra_{bagaço}$ = teor de fibra no bagaço [%];

Observações:

a) Pode-se estimar a taxa de embebição em função da Pol (polarização, medida do teor de sacarose) ou da ART (Açúcares Recuperáveis Totais), substituindo o Brix nas equações por cada uma dessas variáveis.

b) No caso de divisão de caldo na extração, em primário (para açúcar) e misto (para etanol), a Equação 3 é ligeiramente diferente, sendo necessária a obtenção

Eq. 2:

$$Tx_{embebição} = \frac{(Brix_{primário} - Brix_{misto}) * 100}{Brix_{primário}}$$

Em que:

$Brix_{primário}$ = teor de sólido dissolvido no caldo primário [%];

$Brix_{misto}$ = teor de sólido dissolvido no caldo misto [%]

- Método inferencial: a taxa de embebição é determinada a partir do conhecimento de parâmetros tecnológicos da cana, do bagaço e do caldo. Esses parâmetros são normalmente obtidos no laboratório do sistema de pagamento de cana pelo teor de sacarose - PCTS, normalizado pelo CONSECANA (2003), através de um balanço de massa na moenda, ou seja, entra cana mais água de embebição e sai caldo misto mais bagaço. No caso de não haver divisão de caldo na saída, isto é, uma mistura de caldo primário com misto, formando o caldo misto final, o cálculo da embebição é realizado com o auxílio da Equação 3:

de parâmetros também do caldo primário e da fibra primária para se efetuar o balanço.

c) Uma metodologia específica para procedimentos e determinação dos parâmetros tecnológicos do processo industrial é apresentada no Capítulo 6 do Manual de Controle Químico da Fabricação de Açúcar (CTC, 2005).

5.1.1.3. Resfriamento de mancais da moenda

Os mancais são conjuntos destinados a suportar as solicitações de peso e rotação de eixos. Nas moendas são utilizados mancais do tipo deslizante, com casquilhos construídos em bronze, para apoiar as duas extremidades dos eixos dos rolos das moendas. Entre o eixo e o mancal é injetado óleo lubrificante sob pressão. É formado um filme entre as partes móveis, sendo este óleo, em sistema de perda total, recolhido em canaletas e enviado para empresa recuperadora, juntamente com o óleo lubrificante usado nos mancais de engrenagens abertas (volandeiras e intermediárias), que não são res-

friados com água. Na parte interna dos casquilhos existem veios ou serpentinas de refrigeração por onde circula água para dissipação do calor gerado pelo deslizamento entre as peças. O óleo lubrificante e a água de resfriamento não têm contato no mancal e, portanto, não se misturam, salvo quando há problemas de vazamento pela ruptura da serpentina ou trinca nos veios.

A água utilizada para resfriar os casquilhos dos mancais deve ser limpa e fria, pois o excesso de calor poderia provocar uma perda de qualidade do óleo lubrificante e desgaste e avaria no mancal.

Na Figura 28 é apresentada uma ilustração esquemática de um mancal de apoio de eixo da moenda.

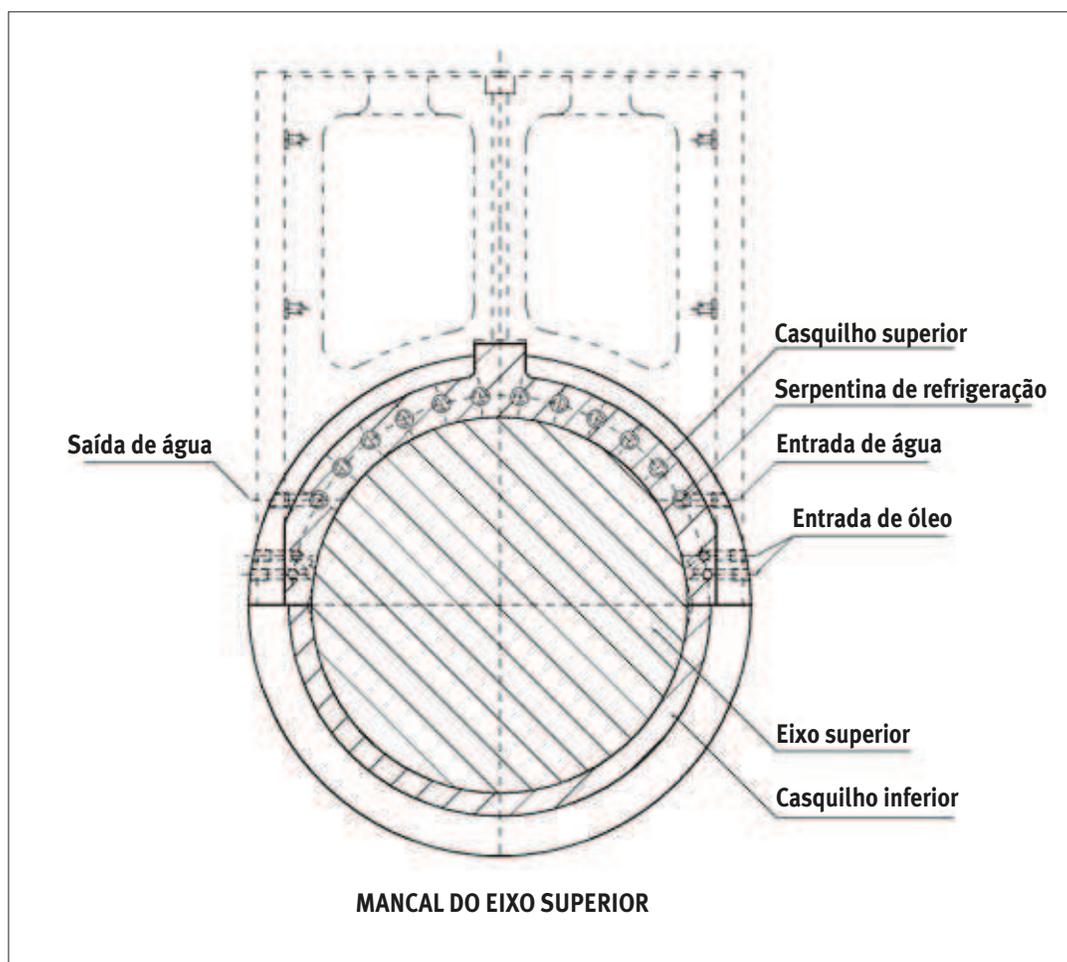


Figura 28 - Ilustração esquemática de um mancal superior de um terno de moenda.

A vazão de água de resfriamento depende do tamanho e do número de ternos da moenda e é normalmente especificada pelo fabricante da moenda. O cálculo da quantidade de água necessária está ligado à quantidade de calor a se dissipar e, em última análise, a carga hidráulica total no terno da moenda, sua rotação e as características do mancal. Na falta de informação do fabricante, a Equação 4 pode ser utilizada para estimar a quantidade de água de resfriamento necessária para os mancais de moendas, que possuem 6 mancais para cada terno.

Eq. 4:

$$Q_{resf\ mancais} = \frac{f_s * 0,0523 * F * D * n}{3 * N_{mancal} * \Delta T_{\acute{a}gua}} = \frac{0,1046 * F * D * n}{N_{mancal} * \Delta T_{\acute{a}gua}}$$

Em que:

$Q_{resf\ mancais}$ = vazão de água de resfriamento em cada mancal [L/min.];

f_s = fator de segurança de suprimento de água [$f_s = (\text{vazão real})/(\text{vazão teórica}) = 6$];
 F = carga hidráulica total aplicada no terno da moenda [t];
 D = diâmetro do rolo da moenda [m];
 n = rotação da moenda, próximo a 7 rpm;
 N_{mancal} = quantidade de mancal/terno (6 mancais);
 $\Delta T_{\acute{a}gua}$ = diferencial de temperatura da água de resfriamento, ($T_{\text{quente}} - T_{\text{fria}}$), normalmente 6°C

Na Tabela 10 são relacionadas as vazões de água de resfriamento dos mancais de acordo com o tamanho da moenda, servindo de base para estimar a quantidade total de água utilizada nesta operação, conforme a quantidade de moendas e número de ternos de cada moenda.

Tabela 10 - Quantidade de água de resfriamento dos mancais de moendas.

Ternos de Moendas				Qresf _{mancal} ^{(*)2} [litro/min/terno]
Tamanho (D"xL")	F ^{(*)1} [t/terno]	Potência [cv/terno]	Capacidade [t cana/h]	
46" x 90"	588	1.917	892	84
42" x 84"	501	1.492	694	65
42" x 78"	465	1.385	644	61
37" x 78"	410	1.075	500	47
37" x 66"	347	939	437	40
36" x 72"	368	910	423	41
34" x 66"	319	768	357	34
34" x 54"	261	629	292	27
30" x 60"	255	544	253	24
30" x 54"	230	489	228	21
26" x 48"	177	327	152	14
20" x 36"	102	145	67	6

(*)1 F, carga hidráulica total aplicada no terno da moenda = $PHE * 0,1 * L * D$ (HUGOT, 1977), tendo-se assumido PHE, densidade de carga = 22 t/dm²; L, comprimento do rolo em dm, e D em dm.

(*)2 Para o cálculo da vazão de água de resfriamento do terno ($6 * Q_{resf\ mancal}$) adotou-se o diferencial de temperatura da água de 6°C e a rotação da moenda (n) de 7 rpm.

Considerando uma situação normal no setor com moendas de 6 ternos, chega-se a uma potência específica para as moendas de aproximadamente 13 cv/t cana, resultando num uso de água para resfriar os mancais de 0,035 m³/t cana.

A água deve ser limpa, preferencialmente potável e com temperatura ambiente, para evitar entupimento e corrosão, sendo produzido um efluente também límpido e morno com cerca de 6°C acima da temperatura de entrada. Esse efluente pode ser reaproveitado em vários outros usos, tomando-se os devidos cuidados quando ocorrer contaminação acidental com vazamento de óleo. A reciclagem da água com o resfriamento por torres também é uma opção, existindo o perigo de contaminação da água do circuito pelo ar, dando-se assim preferência pelo reúso deste efluente em outras fases do processo industrial.

5.1.1.4. Resfriamento do óleo dos equipamentos do preparo e extração

Os mancais das turbinas de acionamento dos equipamentos e os mancais dos equipamentos da área de preparo e extração, ou seja, dos picadores, desfibradores e redutores, são do tipo rolamento, e são lubrificados e refrigerados com óleo, em sistema de recirculação, juntamente com o óleo lubrificante dos redutores. Após o uso, o óleo atinge temperaturas relativamente

altas, na faixa de 60°C, sendo resfriado com água em trocadores de calor tipo casco-tubo, visando abaixar sua temperatura para cerca de 45°C. Neste trocador é utilizada água limpa fria, normalmente potável, que sai a uma temperatura cerca de 3°C maior mas continua limpa, pois não há contato óleo-água no trocador de calor, a não ser em caso de vazamento.

A vazão de uso de água situa-se normalmente na faixa de duas vezes a vazão de óleo lubrificante em circulação, quantidade que é indicada pelo fabricante do equipamento e se relaciona à potência do equipamento. Na falta de dados do fabricante, a vazão de óleo do redutor pode ser estimado pela Equação 5:

Eq. 5:

$$Q_{\text{óleo redutor}} = \sqrt{\left(\frac{Pot}{18}\right)^2 + 200}$$

Em que:

$Q_{\text{óleo redutor}}$ = vazão de óleo

lubrificante no redutor [L/min];

Pot = potência do equipamento [kW]

Relacionando os equipamentos e conhecendo a quantidade de óleo lubrificante em circulação e suas características, pode-se estimar a quantidade de água de resfriamento necessária a partir de um balanço térmico, obtendo-se taxa de uso de água ($Tx_{\text{água}}$) igual a 2,07 litros de água por litro de óleo, conforme demonstração e dados adotados na Equação 6.

Eq. 6:

$$C_{\text{calor}}_{\text{óleo}} = C_{\text{calor}}_{\text{água}} \Leftrightarrow Q_{\text{óleo}} * D_{\text{óleo}} * c_{\text{esp}}_{\text{óleo}} * \Delta T_{\text{óleo}} = Q_{\text{resf}}_{\text{água}} * D_{\text{água}} * c_{\text{esp}}_{\text{água}} * \Delta T_{\text{água}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{Q_{\text{resf}}_{\text{água}}}{Q_{\text{óleo}}} = \frac{D_{\text{óleo}} * c_{\text{esp}}_{\text{óleo}} * \Delta T_{\text{óleo}}}{D_{\text{água}} * c_{\text{esp}}_{\text{água}} * \Delta T_{\text{água}}} = \frac{900 * 0,46 * 15}{1000 * 1 * 3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Tx_{\text{água}} = 2,07. [L/L \text{ óleo}]$$

Em que:

$Tx_{\text{água}}$ = taxa de uso de água de resfriamento em relação ao óleo recirculado [L/L];

$C_{\text{calor}}_{\text{óleos}}$ = quantidade de calor no óleo após uso [kcal];

$C_{\text{calor}}_{\text{água}}$ = quantidade de calor na água após troca [kcal];

$Q_{\text{óleo}}$ = vazão de óleo lubrificante em recirculação [L/min];

$Q_{\text{resf}}_{\text{água}}$ = vazão de água de resfriamento [L/min];

$D_{\text{óleo}}$ = densidade do óleo, adotada = 900 kg/m³;

$D_{\text{água}}$ = densidade da água de resfriamento = 1000 kg/m³;
 $c_{\text{esp}}_{\text{óleo}}$ = calor específico do óleo = 0,46 kcal/kg.°C;
 $c_{\text{esp}}_{\text{água}}$ = calor específico da água de resfriamento = 1 kcal/kg.°C;
 $\Delta T_{\text{óleo}}$ = diferencial de temperatura no óleo, aproximadamente 15 °C;
 $\Delta T_{\text{água}}$ = diferencial de temperatura na água, aproximadamente 3 °C

Pode-se utilizar uma maior ou menor quantidade de água, conforme a temperatura da água disponível. Na Tabela 11 são relacionadas estimativas das vazões necessárias de águas de resfriamento nos trocadores de

calor do óleo de acordo com a potência dos equipamentos e dados de troca térmica adotados. Esses dados servem para estimar a quantidade total de água a ser utilizada, na falta de dados do fabricante.

Tabela 11 - Quantidade de água de resfriamento dos trocadores de calor do óleo das turbinas e equipamentos da área de extração e moagem

Equipamentos: Turbinas, Picadores e Desfibradores			Vazão de Água de Resfriamento [L/min]
Potência		Vazão de Óleo do Redutor	
[cv]	[kW]	[L/min]	
500	373	25	51
750	560	34	70
1.000	746	43	89
1.200	895	51	106
1.500	1.119	63	130
2.000	1.491	83	172
3.000	2.237	123	255

(*) No caso de picador (facas) e desfibrador, considerar mais 15% para resfriamento dos óleos de cada mancal de rolamento, ou seja, 30% a mais por equipamento. No caso de volandeiras o óleo (ou graxa) não é recuperado.

Considerando uma situação normal no setor de preparo com 2 picadores e 1 desfibrador, a potência específica situa-se em 10 cv/t cana. Na extração com os acionamentos das moendas com 6 ternos tem-se uma potência específica instalada de aproximadamente 23 cv/t cana. Em ambos setores com o nível de potência instalado de 33 cv/t cana resulta num uso de água para resfriamento do óleo em 0,130 m³/t cana.

O reúso é similar aos das águas de resfriamento de mancais, ou em circuito fechado com resfriamento em torres, ou preferencialmente em outras fases do processo, dispensando torres e tratamentos.

5.1.2. Água no setor de tratamento do caldo

Nas Figuras 29 a 31 são apresentadas, em fluxogramas, as etapas do processo de tratamento do caldo de cana, onde o caldo é preaquecido, passando por sulfitação (quando da produção de açúcar branco), recebe o leite de cal e, em seguida, é decantado, obtendo-se o caldo clarificado tanto para o setor de açúcar como para o setor de etanol. Também se tem o lodo retirado do fundo do decantador, que é enviado para lavagem e filtra-

gem a vácuo, visando recuperar o açúcar residual neste lodo, produzindo o caldo filtrado que retorna ao processo e a torta de filtro que é utilizada como adubo na lavoura. Basicamente, têm-se cinco usos diretos de água nestas etapas: a água de resfriamento da enxofreira, a água para formar o leite de cal, a água para preparo de

polímero, água de lavagem de torta e água dos condensadores barométricos dos filtros rotativos com vácuo. O vapor utilizado para o preaquecimento e aquecimento do caldo também será tratado neste manual como um uso de água. Aspectos das águas de limpeza de piso e equipamentos serão abordados no item sobre efluentes.

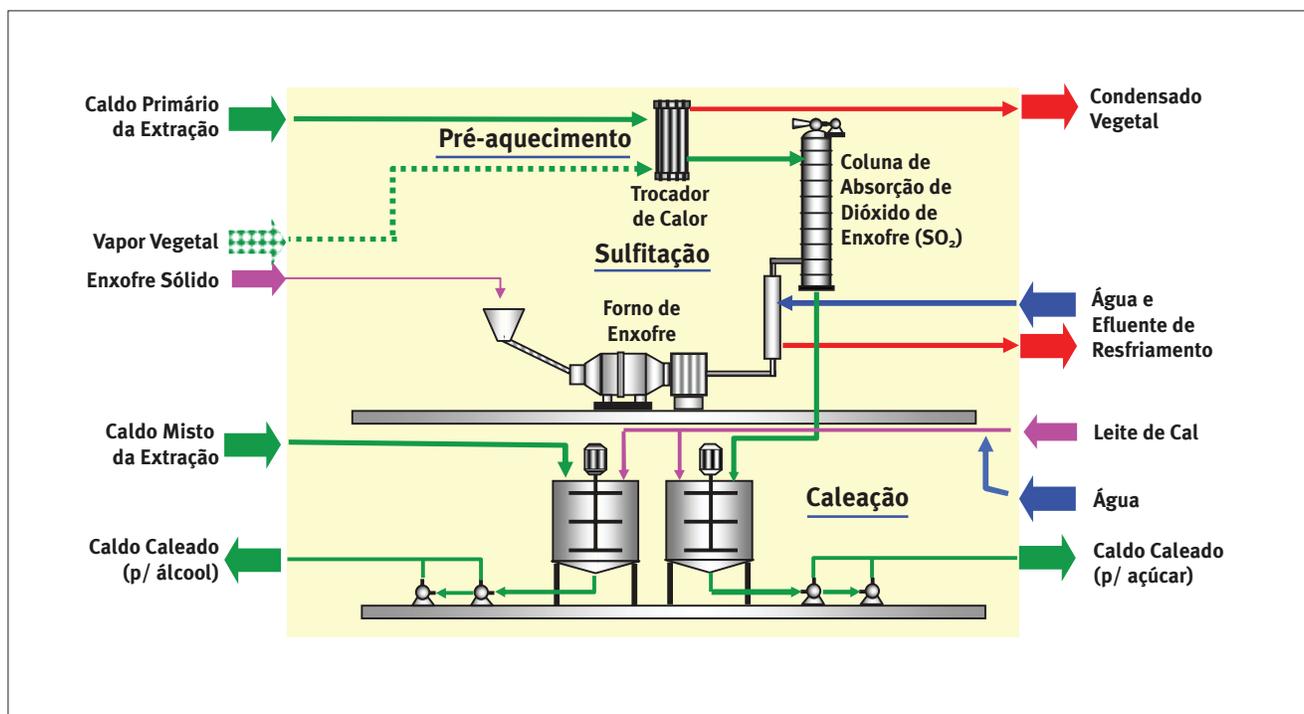


Figura 29 - Fluxograma do tratamento de caldo, etapas: pré-aquecimento, sulfitação e caleação.

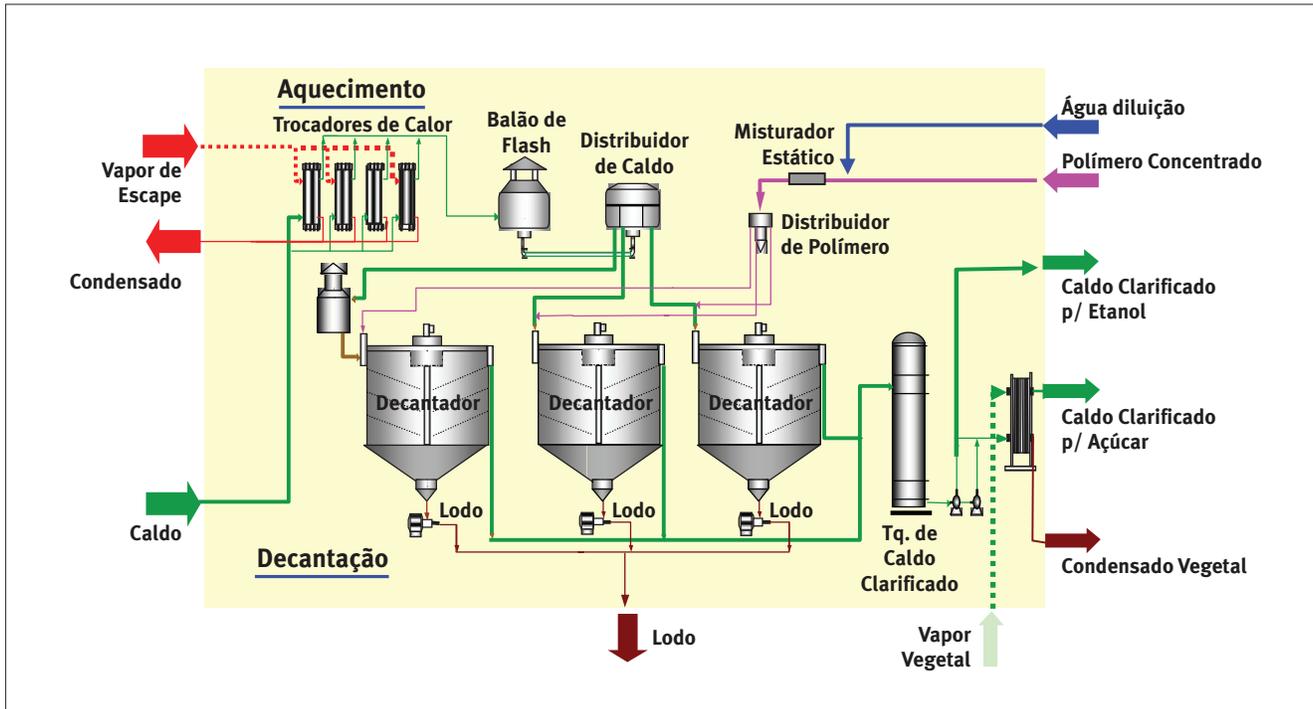


Figura 30 - Fluxograma do tratamento de caldo, etapas: aquecimento e decantação.

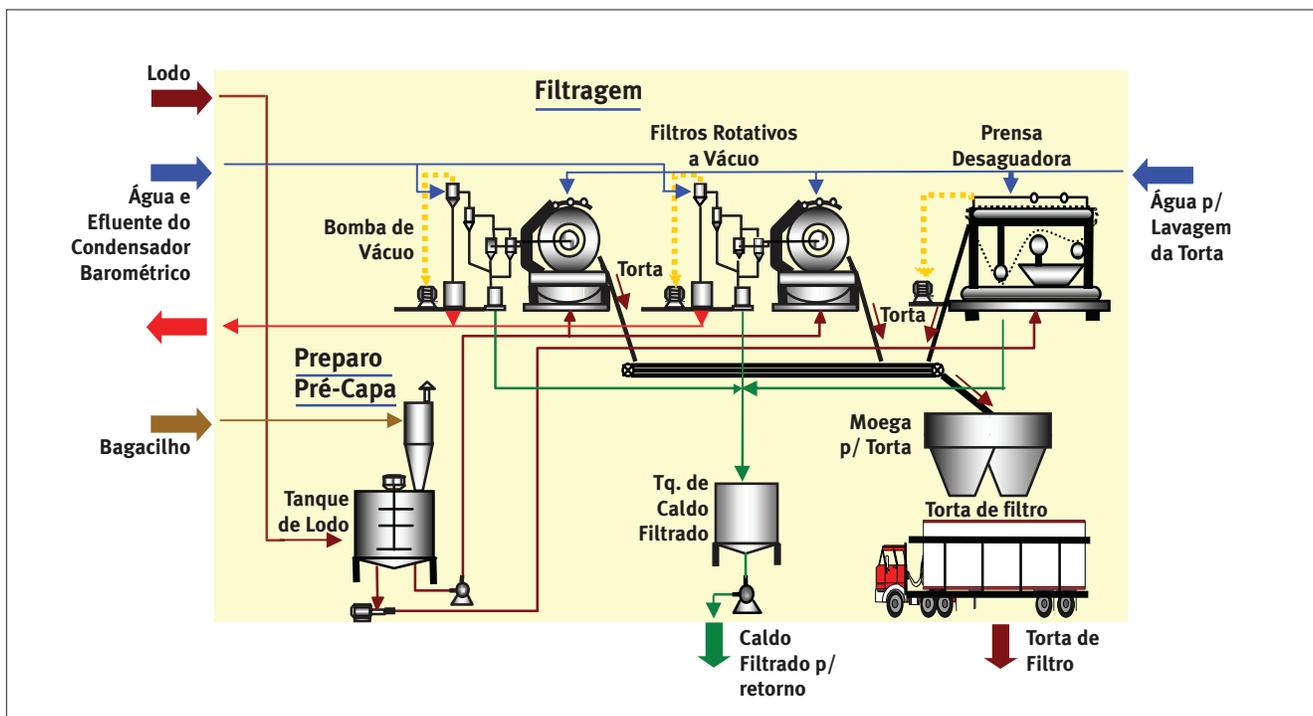


Figura 31 - Fluxograma dos setores de tratamento de caldo (lavagem da torta).

5.1.2.1. Resfriamento da sulfitação do caldo

A sulfitação é uma etapa do processo de branqueamento do açúcar, sendo realizada com o gás dióxido de enxofre (SO₂) formado na queima de enxofre elementar em forno. O gás é absorvido pelo caldo reagindo com as impurezas, formando sólidos suspensos que são retirados posteriormente na decantação do caldo para fabricação de açúcar branco. Há necessidade de se manter a temperatura do gás abaixo de 200°C, pois a queima do enxofre na presença do ar é uma reação de oxidação com desprendimento de energia, conforme a reação química:



Com a elevação descontrolada da temperatura haverá liberação do anidrido sulfúrico (SO₃) pela reação do anidrido sulfuroso (SO₂) com o ar, (2SO₂ + 2O → 2SO₃ + 23 kcal), formando sais insolúveis no caldo. Pode ainda ser formado ácido sulfúrico com a reação do SO₃, uma vez que circula umidade do ar no forno e esse ácido pode vir a promover corrosões.

O resfriamento dos gases é feito em uma camisa, antes da torre de absorção, utilizando-se água bruta e produzindo um efluente morno sem contato com o produto, se não ocorrer contaminação no ambiente

pelo enxofre elementar (canaletas abertas no piso).

A quantidade de água de resfriamento dos gases da enxofreira pode ser calculada por balanço térmico (gás - água) na camisa de resfriamento, considerando a reação química envolvida e os parâmetros operacionais e consumo médio de enxofre, em torno de 150 g por saco de açúcar branco produzido (cerca de 300 g/t_{cana} para açúcar). Assim:

- Características do processo:

Temperatura inicial dos gases:	400°C
Temperatura final dos gases:	200°C
Velocidade dos gases:	2,0 a 2,5 m/s
Teor de SO ₂ nos gases:	6%
Volume específico dos gases:	1,17 m ³ /kg
Calor específico dos gases:	0,276 kcal/kg.°C
Composição dos gases:	6% SO ₂ , 15% O ₂ e 78% N ₂
Peso molecular médio dos gases:	30,8
Diferencial de temperatura na água após resfriamento	3°C
- Produção de SO₂ por tonelada de cana:

Enxofre (S)	SO ₂
32 g de S	64 g de SO ₂
0,300 kg S/t cana	0,600 kg SO ₂ /t cana
- Produção de gases a serem resfriados por tonelada de cana, conforme Equação 6 e seu desenvolvimento na Equação 7:

Eq. 6:

$$\begin{aligned} Q_{\text{gases}} &= m_{\text{gases}} * V_{\text{esp}}_{\text{gases}} = (NMol_{\text{gases}} * PMol_{\text{gases}}) * V_{\text{esp}}_{\text{gases}} = \\ Q_{\text{gases}} &= \left(100 * \frac{NMol_{\text{SO}_2} * PMol_{\text{gases}}}{Tx_{\text{SO}_2}} \right) * V_{\text{esp}}_{\text{gases}} = \left(100 * \frac{\left(\frac{m_{\text{SO}_2}}{PMol_{\text{SO}_2}} \right) * PMol_{\text{gases}}}{Tx_{\text{SO}_2}} \right) * V_{\text{esp}}_{\text{gases}} \\ Q_{\text{gases}} &= \frac{100 * 0,600 * 30,8 * 1,17}{64 * 6} = 5,63 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \end{aligned}$$

Em que:

Q_{gases} = vazão dos gases a resfriar por tonelada de cana, com resultado 5,63 m³/h;

m_{gases} = massa dos gases a resfriar [kg];

$V_{\text{esp}}_{\text{gases}}$ = volume específico dos gases a resfriar = 1,17 m³/kg;

$NMol_{\text{gases}}$ = quantidade de moles nos gases a resfriar, adimensional;

$PMol_{\text{gases}}$ = peso molecular médio dos gases a resfriar = 30,8 g;

$NMol_{\text{SO}_2}$ = quantidade de moles no gás SO₂, adimensional; e

Tx_{SO_2} = teor de SO₂ nos gases a resfriar = 6%.

- Balanço térmico gases da enxofreira x água de resfriamento (Equacionamento 7):

Eq. 7:

$$Ccalor_{gases} = Ccalor_{água} \Leftrightarrow \frac{Q_{gases} * Cp_{gases} * \Delta T_{gases}}{Vesp_{gases}} = Q_{resf_{enxof}} * D_{água} * Cp_{água} * \Delta T_{água} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{resf_{enxof}} = \frac{\frac{Q_{gases} * Cp_{gases} * \Delta T_{gases}}{Vesp_{gases}}}{D_{água} * Cp_{água} * \Delta T_{água}} = \frac{\frac{Q_{gases} * Cp_{gases} * \Delta T_{gases}}{Vesp_{gases}}}{\Delta T_{água}} =$$

$$Q_{resf_{enxof}} = \frac{5,63 * 0,276 * (400 - 200)}{1000 * 1,17 * (33 - 30)} = 0,0885 \left[\frac{m^3}{h} \right] \Rightarrow ou \cong 0,100 \left[\frac{m^3}{t\ cana} \right]$$

Em que:

$Q_{resf_{enxof}}$ = vazão de água de resfriamento dos gases da enxofreira = 0,0885 m³/h;

$Ccalor_{gases}$ = quantidade de calor nos gases [kcal];

$Ccalor_{água}$ = quantidade de calor na água após troca [kcal];

Q_{gases} = vazão dos gases da enxofreira = 5,63 m³/h;

$Vesp_{gases}$ = volume específico dos gases = 1,17 m³/kg;

$D_{água}$ = densidade da água de resfriamento = 1000 kg/m³;

Cp_{gases} = calor específico dos gases = 0,276 kcal/kg.°C;

$Cp_{água}$ = calor específico da água de resfriamento = 1 kcal/kg.°C;

ΔT_{gases} = diferencial de temperatura no óleo = 400 - 200 = 200°C;

$\Delta T_{água}$ = diferencial de temperatura na água, aproximadamente 3°C.

Outra maneira simplificada é considerar a remoção da metade da caloria da reação exotérmica do enxofre (70 kcal/64g_{SO2}). Neste caso, para as 600 g/t cana é necessária a remoção de metade de 656,25 kcal/t cana, que serão absorvidas pela água de resfriamento (com calor específico de 1 kcal/kg.°C), em um diferencial de temperatura de 3°C, estimando a vazão de água de resfriamento em (656,25/2/3 = 109 kg/t cana), ou seja, aproximadamente 0,1 m³/t cana para açúcar.

Observa-se que na produção de açúcar VHP (“very high polarization”) ou VVHP (“very very high polarization”), tipos de açúcares brutos para a exportação que não são branqueados, não há a etapa de sulfitação no seu processamento.

5.1.2.2. Preparo do leite de cal

Na etapa de caleação é adicionado o leite de cal no caldo, para aumentar o seu pH até um valor aproxima-

mado de 7,0 a 7,2, visando a sua neutralização e otimização da decantação. O óxido de cálcio, CaO, também conhecido como cal virgem, é ainda hoje o mais utilizado agente purificador do caldo de cana, pelo custo moderado e também pela fácil obtenção.

A cal é obtida da decomposição térmica do carbonato de cálcio (CaCO₃) em fornos especiais e temperaturas adequadas, pela seguinte reação química: CaCO₃ + 42,5 kcal ➤ CaO + CO₂. A cal utilizada para a clarificação deve ser nova, com alto grau de pureza e livre de areia ou pedras, com teor de CaO útil de 85 a 90%. As impurezas presentes na cal são oriundas da rocha que lhe deu origem e não são determinadas rotineiramente na usina de açúcar.

O leite de cal é obtido pela hidratação ou “queima” da cal virgem. A temperatura e o tempo de repouso após a hidratação são importantes para a qualidade do leite de cal obtido. Normalmente, as usinas operam com a cal de duas maneiras. Quando a cal é recebida a granel, ela é levada a piscinas de cal, onde é queimada,

e posteriormente enviada a tanques de diluição. No caso em que a cal é recebida em “big-bag”, na forma de pó, ela é enviada ao tanque de hidratação e posteriormente ao tanque de diluição.

As usinas vêm substituindo o cal calcítico, que tem alto teor de CaO, por cal dolomítico, que tem maior concentração de MgO, por entenderem que a incrustação provocada pelo magnésio é mais branda. Consideram que, dessa forma, é facilitada a remoção das incrustações nos equipamentos (aquecedores, evaporadores, tubulações, etc.), embora não se tenha ainda uma comprovação da efetividade dessa substituição.

O consumo médio de cal, incluindo a parte que é utilizada no tratamento da água de lavagem de cana, é 1.000 g/t cana. No manuseio da cal, primeiramente é preparada uma pasta com densidade 15°Bé, na piscina de cal. Em seqüência, esta pasta é diluída nos tanques

de diluição formando o leite de cal, situação em que são recomendadas baixas concentrações, da ordem de 5 a 6°Bé, o que favorece o controle automático de pH. O uso de água para preparar a pasta e o leite de cal para uma tonelada de cana por hora é estimado conforme as Equações 8 e 9 e os dados a seguir:

- Reação da queima da cal

$$\text{CaO} + 2\text{HO}_2 \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 15,2 \text{ kcal}$$
- Preparo da pasta:
 Consumo médio de cal por tonelada de cana:
 1.000 g CaO
 Concentração da pasta: 15°Bé
- Diluição do leite de cal
 Concentração do leite de cal 5°Bé

Eq. 8:

$$Q_{\text{água}}_{\text{pasta}} = \left(\frac{\text{Cons}_{\text{CaO}} * \text{Dens}_{\text{pasta}}}{\text{Conc}_{\text{CaO}}} - \frac{\text{Cons}_{\text{CaO}}}{1.000} \right) * \text{Dens}_{\text{água}} = \left(\frac{1000}{148} * 1,116 - 1 \right) * 1 = 6,54. [\text{litros}]$$

Em que:

- $Q_{\text{água}}_{\text{pasta}}$ = vazão de água para preparo da pasta = 6,54 L/t cana;
- Cons_{CaO} = quantidade média de CaO consumida = 1.000 gCaO/t cana;
- Conc_{CaO} = concentração de CaO na pasta = 148 g CaO/L;
- $\text{Dens}_{\text{pasta}}$ = densidade da pasta = 1,116 g/cm³ = 1,116 kg/L; e
- $\text{Dens}_{\text{água}}$ = densidade da água = 1 g/cm³ ou 1 kg/L.

Eq. 9:

$$Q_{\text{água}}_{\text{diluição}} = \left(\frac{\text{Cons}_{\text{CaO}} * \text{Dens}_{\text{diluição}}}{\text{Conc}_{\text{diluição}}} - \frac{\text{Cons}_{\text{CaO}} * \text{Dens}_{\text{pasta}}}{\text{Conc}_{\text{pasta}}} \right) * \text{Dens}_{\text{água}} =$$

$$Q_{\text{água}}_{\text{diluição}} = \left(\frac{1000}{46} * 1,037 - \frac{1000}{148} * 1,116 \right) * 1 = 15,0. [\text{litros}]$$

Em que:

- $Q_{\text{água}}_{\text{diluição}}$ = vazão de água para preparo da diluição = 15 L/t cana;
- $\text{Conc}_{\text{diluição}}$ = concentração de CaO na diluição = 46 g CaO/L; e
- $\text{Dens}_{\text{diluição}}$ = densidade da pasta = 1,037 g/cm³ ou 1,037 kg/L.

- Total de água utilizada por tonelada de cana:
 Água para a pasta: 6,54
 Água para diluição: 15
 Total de água de preparo do leite de cal: ≈ 22

Adota-se, em média, uma taxa de uso de 0,03 m³/t cana, que cobre variações de concentrações, uso de cal e perdas. Na Tabela 12 são apresentadas as densida-

des, concentrações e teores de CaO do leite de cal conforme o grau Baumé.

Para o preparo de cal deve-se utilizar água bruta límpida, pois esta irá compor o caldo, e pode-se também utilizar condensados vegetais. Quando se utiliza o sacarato de cálcio, não há uso de água, pois a cal reage com o próprio caldo.

Tabela 12 - Características do leite de cal conforme o grau Baumé (°Bé).

°Bé	Densidade [kg/L]	Concentração [g/L de CaO]	Teor de CaO [%]
1	1,007	7,5	0,75
2	1,014	16,5	1,64
3	1,022	26,0	2,54
4	1,029	36,0	3,50
5	1,037	46,0	4,43
6	1,045	56,0	5,36
7	1,052	65,0	6,18
8	1,060	75,0	7,08
9	1,067	84,0	7,87
10	1,075	94,0	8,74
11	1,083	104,0	9,60
12	1,091	115,0	10,54
13	1,100	126,0	11,45
14	1,108	137,0	12,35
15	1,116	148,0	13,26

5.1.2.3. Água para preparo de polímero

No tratamento do caldo, é adicionado polímero como auxiliar da decantação, que promove o aumento da densidade das partículas através da formação de flocos mais densos. A água utilizada no preparo e dosagem do polímero deve ser de boa qualidade, isenta de dureza, uma vez que o polímero usualmente é aniônico e, desta forma, poderia ocorrer reação com os íons Ca^{++} ou Mg^{++} , inutilizando o polímero para a finalidade de decantação. Recomenda-se que a temperatura desta água não ultrapasse 50°C , sendo possível utilizar uma mistura de água fria com condensado.

Ao caldo é adicionado de 1 a 3 ppm de polímero, no máximo, sendo este preparado em um tanque com 0,1% de concentração. A solução concentrada e a água de diluição são misturadas em linha e dosadas na entrada do decantador de caldo. As respectivas quantidades necessárias de água são obtidas pelas equações 10 e 11:

- Preparo do polímero no tanque (0,1%)

Eq. 10:

$$Q_{\text{água}}_{\text{preparo}} = \frac{\text{Cons}_{\text{polímero}}}{\text{Conc}_{\text{preparo}}} = \frac{3}{1} = 3,0. [\text{litros}]$$

Em que:

$Q_{\text{água}}_{\text{preparo}}$ = vazão de água para preparo do polímero = 3 L/t_{cana}

$\text{Cons}_{\text{polímero}}$ = consumo de polímero, adotado = 3 ppm = 3 mg/L_{caldo} = 3 g/t_{cana}; e

$\text{Conc}_{\text{preparo}}$ = concentração de preparo = 0,1% = 0,001 kg/L = 1 g/L.

- Água de diluição adicionada juntamente com o polímero preparado:

Eq. 11:

$$Q_{\text{água}}_{\text{preparo}} = \frac{\text{Cons}_{\text{polímero}}}{\text{Conc}_{\text{preparo}}} = \frac{3}{1} = 3,0. [\text{litros}]$$

Em que:

$Q_{\text{água}}_{\text{preparo}}$ = vazão de água para preparo do polímero = 3 L/t cana;

$\text{Cons}_{\text{polímero}}$ = consumo de polímero, adotado 3 ppm = 3 mg/L_{caldo} = 3 g/t cana; e

$\text{Conc}_{\text{preparo}}$ = concentração de preparo = 0,2 g/L.

5.1.2.4. Aquecimento do caldo

Trata-se do aquecimento do caldo utilizando a água em forma de vapor, na realidade um reuso do vapor vegetal ou de escape. O caldo é aquecido de 30 para 105°C para auxiliar o processo de clarificação (melhoria nas condições de decantação através da diminuição da viscosidade), tendo também um efeito de descontaminação. A quantidade de vapor utilizada é obtida por balanço térmico, considerando 20% de caldo filtrado recirculado e perdas de calor em torno de 5%, conforme a Equação 12:

Eq. 12:

$$Q_{\text{vapor}} = \left(\frac{m_{\text{caldo}} * C_{p_{\text{caldo}}} * \Delta T_{\text{caldo}}}{CL_{\text{vapor}}} \right) * R * P = \left(\frac{1000 * 0,9 * (105 - 30)}{540} \right) * 1,2 * 1,05 = 157,5 \approx 160. [\text{kg}]$$

Em que:

Q_{vapor} = quantidade de vapor, resultando 160 kg/t cana;

m_{caldo} = massa de caldo a resfria, adotado = 1000 kg/t cana;

$C_{p_{\text{caldo}}}$ = calor específico do caldo a cerca de 15°Bé = 0,9 cal/g. $^{\circ}\text{C}$;

CL_{caldo} = calor latente no vapor = 540 cal/g;

ΔT_{caldo} = diferencial de temperatura no caldo = $105^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C} = 75^{\circ}\text{C}$;

R = Razão de recirculação de caldo de 20% = 1,2; e

P = Coeficiente de perda de calor, adotado 5% = 1,05

O aquecimento é feito em trocadores de calor tipo casco-tubo, com o caldo sendo aquecido com vapor vegetal (vv) da evaporação ou vapor de escape (ve), ou ainda, suplementarmente, em trocador regenerativo do caldo clarificado para etanol, que deve ser resfriado

- Aquecimento de caldo para açúcar:

Necessidade de vapor: 160 kg/t cana
 Única fase: de 30 a 105°C, com vapor escape (ve)
 Única fase: de 30 a 105°C, com vapor vegetal do pré (vv1)
 Em 2 fases: de 30 a 80°C, com vv-2, e 80 a 105°C, com vv1
 Em 3 fases: 30 a 60°C, com vv-3, 60 a 80°C, com vv-2, e 80 a 105°C, com vv1

- Aquecimento do caldo para etanol:

Necessidade de vapor: 160 kg/t cana
 Única fase: de 30 a 105°C com vapor escape (ve)
 Única fase: de 30 a 105°C com vapor vegetal do pré (vv1)

- Aquecimento do caldo para etanol com trocador regenerativo de calor:

Necessidade de vapor: 50 kg/t cana
 Aquecimento do caldo misto para etanol: de 30 a 75°C
 Resfriamento do caldo clarificado para etanol: de 95 a 55°C
 Aquecimento final do caldo misto: de 75 a 105°C com vv1 ou ve

Nestas operações de aquecimento de caldo são produzidos como efluentes os condensados do vapor de escape e vegetal que, dependendo da qualidade, podem ser reutilizados em outras etapas do processo, como mostrado mais adiante, num volume total de 210 L/t cana ou cerca de 0,105 m³/t cana total para o “mix” de referência.

5.1.2.5. Lavagem da torta

Com a lavagem da torta, objetiva-se dissolver e recuperar a sacarose que ainda está contida no lodo do decantador, através da filtração rotativa com vácuo. No lodo é adicionado bagacilho para formar a pré-capa no tambor do filtro e, às vezes, leite de cal e polímero como auxiliares filtrantes, sendo esta mistura enviada à bacia do filtro. Em seguida, o lodo é submetido a uma sucção na superfície do filtro, que está sob baixo vácuo (7 a 10”Hg), e a parte líquida passa pelos furos da tela, sendo conduzido ao tanque selado de baixo vácuo. A par-

te sólida, a torta, fica aderida à superfície do filtro e avança no sentido da rotação do filtro até a seção de alto vácuo, onde simultaneamente são feitas a lavagem com água e a sucção da superfície em um vácuo maior (18 a 23”Hg), sendo a torta raspada, recolhida e enviada à lavoura. O caldo obtido pela lavagem da torta é conduzido até o balão selado de alto vácuo. Ambos os caldos passam por processo de “flash” (quebra do vácuo) e após são misturados, sendo então retornados como caldo filtrado com cerca de 9°Be para a etapa inicial do processo de tratamento de caldo.

São utilizados alguns arranjos de aquecimento, podendo ser em estágio único, duplo ou triplo, ou ainda sistema utilizando o trocador de calor regenerativo como mencionado, conforme produção de caldo para açúcar e caldo para o etanol.

Tradicionalmente, a taxa média de torta produzida é de 40 kg por tonelada de cana, porém há uma grande variação na produção deste resíduo, como resultado do teor de impurezas da cana e da qualidade do tratamento do caldo. Observa-se uma variação na faixa de 10 a 60 kg/t cana, com tendência de redução da média do setor para 30 kg/t cana, conforme dados do Controle Mútuo Agroindustrial (CTC, 2009), apresentados na Figura 32.

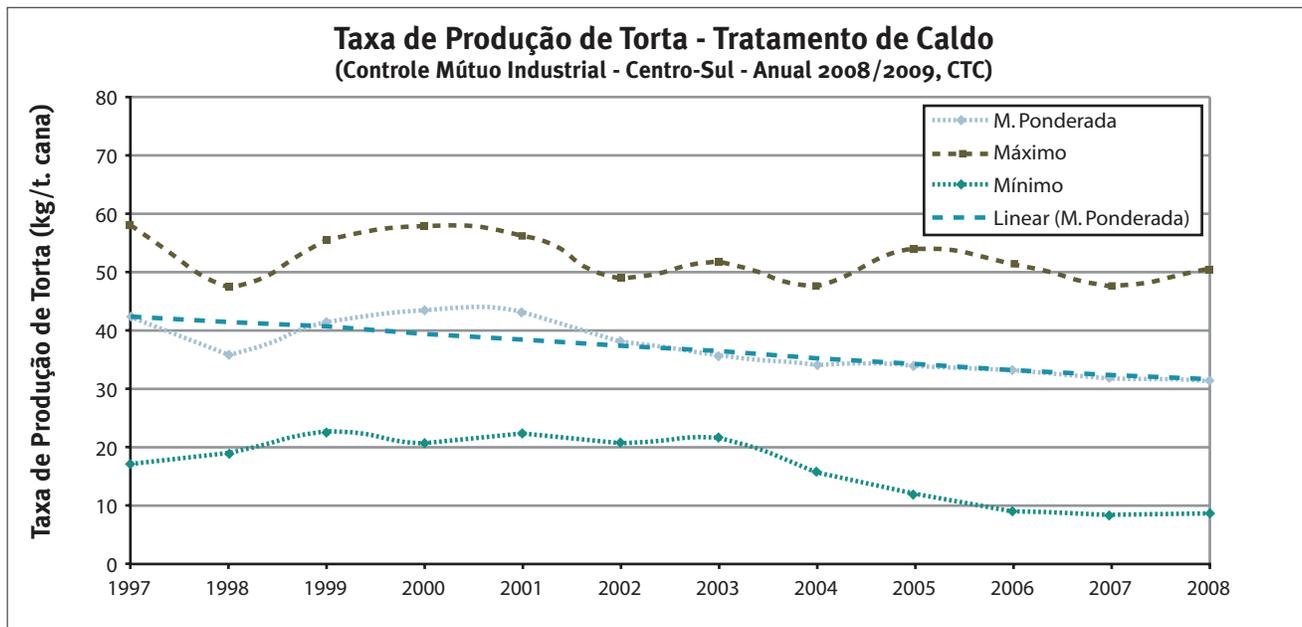


Figura 32 - Variação da média anual da taxa de produção de torta de filtro (kg/t cana) nas usinas da Região Canavieira do Centro-Sul (CTC, 2009).

A quantidade de água requerida para a lavagem em equipamentos convencionais (filtro rotativo com vácuo) é equivalente à massa de torta, resultando no final em 20% de caldo filtrado em relação ao caldo clarificado. Ou seja, num balanço simplificado, lodo + água = caldo filtrado + torta, fica como na Equação 13:

Eq. 13:

$$Q_{lav\ torta} = P_{torta} = 30 \cdot \left[\frac{L}{t\ cana} \right]$$

Onde:

$Q_{lav\ torta}$ = quantidade de água de diluição e lavagem da torta, resultando na média em 30 kg/t cana = 30 L/t cana

P_{torta} = taxa de torta produzida, em média 30 kg/t cana;

Além da água de embebição, há ainda necessidade de água para lavagem periódica da tela do filtro, para sua desobstrução. É utilizada nesta operação de lavagem uma quantidade variável de água, que é normalmente enviada para compor a embebição nas moendas ou para diluir a própria torta.

Pode ser utilizado outro tipo de equipamento na seção de filtragem da torta, a prensa desaguadora, operando na mesma condição do filtro rotativo, porém com uma maior necessidade de água para a diluição do lodo de alimentação, além da adição de leite de cal, para garantir um pH de 8,0 a 8,5, e da adição de polímero na faixa de 8 a 15 ppm. Nesta nova condição, o caldo filtrado, normalmente com 200 kg/t cana, passa a ser bem mais diluído, chegando a 550 kg/t cana, com a incorporação de água, que deverá ser evaporada mais adiante com maior dispêndio de energia. Há também uma freqüente necessidade de desobstrução da tela com grande quantidade de água – aproximadamente 0,1 m³/t cana.

A água para lavagem da torta deverá ter boa qualidade, pois comporá o caldo, e com temperatura de 75 a 80°C, para melhorar a extração e manter quente a cera contida na torta evitando impermeabilizar o sistema, o que dificultaria a lavagem. Pode-se também utilizar água condensada.

Há recomendações, inclusive, de se manter a torta em 60°C para não haver excesso de cera arrastada para o caldo.